

VILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Buğday Sapı Kül, Puz, Çize. ve Kül,  
Çim, Harç Dayan, Etkisi

DOKTORA TEZİ

Hasan Biricik

1995





YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUĞDAY SAPI KÜLÜNÜN PUZOLANİK  
ÖZELLİKLERİ VE KÜLÜN ÇİMENTO HARCININ  
DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ**

**İnş.Yük.Müh. Hasan BİRİCİK**

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında  
hazırlanan**

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi :  
Tez Danışmanı : Prof. İlhan BERKTAY (Y.T.Ü.)  
Jüri Üyeleri :**

**İSTANBUL, Mayıs 1995**

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R 150  
281

Kayıt No: 52616

Geldiği Yer : F.B. Enstitüsü

Tarih : 1.10.1996

Fiyat : 250 Bin

Fatura No:

Ayniyat No: 1/1

Ek :



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



XXVII-223

**BUĞDAY SAPI KÜLÜNÜN PUZOLANİK  
ÖZELLİKLERİ VE KÜLÜN ÇİMENTO HARCININ  
DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ**

**Y. T. Ü.**  
**KÜTÜPHANE DOK. DAL. BAŞKANLIĞI**

**İnş.Yük.Müh. Hasan BİRİCİK**

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında  
hazırlanan**

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi :  
Tez Danışmanı : Prof. İlhan BERKTAY (Y.T.Ü.)  
Jüri Üyeleri :**

**İSTANBUL, Mayıs 1995**





## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
Dış Kapak	22
İç Kapak	24
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xxiv
TEŞEKKÜR	xxix
ÖZET	xxx
ABSTRACT	xxxii
1.0. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın amacı ve kapsamı	3
2.0. KONU İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	5
2.1. Dayanıklılık (=Durabilite)	5
2.1.1. İç etkiler	7
2.1.2. Dış etkiler	8
2.2. Zararlı ortamlar	10
2.2.1. Sular	11
2.2.1.1. Saf sular	11
2.2.1.2. Karbondioksitli sular (çözeltiler)	11
2.2.1.3. Klorürlü sular	13
2.2.1.4. Nitratlı sular (çözeltiler)	13
2.2.1.5. Sülfatlı sular (suların sülfat içeriği)	14
2.3. Sülfatların betona etkisi	16
2.3.1. Sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) etkisi	17
2.3.2. Magnezyum sülfat ( $\text{MgSO}_4$ ) etkisi	17
2.3.3. Kalsiyum sülfat ( $\text{CaSO}_4$ ) etkisi	18
2.4. Puzolanların betonun dayanıklılığına etkisi	20
2.4.1. Puzolanlar	22



2.4.1.1.	Doğal puzolanlar	23
	Killer ve tortul şistler	23
	montmorillonit, kaolinit, illit, Opaller	23
	opalli şeyler	24
	Diatomeler, çörtler	24
	Volkanik kayalar, riyolit, andezitler, fonolit, bazalt	24
2.4.1.2.	Yapay puzolanlar	24
	Yüksek fırın cürufu (blast furnace slag)	25
	Uçucu kül (fly ash)	25
	Silis dumanı (silica fume)	27
2.4.1.3.	Tarım artıklarından kül (puzolan) elde edilmesi	28
	Silis ve silikat oranlarının bulunması	28
	Pentozan oranlarının bulunması	28
	Çözünürlükler	28
	Pirinç kabuğu külü (rice husk ash)	29
	Buğday sapı külü (wheat stalk ash)	29
2.4.1.4.	Tarımsal artıkların puzolan malzeme olarak değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar	31
2.4.2.	Puzolanik aktivite deneyleri	33
2.5.	Buğday, buğday sapı ve külü	34
	Buğdayın (Triticum Aestivum L.) botanik özellikleri	35
	Buğday sapının yapısı ve bileşimi	37
	Buğday sapsarında yapılan kimyasal analiz yöntemleri	37
	Buğday sapının kullanıldığı yerler	37
3.0.	DENEYSEL ÇALIŞMA	39
3.1.	Kullanılan malzemeler	40
	Kum ( standart kum), çimento, katkı maddesi (akışkanlaştırıcı)	40
	Sülfatlar, puzolan malzeme, buğday sapsarının özellikleri	42
3.1.1.	Buğday sapsarından kül elde edilmesi	44
	Buğday sapı külü, X-Işını Difraktometresi sonuçları	47

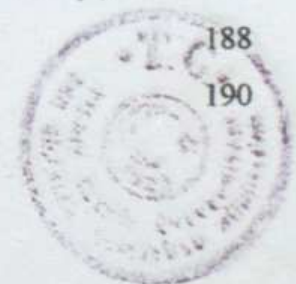




	Elektron Mikroskobu incelemesi	48
3.1.2.	Buğday sapı külünde puzolanik aktivitenin araştırılması	52
	Puzolanik aktivitenin mekanik deneylerle belirlenmesi	52
	Puzolanik aktivitenin kimyasal deneylerle araştırılması	53
	Puzolanik aktivitenin fiziksel deneylerle belirlenmesi	54
3.2.	Numunelerin üretimi	55
3.2.1.	Taze harçlarda yapılan deneyler	58
	Yayılma deneyi	58
	Birim ağırlık deneyi	58
3.3.	Eskitme süreci	59
3.4.	Kontrol deneyleri	60
3.4.1.	Mekanik deneyler	61
	Eğilme deneyi	61
	Basınç deneyi	65
3.4.2.	Fiziksel deneyler	68
	Ağırlık değişimi deneyi	68
	Birim ağırlık deneyi	74
	Hacimce su emme deneyi	78
	Kılcal su emme deneyi	81
	Boy değişimi deneyi	85
	X-Işını Difraktometresi incelemesi	91
	Elektron Mikroskobu incelemesi	91
3.4.3.	Kimyasal deneyler	92
4.0.	<b>DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ</b>	96
4.1.	Taze harç özelliklerinin değerlendirilmesi ve irdelenmesi	96
4.2.	Sertleşmiş harç özelliklerinin değerlendirilmesi ve irdelenmesi	96
4.2.1.	Mekanik deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi	97
4.2.1.1.	Eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi	97
	Suda saklanan gruplar	98



	Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	98
	Magnezyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	100
4.2.1.2.	Basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi	112
	Suda saklanan gruplar	112
	Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	113
	Magnezyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	115
4.2.2.	Fiziksel deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi	128
4.2.2.1.	Ağırlık değişimi deneyi sonuçları	128
	Suda saklanan gruplar	128
	Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	129
	Magnezyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	130
4.2.2.2.	Birim ağırlık değişimi deneyi sonuçları	138
	Suda saklanan gruplar	138
	Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	139
	Magnezyum sülfat çözeltilerinde saklanan Gruplar	140
4.2.2.3.	Hacimce su emme deney sonuçları	152
	Suda saklanan gruplar	152
	Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	153
	Magnezyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	154
4.2.2.4.	Kılcal su emme deneyi sonuçları	166
	Suda saklanan gruplar	166
	Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	167
	Magnezyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	168
4.2.2.5.	Böy değişimi deneyi sonuçları	180
	Suda saklanan gruplar	180
	Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	180
	Magnezyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar	181
4.2.2.6.	Havada boy değişimi deneyi sonuçları (5 serisi harçlarda rötre deneyi)	188
4.3.	Kimyasal deneylerin sonuçları	188
5.0.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	190





5.1.	Buğday sapı külü ile ilgili sonuçlar	190
5.2.	Taze harç özellikleri ile ilgili sonuçlar	190
5.3.	Sertleşmiş harç özellikleri ile ilgili sonuçlar	190
5.3.1.	Eğilme dayanımı sonuçları	190
5.3.2.	Basınç dayanımı sonuçları	191
5.3.3.	Ağırlık değişimi sonuçları	192
5.3.4.	Birim ağırlık değişimi sonuçları	193
5.3.5.	Hacimce su emme değişimi sonuçları	194
5.3.6.	Kılcal su emme deneyi sonuçları	195
5.3.7.	Boy değişimi deneyi sonuçları	196
5.4.	Buğday sapı külünün üretim olanaklarının irdelenmesi ve öneriler	197
	KAYNAKLAR	199
	EKLER	207
	ÖZGEÇMİŞ	



## SEMBOL LİSTESİ

Y	:	Yayıma
R'	:	Son çap (mm)
$f_{cc}$	:	Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
$f_{cb}$	:	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
$P_k$	:	Kırılma kuvveti (N)
L	:	Mesnetler arası açıklık (mm)
b	:	Prizma kesitinin boyutu (mm)
$W_d$	:	Ağırlık değişimi (%)
$W_t$	:	t.inci süredeki ağırlık (gr)
$W_o$	:	Başlangıçtaki ağırlık (gr)
ID	:	Boy Değişimi (mm/m)
$l_t$	:	t. süredeki numunenin boyu (mm)
$l_o$	:	Başlangıçtaki boy (mm)
Q	:	Numunenin emdiği su miktarı (cm <sup>3</sup> )
F	:	Numunenin kılcal su emme yüzeyi (mm <sup>2</sup> )
t	:	Numunenin kılcal su emme zamanı (sn)
Sh	:	Hacimce su emme değeri (%)
$\Delta$	:	Birim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
$W_k$	:	Numunenin kuru ağırlığı (gr)
$W_{sh}$	:	Numunenin suya doymun halde havadaki ağırlığı (gr)
$W_{ss}$	:	Numunenin suya doymun halde su içindeki ağırlığı (gr)
$\lambda$	:	Monokromatik dalga boyu (Cu hedef için 1.54Å°)
n	:	Sabit sayısı (1 alınmıştır)
d	:	rediküler uzaklık
$\theta$	:	Işın gelme açısı





## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No :</u>	
Şekil 2.1	CaSO <sub>4</sub> çözeltisi etkisinde kalan çimento pastasındaki etringit kristalleri S.E.I. 2.000 X (Birchall,J.D;1981)	19
Şekil 2.2	CaSO <sub>4</sub> çözeltisi etkisinde kalan çimento pastasındaki etringit kristalleri S.E.I. 3.000 X (Birchall,J.D;1981)	19
Şekil 2.3	700°C'da işlem görmüş uçucu külün mikroskopik görüntüsü S.E.I. 1000 X (Massazza,1986)	26
Şekil 2.4	Pirinç kabuklarının X-Işını Difraktoğramı (Visvesvaraya, 1986)	30
Şekil 2.5	Pirinç kabuklarının Elektron Mikroskopundaki görünüşü (Visvesvaraya, 1986)	30
Şekil 2.6	Kuvartzın kristal yapısı (Özdemir,1981)	34
Şekil 3.1	Buğday sapının X-Işını Difraktogramı	49
Şekil 3.2	Buğday sapının SEM'de elde edilen iç yapı fotoğrafı	49
Şekil 3.3	Buğday sapından 570°C ve 670°C'da elde edilen küllerin X-Işını Difraktogramı	50
Şekil 3.4	Buğday sapından 570°C ve 670°C'da elde edilen küllerin SEM iç yapı fotoğrafları	51
Şekil 3.5	TS 26' ya göre Buğday sapından 570°C ve 670°C'da elde edilen küllerin CaO - OH <sup>-</sup> çözünürlük eğrisi	56
Şekil 3.6	Si- K $\alpha$ X- Ray haritası	95
Şekil 4.1	Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	102
Şekil 4.2	Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	102
Şekil 4.3	Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi	103



Şekil 4.4	Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki eğilme dayanımlarının kül miktarı ile değişimi	103
Şekil 4.5	Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	103
Şekil 4.6	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	104
Şekil 4.7	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	104
Şekil 4.8	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi	105
Şekil 4.9	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki eğilme dayanımlarının kül miktarı ile değişimi	105
Şekil 4.10	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	105
Şekil 4.11	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	106
Şekil 4.12	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	106
Şekil 4.13	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi	107
Şekil 4.14	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki eğilme dayanımlarının kül miktarı ile değişimi	107





Şekil 4.15	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	107
Şekil 4.16	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	108
Şekil 4.17	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	108
Şekil 4.18	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi	109
Şekil 4.19	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi	109
Şekil 4.20	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	109
Şekil 4.21	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	110
Şekil 4.22	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi	110
Şekil 4.23	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi	111
Şekil 4.24	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi	111
Şekil 4.25	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	111



Şekil 4.26	Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	118
Şekil 4.27	Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	118
Şekil 4.28	Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi	119
Şekil 4.29	Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki basınç dayanımlarının kül miktarı ile değişimi	119
Şekil 4.30	Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	119
Şekil 4.31	Sodyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	120
Şekil 4.32	Sodyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	120
Şekil 4.33	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi	121
Şekil 4.34	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki basınç dayanımlarının kül miktarı ile değişimi	121
Şekil 4.35	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	121
Şekil 4.36	Sodyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	122
Şekil 4.37	Sodyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	122





Şekil 4.38	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi	123
Şekil 4.39	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki basınç dayanımlarının kül miktarı ile değişimi	123
Şekil 4.40	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	123
Şekil 4.41	Magnezyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	124
Şekil 4.42	Magnezyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	124
Şekil 4.43	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi	125
Şekil 4.44	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi	125
Şekil 4.45	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	125
Şekil 4.46	Magnezyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	126
Şekil 4.47	Magnezyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi	126
Şekil 4.48	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi	127
Şekil 4.49	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi	127



Şekil 4.50	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	127
Şekil 4.51	Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	133
Şekil 4.52	Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	133
Şekil 4.53	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	134
Şekil 4.54	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	134
Şekil 4.55	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	135
Şekil 4.56	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	135
Şekil 4.57	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	136
Şekil 4.58	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	136
Şekil 4.59	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	137
Şekil 4.60	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi	137





Şekil 4.61	Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	142
Şekil 4.62	Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	142
Şekil 4.63	Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	143
Şekil 4.64	Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	143
Şekil 4.65	Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde kül miktarı ile yoğunluklarının değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	143
Şekil 4.66	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	144
Şekil 4.67	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	144
Şekil 4.68	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	145
Şekil 4.69	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	145
Şekil 4.70	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	145
Şekil 4.71	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	146
Şekil 4.72	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	146



Şekil 4.73	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	147
Şekil 4.74	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	147
Şekil 4.75	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	147
Şekil 4.76	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	148
Şekil 4.77	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	148
Şekil 4.78	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	149
Şekil 4.79	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	149
Şekil 4.80	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	149
Şekil 4.81	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	150
Şekil 4.82	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi	150
Şekil 4.83	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	151
Şekil 4.84	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi	151



Şekil 4.85	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180.günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	151
Şekil 4.86	Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	156
Şekil 4.87	Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	156
Şekil 4.88	Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	157
Şekil 4.89	Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	157
Şekil 4.90	Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde kül miktarı ile hacimce su emmelerinin değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	157
Şekil 4.91	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	158
Şekil 4.92	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emmedeğişimi	158
Şekil 4.93	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	159
Şekil 4.94	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	159
Şekil 4.95	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	159
Şekil 4.96	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	160



Şekil 4.97	Sodyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	160
Şekil 4.98	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	161
Şekil 4.99	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	161
Şekil 4.100	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	161
Şekil 4.101	Magnezyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	162
Şekil 4.102	Magnezyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	162
Şekil 4.103	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	163
Şekil 4.104	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	163
Şekil 4.105	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	163
Şekil 4.106	Magnezyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	164
Şekil 4.107	Magnezyum sülfatın, $SO_4$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi	164





Şekil 4.108	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	165
Şekil 4.109	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi	165
Şekil 4.110	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	165
Şekil 4.111	Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi	170
Şekil 4.112	Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi	170
Şekil 4.113	Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi	171
Şekil 4.114	Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi	171
Şekil 4.115	Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde kül miktarı ile kılcal su emme değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	171
Şekil 4.116	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi	172
Şekil 4.117	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi	172
Şekil 4.118	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi	173
Şekil 4.119	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi	173
Şekil 4.120	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde kılcal su emmenin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	



- Şekil 4.121 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi 174
- Şekil 4.122 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi 174
- Şekil 4.123 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi 175
- Şekil 4.124 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi 175
- Şekil 4.125 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde kılcal su emmenin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması 175
- Şekil 4.126 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi 176
- Şekil 4.127 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi 176
- Şekil 4.128 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi 177
- Şekil 4.129 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi 177
- Şekil 4.130 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde kılcal su emmenin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması 177
- Şekil 4.131 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi 178





Şekil 4.132	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi	178
Şekil 4.133	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi	179
Şekil 4.134	Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi	179
Şekil 4.135	Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde kılcal su emmenin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması	179
Şekil 4.136	Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	183
Şekil 4.137	Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	183
Şekil 4.138	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	184
Şekil 4.139	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	184
Şekil 4.140	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	185
Şekil 4.141	Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	185
Şekil 4.142	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	186
Şekil 4.143	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	186
Şekil 4.144	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	187
Şekil 4.145	Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	187
Şekil 4.146	Havada bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi	189



Şekil E.1	Buğday sapı yakmada kullanılan tel kafes'in fotoğrafı	207
Şekil E.2	Buğday sapını yakmada kullanılan bacalı kova	207
Şekil E.3	1200 °C'lık elektrikli kül fırını	208
Şekil E.4	Plastik kür leğenleri	208
Şekil E.5.a	Su içinde bekleyen A serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	209
Şekil E.5.b	Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	210
Şekil E.5.c	Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	211
Şekil E.5.d	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen A serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	212
Şekil E.5.e	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen A serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	212
Şekil E.5.f	Sodyum sülfatın, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	213
Şekil E.5.g	Sodyum sülfatın SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	214
Şekil E.5.h	Magnezyum sülfatın SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	215
Şekil E.5.i	Magnezyum sülfatın SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları	216
Şekil E.6.a	Su içinde bekleyen A serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı	217
Şekil E.6.b	Sodyum sülfatın, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen A serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı	218
Şekil E.6.c	Magnezyum sülfatın, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen A serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı	219
Şekil E.6.d	Sodyum sülfatın, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı	220





Şekil E.6 e	Sodyum sülfatın, $SO_4^{2-}$ konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı	221
Şekil E.6 f	Magnezyum sülfatın, $SO_4^{2-}$ konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı	222
Şekil E.6 g	Magnezyum sülfatın, $SO_4^{2-}$ konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı	223
Tablo 2.1		24
Tablo 2.2		25
Tablo 2.3		26
Tablo 2.4		27
Tablo 2.5		28
Tablo 2.6		29
Tablo 2.7		30
Tablo 2.8		31
Tablo 2.9		32
Tablo 2.10		33
Tablo 2.11		34
Tablo 2.12		35
Tablo 2.13		36
Tablo 2.14		37
Tablo 2.15		38
Tablo 2.16		39
Tablo 2.17		40
Tablo 2.18		41
Tablo 2.19		42
Tablo 2.20		43
Tablo 2.21		44
Tablo 2.22		45
Tablo 2.23		46
Tablo 2.24		47
Tablo 2.25		48
Tablo 2.26		49
Tablo 2.27		50
Tablo 2.28		51
Tablo 2.29		52
Tablo 2.30		53
Tablo 2.31		54
Tablo 2.32		55
Tablo 2.33		56
Tablo 2.34		57
Tablo 2.35		58
Tablo 2.36		59
Tablo 2.37		60
Tablo 2.38		61
Tablo 2.39		62
Tablo 2.40		63
Tablo 2.41		64
Tablo 2.42		65
Tablo 2.43		66
Tablo 2.44		67
Tablo 2.45		68
Tablo 2.46		69
Tablo 2.47		70
Tablo 2.48		71
Tablo 2.49		72
Tablo 2.50		73
Tablo 2.51		74
Tablo 2.52		75
Tablo 2.53		76
Tablo 2.54		77
Tablo 2.55		78
Tablo 2.56		79
Tablo 2.57		80
Tablo 2.58		81
Tablo 2.59		82
Tablo 2.60		83
Tablo 2.61		84
Tablo 2.62		85
Tablo 2.63		86
Tablo 2.64		87
Tablo 2.65		88
Tablo 2.66		89
Tablo 2.67		90
Tablo 2.68		91
Tablo 2.69		92
Tablo 2.70		93
Tablo 2.71		94
Tablo 2.72		95
Tablo 2.73		96
Tablo 2.74		97
Tablo 2.75		98
Tablo 2.76		99
Tablo 2.77		100
Tablo 2.78		101
Tablo 2.79		102
Tablo 2.80		103
Tablo 2.81		104
Tablo 2.82		105
Tablo 2.83		106
Tablo 2.84		107
Tablo 2.85		108
Tablo 2.86		109
Tablo 2.87		110
Tablo 2.88		111
Tablo 2.89		112
Tablo 2.90		113
Tablo 2.91		114
Tablo 2.92		115
Tablo 2.93		116
Tablo 2.94		117
Tablo 2.95		118
Tablo 2.96		119
Tablo 2.97		120
Tablo 2.98		121
Tablo 2.99		122
Tablo 2.100		123



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No :

Tablo 2.1	Ülkemizde 1980-1991 Yıllarına Ait Buğday Ekili Alanı ve Üretimi	35
Tablo 2.2	Tahıl Saplarının Çeşitli Morfolojik Kısımlarının Ağırlık Yüzdeleri	36
Tablo 2.3	Buğday saplarının morfolojik kısımlarının lif ve diğer hücrelerinin oranları	36
Tablo 3.1	Standart kumun granülometrik değerleri	40
Tablo 3.2	Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	41
Tablo 3.3	Çimentonun Kimyasal Analizi, Modüller ve Minerolojik Bileşenleri	42
Tablo 3.4	Buğday sapının fiziksel ve kimyasal özellikleri	45
Tablo 3.5	Buğday sapı külünün fiziksel özellikleri	47
Tablo 3.6	Buğday sapı küllerinin kimyasal analizi	48
Tablo 3.7	TS 25'e göre puzolanik aktivite harçları için malzeme miktarları	52
Tablo 3.8	TS 25'e göre buğday sapı külünün puzolanik aktivite deney sonuçları ve standart değerleri	53
Tablo 3.9	TS 26'ya göre kimyasal aktivite deneyi için malzeme miktarları	54
Tablo 3.10	Buğday sapı ve küllerinin SEM analizi değerleri	55
Tablo 3.11	Harç Karışımlarına Giren Malzeme Miktarları	57
Tablo 3.12	Harçların Eskitici Ortamına Göre Kodlanması	58
Tablo 3.13	Taze Harçlarda Yayılma ve Birim Ağırlık	59
Tablo 3.14	Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları (N/mm <sup>2</sup> ) ve bağıl değerleri (%)	62
Tablo 3.15	Sodyum sülfatın, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları (N/mm <sup>2</sup> ) ve bağıl değerleri (%)	62
Tablo 3.16	Sodyum sülfatın, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları (N/mm <sup>2</sup> ) ve bağıl değerleri (%)	





Tablo 3.17 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)	63
Tablo 3.18 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)	64
Tablo 3.19 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)	65
Tablo 3.20 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)	66
Tablo 3.21 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)	66
Tablo 3.22 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)	67
Tablo 3.23 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)	67
Tablo 3.24 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)	69
Tablo 3.25 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)	70
Tablo 3.26 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)	71



Tablo 3.27 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)	72
Tablo 3.28 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)	73
Tablo 3.29 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $gr/cm^3$ ) ve bağıl değerleri (%)	75
Tablo 3.30 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $gr/cm^3$ ) ve bağıl değerleri (%)	75
Tablo 3.31 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $gr/cm^3$ ) ve bağıl değerleri (%)	76
Tablo 3.32 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $gr/cm^3$ ) ve bağıl değerleri (%)	76
Tablo 3.33 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $gr/cm^3$ ) ve bağıl değerleri (%)	77
Tablo 3.34 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri	78
Tablo 3.35 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri (%)	79
Tablo 3.36 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri (%)	79





Tablo 3.37 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri (%)	80
Tablo 3.38 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri (%)	80
Tablo 3.39 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K=cm^2/sn$ ) ve bağıl değeri (%)	82
Tablo 3.40 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K=cm^2/sn$ ) ve bağıl değeri (%)	82
Tablo 3.41 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K=cm^2/sn$ ) ve bağıl değeri (%)	83
Tablo 3.42 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K=cm^2/sn$ ) ve bağıl değeri (%)	83
Tablo 3.43 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K = cm^2 /sn$ ) ve bağıl değeri (%)	84
Tablo 3.44 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $l_D=mm/m$ ) ve bağıl değerleri (%)	86
Tablo 3.45 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $l_D=mm/m$ ) ve bağıl değerleri (%)	87
Tablo 3.46 Sodyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $l_D=mm/m$ ) ve bağıl değerleri (%)	88



Tablo 3.47 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $l_D$ =mm/m) ve bağıl değerleri (%)	89
Tablo 3.48 Magnezyum sülfatın, $SO_4^-$ konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $l_D$ =mm/m) ve bağıl değerleri (%)	90
Tablo 3.49 90. gündeki harçlarda SEM <sup>7</sup> ile iç yapı analiz değerleri	92
Tablo 3.50 180. gündeki harçlarda SEM <sup>7</sup> ile iç yapı analiz değerleri	93
Tablo 3.51 Suda saklanan küllü ve külsüz grubun 90. gündeki CaO, OH <sup>-</sup> ve pH değerleri	93
Tablo 3.52 $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L. olan $Na_2SO_4$ çözeltisinde saklanan küllü ve külsüz grubun 90. gündeki CaO, OH <sup>-</sup> ve pH değerleri	94
Tablo 3.53 $SO_4^-$ konsantrasyonu 40000 mg/L. olan $MgSO_4$ çözeltisinde saklanan küllü ve külsüz grubun 90. gündeki CaO, OH <sup>-</sup> ve pH değerleri	94
Tablo 3.54 Havada bekleyen 5 serisi numunelerin boy değişimi	95
Tablo 4.1 180. Gündeki mekanik deneylerin sonuçlarına göre harçların özet olarak değişimi	117





## TEŞEKKÜR

Tezimi yöneten, araştırma süresince yakın ilgi ve desteğini gördüğüm hocam sayın Prof. İlhan BERKTAY'a,

Araştırmada bilgi ve görüşlerinden yararlandığım hocam sayın Prof M.Ali SARAYLI'ya, sayın Y.Doç.Dr.Fevziye AKÖZ'e, sayın Prof.Dr. M.Süheyl AKMAN'a, sayın Prof.Dr. Saim AKYÜZ'e, sayın Prof.Dr.Mehmet UYAN'a, sayın Doç.Dr.Faruk YÜKSELER'e

Deneysel çalışmalarda, gerekli olan malzeme temininde maddi destek ve Y.T.Ü. Kimya Metalurji laboratuvarından yararlanmamı sağlayan sayın Prof Dr.Ahmet TOPUZ'a, Sayın Prof.Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU'na, İ.T.Ü. Kimya Metalurji laboratuvarından yararlanmamı sağlayan hocam sayın Prof. Dr. Erman TULGAR'a, İ.Ü. Orman Ürünleri Kimyası laboratuvarından yararlanmamı sağlayan sayın Prof. Dr.Turhan TANK'a, Arş. Gör. sayın Öznur ÖZDEN, Arş.Gör sayın Mecbure UTKU'ya, Paşabahçe Şişe Cam S.A.Ş. laboratuvarından yararlanmamı sağlayan sayın Bülent ARMAN'a, Akçimento SA S.A.Ş. laboratuvarından yararlanmamı sağlayan sayın teknik müdür Erol ÖZBEK ve laboratuvar şefi sayın Cemile ÇETİN'e,

Çalışmamda ve yazımda emek ve desteğini gördüğüm Arş. Gör.sayın Sema KORAL, ARŞ.Gör.sayın Nabi YÜZER ve Arş.Gör.Sayın Ali TULGAR'a teşekkür ederim.



## ÖZET

Dünyada, beton yapıların çeşidinin artması, yeni teknolojilerin geliştirilmesini ve kullanımını gerektirmektedir. Buna bağlı olarak da çimento çeşidi ve üretimi artmaktadır. Çimentonun niteliklerini iyileştirmek, dayanıklılığını artırmak ve ekonomikliği sağlamak amacı ile beton üretiminde çimento ile birlikte puzolanik özellikte mineral malzemeler kullanılmaktadır. Bu amaçla doğal puzolanlardan başka, silis dumanı, curuf, uçucu kül gibi endüstriyel yan ürünler kullanılmaktadır. Ayrıca tarım artıklarından puzolan malzeme elde edilmesi amacıyla deneysel çalışmalar sürdürülmektedir. Ülkemizde, tarımda buğday üretimi önemli yer tutmaktadır. Buğday saplarının ihtiyaç fazlası, tarlalarda yakılarak yok edilmektedir.

Bu çalışmada buğday saplarından puzolanik kül elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yakma sıcaklığının külün özelliğine etkisi, çimentoya ikame edilen kül oranının harç özelliklerine etkileri, farklı sülfat ve sülfat konsantrasyonlarının zaman içinde harçlara etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Buğday sapları 570°C ve 670°C'da sıcaklığı kontrol edilebilen, elektrikli kül fırınında 5 saatte yakılmıştır. Elde edilen küller öğütülerek inceltilmiş, küllerin puzolanik karakterde olduğu, kimyasal, fiziksel ve mekanik deneylerle saptanmıştır. Küller çimentoya %0, 8, 16, 24 oranında ikame edilerek küllü ve külsüz harçlar üretilmiştir. Harç karışımlarında bileşim; ağırlıkça çimento + kül : su + akışkanlaştırıcı : kum=1:0.5:3 oranındadır. Dayanıklılık deneyleri için 28. gün başlangıç kabul edilmiş ve sudan çıkartılan numunelerin bir grubunda şahit grubu temsilen, mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Bundan sonra 5 gruptan oluşan numunelerin bir grubu şehir suyuna, diğer ikişer grubu ise şehir suyu ile hazırlanmış SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 10000 mg/L ve 40000 mg/L olan sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerine konulmuş ve çözeltiler 14 gün aralarla yenilenmiştir. Kontrol için, 28., 56., 90. ve 180. günlerde eğilme ve basınç dayanımı, ağırlık ve boy değişimi, birim ağırlık, kılcallık ve hacimce su emme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca bazı harç gruplarında X-ışını difraktometresi ve elektron mikroskobu ile iç yapı incelenmiştir. Bu grupların harç tozlarından elde edilen süzüntülerinde alkalinitik de araştırılmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre,

- Buğday sapının 570°C ve 670°C' larda yakılması ile elde edilen küller, puzolanik karakterdedir. 670°C'da yakılarak elde edilen külün, kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikleri 570°C'da yakılarak elde edilen külün özelliklerinden daha üstündür.
- Her iki kül grubunda da kül oranı arttıkça, taze harçlarda eşit işlenebilme için gerekli olan karma suyu ihtiyacı artmıştır.
- 670°C'da yakılarak elde edilen küllü harçlar su ve sülfatların etkisinde mekanik ve fiziksel özellikler bakımından 570°C'da yakılarak elde edilen küllü harçlara göre daha dayanıklıdır.
- Dayanım ve dayanıklılık bakımından uygun kül oranı, 570°C'da yakılarak elde edilen küller için %8, 670°C'da yakılarak elde edilen küller için ise %24 dür.
- Harçların dayanıklılığına sodyum sülfatın olumsuz etkisi, magnezyum sülfatından daha fazladır.
- Harçların dayanıklılığına yüksek konsantrasyonların olumsuz etkisi, her iki sülfatta da düşük konsantrasyondan daha fazladır.





## ABSTRACT

Increase in the types of concrete structures in the world necessitate the development and usage of new technologies. In order that, types and production of cement are increased. In order to improve the qualities and the strength of cement and to achieve economy in the production of cement, the mineral materials having the pozzolanic property is used with cement. For this reason; the industrial by products like silica fume, slag and fly ash are used in addition to natural pozzolans like trass. Additionally, the experimental studies aiming to obtain pozzolanic material from agricultural waste materials have been continued. In Turkey, the wheat production takes an important place in the agriculture. The wheat stalks which are out of use are vanished by burning them in fields.

In this study it, the pozzolanic ash is aimed to be obtained from wheat stalks. For this reason; the effect of burning temperature on the property of ash, the effect of the percentage of ash supplementing the cement on the properties of mortar, the time-dependent effects of different sulfates and different concentrations of sulfates on mortar are investigated through experiments. The wheat stalks are burned in the electrical ash furnace by which the burning temperatures of 570°C and 670°C are achieved and kept constant for 5 hours. The obtained ash is fined by grinding. Being in pozzolanic character of the ash is proven through chemical, physical and mechanical experiments. The ash is supplemented to cement in the percentages of 0, 8, 16, 24 and, therefore, the mortar supplemented with ash and the unsupplemented mortar are obtained. In the mixtures of mortar, the compound composes of cement + ash in weight, water + plasticizers and sand in the proportion of 1 : 0.5 : 3. For the experiments related with strength, the 28th day is assumed to be the starting day. Mechanical and physical experiments are performed on one the groups chosen to be representative group, extracted from water.

Then, one of the 5 groups of samples is put into the domestic water, the other two groups are put into the solutions of sodium sulfate and magnesium sulfate which are prepared by domestic water and the  $\text{SO}_4$  concentrations of 10000 mg/L and 40000 mg/L and renewed in the time intervals of 14 days. For the controlling purposes, the experiments on the strength of flexure and compression, weight and change in length, unit weight, capillarity and volumetric absorption of water are performed at 28th, 56th, 90th and 180th days. Additionally, the internal structure of some mortar groups is examined by x-ray diffractometer and electron microscope. The Alkalinity of the filtered water obtained from the mortar dust of these groups is examined.

The conclusions obtained through the experiments are as follows:

- The ash groups obtained by burning the wheat stalks at 570°C and 670°C is in the pozzolanic character.
- The chemical, mechanical and physical properties of the ash obtained by burning at 670°C are better than those of the ash obtained by burning at 570°C.
- The water of the mixture needed for equal workability is increased as the percentage of the ash is increased for both the ash groups.



- The strength of the mortar groups supplemented with ash, in terms of the mechanical and physical properties in the effect of water and sulfates, and obtained by burning at 670°C is higher than that obtained by burning at 570°C.

- According to durability and strength, the appropriate percentages of ash are 8 and 24 for the ash groups obtained at 570°C and the ash groups obtained at 670°C respectively.

- The negative effect of sodium sulfate on the strength of the mortar is more than that of magnesium sulfate.

- As the concentrations are increased, the strength of the mortar groups is decreased.





- The strength of the mortar groups supplemented with ash, in terms of the mechanical and physical properties in the effect of water and sulfates, and obtained by burning at 670°C is higher than that obtained by burning at 570°C.

- According to durability and strength, the appropriate percentages of ash are 8 and 24 for the ash groups obtained at 570°C and the ash groups obtained at 670°C respectively.

- The negative effect of sodium sulfate on the strength of the mortar is more than that of magnesium sulfate.

- As the concentrations are increased, the strength of the mortar groups is decreased.



## 1.0. GİRİŞ

Diğer bağlayıcılara göre daha üstün özelliklere sahip olan çimento ile oluşturulan betonarme yapılar, günümüzde yapı sistemlerinin önemli bir kısmını temsil eder.

Bir yapının muhtelif kısımları bilindiği gibi atmosferde, su içinde ve zeminde olmak üzere üç değişik ortamda bulunabilir. Burada korozif etki yönünden en tehlikeli ortamın muhtelif tür sular olduğu söylenebilir. Sular; sülfat, klörür, nitrat şeklinde anorganik asitlerin tuzlarını içeren çözeltiler, asetik asit, laktik asit gibi organik asitli çözeltiler olarak betonu değişik şekillerde etkiler.

Gelişen kimya endüstrisinin bir sonucu olarak da kimyasal ortamla temas eden beton yapılar artmaktadır. Bu gibi beton yapılarda çevre problemleri ile karşılaşmaktadır. Bu şartlardan etkilenen beton yapılarda zamanın bir fonksiyonu olarak korozyondan söz edilmektedir. Beton korozif ortam etkilerine maruz kaldığında, ortamdaki çözeltilerle çimento hidrasyon ürünleri  $-Ca(OH)_2, 3CaOAl_2O_3-$  arasındaki reaksiyonlar sonucu yeni bileşikler oluşur. Bu reaksiyon ürünleri hacim genişmesi, yumuşama ve beton yapısının çözülmesine neden olur. Bunun sonucu olarak beton özelliklerinde çözeltilerin türüne, konsantrasyonuna, sıcaklığına ve etki süresine bağlı olarak olumsuz değişimler meydana gelir. Bu tip korozif problemleri önlemek için çeşitli yöntem ve öneriler vardır. Bu yöntem ve öneriler, özel tip çimentolar ile beton üretmek, özel katkı maddeleri kullanmak veya her ikisi birlikte kullanılarak beton üretmek şeklinde özetlenebilir. Puzolanlı çimentolar da, betonla ilgili bu tip sorunlara belirli oranda cevap vermektedir.

Puzolanlar, kimyasal olarak çok miktarda aktif  $SiO_2$  ve az miktarda  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  gibi oksitler içeren maddelerdir. Puzolan malzeme içindeki camlaşmış aktif silis kireçle karıştırıldığında, nemli ortamda bağlayıcılık özelliği kazanır ve suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşür. Çimentonun hidrasyon ürünü olan ve suda eriyen  $Ca(OH)_2$  ile de birleşerek suda erimeyen silikat tuzu oluşturur. Bu özelliği nedeni ile puzolanlar, çimentonun suya karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkiler. Betonun dayanıklı (durabil) olabilmesi için, basınç dayanımı yüksek olmalı, boşluksuz olmalı ve dayanımı sürekli olmalıdır. Basınç dayanımı betonun tüm nitelikleri ile paralellik gösterir.





Dayanımı yüksek olan beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanıklıdır, aşınmaz (Akman,1987).

Günümüzde bütün endüstri kolları, hammaddeleri ve üretimi etkileyen diğer faktörleri en ekonomik olarak kullanma arayışı içindedir. Gerek ekonomik kazanım için gerek çevre sorunlarının kısmen çözümü için endüstriyel ve tarımsal artıklardan yararlanma konusunda da çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Visvasvaraya, 1986).

Türkiye önemli tarım ülkelerinden biridir ve önemli miktarda tarımsal artık potansiyeline sahiptir. Batılı ülkeler yıllık bitkilerin endüstriyel hammadde açığına katkısını yıllar önce anlayıp, bu alanda çeşitli teknolojiler geliştirmişlerdir. Türkiye'de de bu konuda son yıllarda bazı bilimsel araştırmalar yapılmakta ve ayçiçeği sapı, tütün sapı, buğday sapı gibi yıllık bitkilerin tarımsal artıklarından sellülöz sanayiinde yararlanılmaktadır. (Eroğlu, 1980). Bazı yıllık bitkilerin tarımsal artıkları kül oranı ve silis özellikleri bakımından hammadde ihtiyacına katkıda bulunabilecek niteliktedir. Dünyada ve yurdumuzda bu hammaddelerin çok büyük bir kısmı henüz kullanılmamaktadır.

Tarımsal artıklardan kül elde edilmesinde ciddi sorunlar vardır. Çünkü yıllık bitkilerin hasat mevsimi kısa, artıkların toplanması ve taşınması zordur ve ekonomik değildir. Bu nedenle yıllık bitki artıklarının endüstriyel ürün olarak kullanımına pek yönelinmemiştir. Ancak önemli bir sellülöz ve silis kaynağı olan tarımsal artıkların değerlendirilmesi hammadde sorununun çözümlenmesinde rol oynayacaktır (Dwight, 1975).

Dünyada üretilen tahıl sapsarı miktarı 1980 yıllarında 880 milyon ton tahmin edilmekte ve bunun 550 milyon tonu buğday, 180 milyon tonu pirinç, 60 milyon tonu çavdar, 50 milyon tonu yulaf, 40 milyon tonunu arpa sapı oluşturmaktadır. Bu tarımsal artıkların çeşitli sektörlerde (inşaat, seramik, kağıt v.b.) değerlendirilmesi ülkemize yeni bir ekonomik olanak sağlaması açısından önemlidir. Son yıllarda, ülkemizde de bu konuda bazı bilimsel araştırmalar yapılmaktadır (Eroğlu,1980), (Cengiz,1987), (Mazlum,1989), (Ölmez,1988)

Tahılların tarlada biçilmesi sırasında sapsarın tamamı kesilememekte, toprak yüzeyinden belli bir yükseklikte biçilmektedir. Bu yüzden toplanabilir sap oranı ancak % 70 civarındadır. Toplanan sapsarın yaklaşık % 40'ı hayvan yemi olarak kullanılmakta,



kalanı sellülöz sanayiinde, ahırlarda yatak olarak ve iyi bir enerji kaynağı oldukları için yakıt olarak kullanılmakta veya tarlada çürümeye terk edilmektedir (Clark, 1969, Eroğlu, 1980). Ülkemizde nadasa bırakılan alanlarda, kalan saplar tarlada yakılarak çevre kirlenmesine neden olunmakta, yakma işlemi zaman zaman orman yangınlarına da neden olmaktadır. Ayrıca sapların tarlada yakılması sonucu toprağın ekolojik dengesi bozulmakta, toprağın verimi düşmekte, yapay gübre ve tarım ilacı kullanımı artmaktadır. Bunlar, tarımsal maliyetleri arttırmakta ve çevre kirlenmesine neden olmaktadır.

Tarımsal artıkların tane/sap oranı, ağırlık olarak buğdayda 1/2.6, çavdarda 1/3.5, arpada 1/1.6, pirinçte ise 1/1.4'tür (FAO, 1953). Ancak son yıllarda tane verimi yüksek, kısa boylu buğday varyetelerinin geliştirilmesine çalışıldığından gerçek değerler yukarıdaki değerden biraz daha düşük olması beklenmektedir. Yurdumuzda buğday varyetelerinin tane verimi toprak seviyesinden kesilen toplam saplı ağırlığa oranla %25.3 ile %42.2 arasında değişmektedir. Buna göre Türkiye için ortalama tane verimi %32.33 civarındadır. Bu yüzden tane/sap oranı 1/2 olarak alınabilir (Genç, 1977).

Buğday için bir hektar alan başına toplanabilir sap miktarı 2-2.8 ton/ha. olarak belirtilmektedir (Atchison, 1973). 1991 verilerine göre yurdumuzda buğday ekim alanı 9.63 milyon hektardır. Buna göre Türkiye'de toplanabilir buğday sapı tahmini miktarının 19.4 milyon ton ile 28 milyon ton arasında olması gerekmektedir.

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Buğday üretimi sonunda, buğday sapı çok büyük bir alan kaplar. Bu nedenle yeni ekime hazırlanacak tarlalarda buğday sapı, sürüm işini zorlaştırdığı için tarlada kalan buğday saplarından kurtulmak üzere saplar tarlalarda (yerinde) yakılır. Bu tür bir enerjinin boşa gitmesi yanında, yangın nedeni ile tarlanın ekolojik dengesi bozulur. Tarım ilacı ve yapay gübre gereksinimi doğar. Buna bağlı olarak sulama ihtiyacı artar. Bütün bunlar tarım girdilerini ve maliyeti artırır. Ayrıca sulama toprakta yıkanmaya ve verim düşmesine, tarım ilacı kullanımı ise çevre kirliliğine neden olur.

Bu araştırmanın amacı; buğday sapından elde edilen külün puzolanik özellikte olup olmadığı, yakma sıcaklığının ve yakma süresinin külün özelliklerine etkisi, elde edilen





küllerden belirli oranlarda katılarak üretilen harçların sülfat çözeltilerine karşı dayanıklılığının araştırılması olarak özetlenebilir.

Bu araştırmada buğday sapından elde edilen küldeki amorf (çözülebilir) silisin puzolanik özelliğinden yararlanılması amaçlanmıştır. Deneyleerde kullanılacak külü elde etmek için, Trakya bölgesi Mahmutlu yöresinden sağlanan buğday sapları kullanılmıştır. Saplar önce yaklaşık 1-5 mm boyutunda öğütülmüştür. Öğütülen bu saplar, özel hazırlanmış tel kafeslerde kontrolsüz olarak kendi halinde yaklaşık on saat kadar bir süre ile ön yakmaya tabi tutulmuştur. Önyakmadaki amaç, hacmi küçültmek ve yakma esnasında çıkacak duman ve isten kurtulmaktır. Ön yakma ile elde edilen malzeme, daha sonra kül fırınlarında tel ızgaralı tepsilerde, sıcaklık ve zaman bakımından kontrollü olarak yakılmış ve oda sıcaklığına kadar ani bir şekilde soğutularak kül elde edilmiştir. Elde edilen kül, sapların ağırlıkça yaklaşık %8.6'sını oluşturmuştur. Visvesvaraya (1986)'nın çalışmasında da kül oranı %8 - %11 arasındadır. Kül fırınlarında yakılarak elde edilen kül, daha sonra bilyalı değirmende öğütülerek inceltilmiştir.

Buğday sapı külünün puzolanik özellikleri, mekanik, fiziksel ve kimyasal deneylerle araştırılmıştır. Puzolanik özelliklere sahip olduğu bu deneylerle belirlenen kül, belirli oranlarda çimento yerine katılarak -ikame edilerek- kül katkıli harçlar üretilmiştir (Zhang et al, 1991). Dayanıklılık (durabilite) için, korozif ortamı temsilen, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltileri seçilmiştir. Bu nedenle üretilen şahit ve kül katkıli harçlar sodyum sülfat ve magnezyum sülfatın farklı konsantrasyonlardaki çözeltileri içinde belli sürelerde tutulmuştur. Bu numuneler üzerinde değişik zaman aralıklarında fiziksel ve mekanik deneyler yapılarak küllü harçların dayanıklılığı, şahit harçla ve su içinde bekletilen numunelerle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın genel sonucu olarak; buğday sapı külünün aktif puzolan olduğu, küllü harçların sodyum sülfat ve magnezyum sülfatlı kimyasal korozif ortamda şahit harca göre bu deney süresince daha dayanıklı olduğu ve külün harcın servis ömrünü artırdığı görülmüştür. Ayrıca 570°C'da elde edilen %8 kül katkıli ve 670°C'da elde edilen %8-16 kül katkıli harçların bu ortamlardaki performanslarının şahit ve diğer küllü harç gruplarına göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.



## 2.0. KONU İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu bölümde dayanıklılık, dayanıklılıkla ilgili kavramlar, malzemenin dayanıklılığına etki eden zararlı ortamlar, malzemelerle zararlı ortamların etkileşimi ve puzolan malzemelerle ilgili çalışmalar incelenecektir.

### 2.1. Dayanıklılık (=Durabilite)

Betonun mekanik dayanımı, diğer özellikleri ile paralellik göstermesine rağmen, dayanımın tek başına dikkate alınması zaman içinde yeterli değildir. Betonun dayanıklılığının da incelenmesi önemlidir. Dayanıklılıkla ilgili bazı tanımlar ve açıklamalar aşağıda verilmiştir.

ASTM E 632'ye göre dürabilite, malzeme, yapı bileşeni veya yapı elemanının yapı sistemi içindeki servis yeteneğini belirli zaman boyunca sürdürebilmesidir. Başka bir deyişle durabilite, malzemenin iç ve dış etkilerden belirli zaman içinde en az etkilenmesidir. Betonun dayanıklılığı, betonun herhangi bir etki veya etkilerle zarara uğraması, gibi durumları içeren çok karmaşık olaylara karşılık gelmektedir.

Akman (1987)'a göre dayanıklılık sertleşmiş beton özelliğidir. Hava, su veya kimyasal çevrenin etkisiyle, donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi fiziksel etkiler ve hatta beton iç yapısında agrega ve çimento arasında oluşabilecek reaksiyonlar sonucu beton niteliklerini kaybedebilir. Örneğin mukavemeti azalır geçirimli olur parçalanabilir, betonun bu tür bozulmalara direnç göstermesi zorunludur.

Dayanıklılık sadece çimento için geçerli olduğu düşünülmeyle beraber, betonun tümü ve çimentoda dahil olmak üzere beton bileşimine giren sülfatlı agregalar, reaktif silika ( $SiO_2$ ), ya da karbonatlı agregalar ve alkali içeren çimentolar için geçerli olan bir terimdir (Helmut, 1977).

Betonun mekanik dayanımı, her zaman için göz önüne alınacak başlıca faktör değildir. Dayanıklılık, betonun dayanımını, çeşitli etkilere karşı genel davranışını ve herhangi bir zamandaki performansını belirlemeyi sağlayan ve her zaman dikkate alınması gereken bir faktördür (Meyer, 1974).





Betonun dayanıklılığı ve herhangi bir etki ile betonun hasara uğraması, çeşitli faktörlerin aynı anda etki etmeleri ile karmaşık olaylara karşı gelmektedir (Porrero, 1969).

Dayanıklılık, en genel anlamda, maddenin çeşitli koşullar ve önceden belirlenmiş kullanma süresi şartları altında, elverişli özelliklerini ve performansını sürdürebilme kabiliyeti olarak nitelendirilir (Valenta, 1969).

Postacıoğlu (1986)'na göre dayanıklılık bir beton veya betonarme yapı herhangi bir şekilde harap olmadan veya özelliklerinde bir azalma meydana gelmeden belirli bir süre kendisinden beklenen fonksiyonu göstermelidir. Böyle bir durum ancak betonun dayanıklılığı sayesinde elde edilir. Beton dayanıklılığını bir takım faktörlerin meydana getirdiği mekanik, fiziksel ve kimyasal olaylar sonunda büyük ölçüde kaybedebilir. Bu durum daha çok betonun mukavemetinin azalması ve etkisi altında bulunduğu kuvvetlere dayanamaması ile kendini gösterir.

Çimentolar genel olarak iç ve dış etkilere olmak üzere iki değişik şekilde etkilenirler ve kimyasal mukavemetlerini kaybederek yapıların tehlikeli duruma girmesine neden olurlar. Daha spesifik anlamda dayanıklılık, çimento ve betonun fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal olaylara neden olan iç ve dış etkilere karşı direnç göstermesi şeklinde tanımlanabilir.

Betonun kimyasal etkilere direnç gösterebilmesi için başlıca koşul olarak betonun sıkı bir yapıya sahip olması gereğini ileri sürerler. Betonun ve agregaların porozite ve içe işlenebilirliği ve buna bağlı olarak maddenin absorpsiyon, kapiler yükselme ve difüzyon ile belirlenen yapıya bağlı olarak gazın ve suyun beton içine işleyebilmesi dayanıklılık için oldukça geçerli olduğu anlaşılır. Bu nedenle doğru olarak hesaplanan veya deneyler sonucu bulunan geçirgenlik katsayıları oldukça gerekli ve yararlıdır (Regourd et al, 1978).

Bunun yanında dayanıklılık için, sadece homojenlik, porozite, geçirgenlik, absorbtivite, kapilerlik gibi fiziksel faktörler değil, anhidro fazdaki çimento bileşimi, çimento pastasının hidrasyon derecesi, pasta ve agregalar arasındaki bağların dayanımı da etkili faktörlerdir (Valenta, 1968).

Genelde beton dayanıklılığı üzerinde çalışmak, test yapmak ve sonuçları değerlendirmek için kullanılan metodlar betonun dayanıklılığı ile az yada çok bağlantılı olan bazı parametreler ile ilgili indirekt metodlardır (Carretta, 1989).



İç ve dış etkiler, kimyasal, fiziksel ve mekanik etkiler olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal etkilerin en önemlileri, çimento ve agregaların kompozisyonları ve betonun temas halinde bulunduğu ortamdaki gaz veya çözeltilerin yapılarıdır. Fiziksel faktörler olarak beton yapının porozitesi, dış sıcaklık değişimleri, donma-ısınma etkileri çok önemlidir. Mekanik faktörlerde aşınma, sıkışma olaylarını içerir. Beton veya harç üzerinde dayanıklılığı belirtmek için eskitme deneyleri uygulanır. Yapılan bu deneylerden sonra beton veya harçta hasar belirlemesi amacı ile hasar kontrol deneyleri yapılır. Betonun dayanıklılığında, betonun geçirimsizliği, kimyasal etkilere direnci, taze ve sertleşmiş betonda don etkisi, betonun termik, elektriksel özellikleri, bunların zaman içinde değişimi anlaşılır. Eskitme süreçleri olarak, ıslatma-kurutma, donma-çözülme, çözeltilerde bekletme deneyleri yapmak mümkündür (Postacıoğlu, 1986), (Mehta, 1986).

Kontrol deneylerinden, fiziksel deneyler, ağırlık ve boy değişimi, kılcallık, su emme, geçirimsizlik, porozite, özgül ağırlık, birim ağırlık deneyleridir.

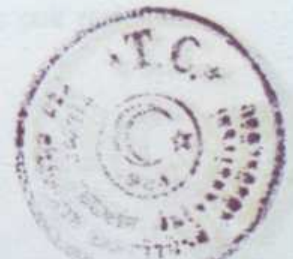
Kimyasal deneyler, harç veya betonun bünyesindeki çimento ürünlerini ya'da çözeltilerdeki kimyasal değişimi, oluşan yeni ürünleri ve kristal yapıyı inceleyen deneylerdir. Bu deneyler, kimyasal analizler, X-Ray Difraktometresi, scanning electron microscope (SEM), transmision electron microscope (TEM) gibi deneylerdir.

Mekanik deneyler, eğilme dayanımının, basınç dayanımının ve Elastiklik modülünün belirlenmesi için yapılan deneylerdir.

Betonun dayanıklı olmasını sağlayan, bağlayıcı maddenin kimyasal mukavemetidir. Çimentonun mukavemetine dolayısı ile betona fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal etkenleri içeren dış ortam etki eder. Betonun dayanıklılığına etki eden iç ve dış etkenler birbirleri ile de ilgilidir (Postacıoğlu, 1986), (Akman, 1987)

### 2.1.1. İç Etkiler

Betonun iç yapısında mevcut olan veya zamanla ortaya çıkan kimyasal öğelerin bir birini etkilemelerine iç etkiler denilir. İç etkiler, çimentonun bileşimine, beton üretiminde kullanılan suya ve agregalara bağlıdır.





Çimentoların içinde karma oksitlerden başka kireç (CaO), magnezi (MgO), sülfürik asit anidridi (SO<sub>3</sub>) ve Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O gibi ürünler bulunur. Bunlardan kalsiyum oksit ve magnezyum oksit su ile yaptıkları reaksiyon sonunda önemli bir hacim artışına neden olur. CaO nun çimento içinde fazla miktarda bulunması, ilkel malzemede CaO nun fazla olmasından, pişirilmeden önce öğütme ve karıştırma işinin iyi yapılmadığından ileri gelebilir. MgO'in fazla miktarda bulunması, bir anlamda CaO'e göre daha sakıncalıdır, Çünkü sönmemiş kirecin reaksiyonu kısa sürede sona ererken magnezinininki çok yavaş bir seyir izleyerek seneler sürer. SO<sub>3</sub> ise çimentonun hidroliz ürünü olan serbest kireç (Ca(OH)<sub>2</sub>) ile birleşerek alçı taşına dönüşür ve ürünün hacim kararlılığını bozar. Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O varlığı belirli koşullarda alkali-agrega reaktivitesine neden olur.

Beton karışım suyu olarak genellikle içilebilen su kullanmaya elverişlidir. Beton karma suyu içinde genel olarak, %1'den fazla SO<sub>3</sub>, %3'den fazla tuz bulunması istenmez. Ayrıca karışım suyunda organik madde ve kolloidal madde de bulunmamalıdır.

Agregaların içinde aktif silisin bulunması çimento üzerinde zararlı etkilere neden olabilir. Aktif silis kuvarz'ın dışındaki silisin polimorflarıdır; bu polimorflar tridimit, kristobalit ve camdır. Çimentoların içinde ham maddelerden kaynaklanan Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O gibi alkali oksitler bulunabilir. Bu alkali oksitler agrega içinde aktif silis bulunması durumunda bir silikat jeline dönüşürler, Sodyum, potasyum ve kalsiyum silikati olan bu jel şişme ve genişleme eğilimindedir, bu durum betonun hacim kararlılığını bozar. Bu nedenle çimentodaki alkali miktarını her ülke kendi standardında sınırlandırmıştır (Postacıoğlu, 1986), (Akman, 1987), (Moskvin, 1983).

### 2.1.2. Dış Etkiler

Dış ortam sertleşmiş betonu fiziksel ve kimyasal yönden etkileyerek hasara uğratar (Neville, Brooks, 1987). Betonda korozyona neden olan dış ortam etkileri, fiziksel veya kimyasal olabilir. Fiziksel etkiler, dış ortam sıcaklığının değişimleri sonucu tekrarlı donma-çözülme ve ıslanma-kuruma, kum fırtınaları, trafik araçlarının yaptığı aşınmalar v.b. sayılabilir. Kimyasal etkiler ise çeşitli kimyasal bileşiklerin oluşturduğu ortamlardır. Bu ortamlar katı, sıvı veya gaz halinde bulunabilir. Kimyasal etkenlerin en çok raslanan



şekli çözeltilerdir ve betonda kimyasal korozyona neden olurlar. Korozyonun şiddeti çözeltilerin sıcaklığına, çözeltideki tuz ve asitlerin cinsine ve konsantrasyonuna bağlıdır (Moskvin, 1983), (Akman, 1987). Betonun kimyasal etkiye uğrayabilmesi için, su içeren ya da nemli bir ortamın bulunması gerekmektedir. Betona zarar veren aşındırıcı ortamlar sulu çözeltiler olup, başlıcaları sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve amonyum gibi katyonların, sülfat, sulfat, klorür halindeki tuzlarını, asitleri ve bazı organik bileşiklerini içeren yeraltı ve yüzey suları, deniz suları, atık sular gibi sulu çözeltilerdir. Betonun uğradığı kimyasal etkilerin mekanizmaları, sertleşmiş çimento pastası ile aşındırıcı ortamın etkileşiminin suda çözünebilir maddelerin, öncelikle yüzeyde çözünmesi ve betonun içine işliyerek genişmesi şeklinde iki aşamalıdır. Çözünmeye asit yada yumuşak sular ve/veya iyon değiştirici tuz çözeltileri sebep olabilir. Bu çözeltiler, çimento pastasının yapısında sıra ile çözülme ve yumuşama oluşmasına yol açarlar. Çözünür ürünlerin (tuzlar) oluşumu ile genişleme ve bu tuzların kristal büyümesinin yarattığı basınç nedeni ile yapıda çatlama ve parçalanmalar meydana gelir. Bunlar sülfat, etringit ve/veya tomasit tuzlarıdır (Meyer, 1974), (Richartz, Locher 1977).

Kimyasal etkinin gerçekleşebilmesi ve şiddeti aşındırıcı ortamın çözünürlik, konsantrasyon ve ayrışma sabitlerine bağlıdır. Aşındırıcı ortama ait bu parametrelerin aynı reaksiyon ürünleri içinde normal koşullar altında olmak şartıyla geçerlidir. Normal olmayan yani yüksek sıcaklık, donma, su basıncı veya zarar verici maddelerin yenilenmesi ve hatta mekanik etkiler gibi koşullar kimyasal etkiyi hem hızlandırır hem de artırabilir (Meyer, 1974).

Betondaki hasar derecesinin betonun özelliklerine ve zarar verici etkilerin yoğunluğuna bağlı olduğu görülmektedir. Kimyasal etkenlerin en önemlileri, çimento ve agregaların kompozisyonları ve betonun temas halinde bulunduğu ortamdaki gaz veya çözeltilerin yapılarıdır.

Beton içine korozif elementlerin geçişi, betonun porozitesi ile ilişkilidir. Uygun şartlar altında korunamayan betonda bu etkilerin oluşturduğu hasarın büyüklüğü betonun kalitesine bağlıdır (Helmut, 1975).

Hasarlar geçirgenlikle çok sıkı bir ilişki içindedir çünkü, hasarın oluşması ile aşındırıcı çözeltilerin, gaz ve suyun betonun içine nüfuzu kolaylaşır olay hızlanır



Betonda iç ve dış etkiler nedeniyle çeşitli şekil ve büyüklüklerde boşluklar meydana gelir. Betonun dayanıklılığında önemli bir faktör de betodaki boşluk miktarıdır. Bu boşluklar nedeni ile oluşan geçirimsizliklerdir. Dayanıklılığın iyi olabilmesi için, betonun dış ortamdaki kimyasal sıvılara ve gaz akımına karşı geçirimsiz olması gerekir. Sıvı ve gazların boşluklu malzemelere nüfuz etmesi ve yayılması şu şekilde olur. Sıvılar, doymuş akım yani basınçlı geçirimsizlik, doymamış akım yani kılcal geçirimsizlik ve gaz akımı şeklinde hareket eder. Betonda geçirimsizlik ve kılcal su emme olayını önlemek için ilk çare boşluk oranı düşük yani dolu bir beton üretebilmektedir. Dolu bir beton mekanik yönden yüksek mukavemetli olması yanında geçirimsiz de sayılabilir. Betonda geçirimsizlik ve kılcal su emme olayını önlemek mümkündür. Geçirimsizlik, büyük özgül yüzeyi olan puzolanları çimentoya katmakla, kılcal geçirimsizlik ise su itici katkılarla sağlanabilir (Akman, 1987), (Uyan, 1977).

## 2.2. Zararlı Ortamlar

Beton için zararlı dış ortam genellikle kimyasal çevredir. Betonun bulunduğu korozif kimyasal dış ortamı atmosfer, su ve zemin olarak sınıflamak mümkündür. Burada en tehlikeli ortamın çeşitli sular olduğu söylenebilir. Sülfatlı, klörlü, nitratlı sular doğal kimyasal korozif ortamı oluşturur. Nehir, göl, deniz sularının yanı sıra kimya endüstrisinin atıkları bu tür sulardır. Havanın fazla sıcak, rutubetli veya yağışlı olması hallerinde havada bulunan, hidrojen sülfür ve benzeri gazların asit oluşturması sonucu betonun kimyasal mukavemetini azaltır.

Betonu etkileyen korozif dış ortamı: organik veya anorganik oluşuna, korozif maddenin katı, sıvı, gaz şeklinde bulunmasına, çözeltideki anyon ve katyon şeklinde oluşuna göre sıralamak mümkündür. Genelde kimyasal dış ortam sülfat, klörür, nitrat v.b. şeklinde tuzların anyonuna göre yapılır. Betonun hasara uğratan nedenlerden bazılarında biyolojik kökenli; aerobik, anaerobik bakteriler ve yosunlar sayılabilir. Bunlara ilave olarak asidik asit laktik asit gibi organik asitlerde sayılabilir. Kimyasal etkilere neden olan sular ve çözeltiler aşağıda verilmiştir (Moskvin, 1983), (Güner, Akman, 1984).

### 2.2.1. Sular

Su, atmosfer içinde gaz (su buharı), sıvı (sis,yağmur) veya katı (buz, kar) halinde bulunur. Suyun etkisinin diğer aşındırıcı maddeler için taşıyıcı görev alması mı, yoksa betonun doygunluğunu koruması mı olduğu açık değildir. Suyun varlığı donma ve ısınma döngüsünün etkisinde'de önem taşımaktadır. Aşınmadaki en önemli etkileri; çözülmüş halde  $C_2O$  içermelerinden dolayı zayıf asidik ve nötr sular ve/veya sülfatlı sular oluşturur.

#### 2.2.1.1. Saf Sular

Saf sular, buzullar, kar birikintileri, yağmur v.b. den meydana gelen tabii sular veya yoğunlaştırılmış, destile edilmiş endüstriyel sular olabilir. Bu sular, çimentonun kalsiyum silikatlarının hidrolizinden kaynaklanan ve betonda bulunan kalsiyum hidroksiti  $Ca(OH)_2$  çözerek yıkar. Boşluklu geçirimli beton oluşumunu kolaylaştırır (Massazza, 1989).

#### 2.2.1.2. Karbondioksitli Sular

Atmosferin ana bileşeni olan karbondioksit suda çözelti halindedir ve bütün doğal sularda bulunması kaçınılmazdır.Karbondioksit ayrıca yeraltı yüzey sularında veya biyokimyasal ve mikrobiyolojik proseslerden oluşan atıklarda bulunur.

Akman (1992)'a göre Sudaki karbonik asit içeriği, kireç taşıyı çözebilen sudaki karbondioksit miktarı ile tanımlanır. Karbondioksitin belirli bir değerden, örneğin 10 mg/lt fazla olması karbonik asit'in ağırsif olduğunu yani grup korozyon oluşturacağını kanıtlamaya yetmez. Suyun sertlik derecesi ve pH ile ölçülen asitliği'de bu ağırsifliğin belirlenmesinde rol oynarlar.

Karbonik asitin korozyonu karbonat, silikat ve alüminatlarla yaptığı kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Bu reaksiyonlar arasında karbonik asitin karbonatlarla olan etkileşimi en yaygın olanıdır. Bilindiği gibi  $CaCO_3$  ve  $MgCO_3$  suda erimezler, buna karşılık bikarbonatlar suda çözünen tuzlardır.

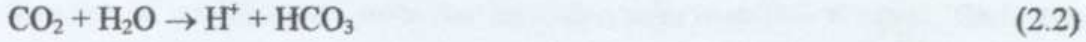




Massazza (1989)'ya göre Karbondioksit, bikarbonat içinde bağlı bulunan CO<sub>2</sub>'in yarısıdır ve suyun kaynaması ile kaybolur, bağlı durumda bulunan diğer yarı ise aşağıdaki reaksiyona göre kalsiyumkarbonat formunda çöker. Karbondioksit suda aşındırıcı, serbest, denge, toplam, yarı-birleşik, bağlı ve birleşik halde bulunur. Yarı-birleşik olarak görülen karbondioksit; bikarbonat içinde bağlı bulunan CO<sub>2</sub>'nin yarısıdır ve suyun kaynaması ile kaybolur,bağlı durumda bulunan diğer yarı ise aşağıdaki reaksiyona göre kalsiyumkarbonat formunda çöker.

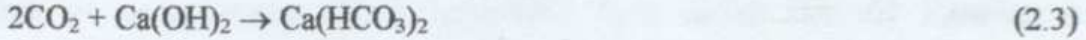


Sulu çözeltilerde,serbest karbondioksit su ile şu denkleme göre reaksiyona girerek zayıf bir asit davranışı gösterir.



Bikarbonat iyonlarının betona etkileri, sudaki a) katyon eksikliği veya azlığı; b) bazı katyonların varlığı ile ilişkili olarak değişir.

a) İlk etapta CO<sub>2</sub> 'nin tamamı,suyun çimento pastası üzerindeki aşındırıcı etkisini artırır.Çünkü kalsiyum hidroksiti çözerek bikarbonat formuna dönüştürür.



Silikatları, alüminatları ve ferritleri etkileyerek,belirli bir bağlama kapasitesi olmaksızın silisyumdioksit hidrate alüminyum oksit ve demir oksitlerin oluşumuna neden olur. Katkılı çimento kullanımı bu tür etkiyi azaltabilir

b) Kalsiyum (ve Magnezyum) gibi katyonların varlığı, çimento pastası üzerindeki CO<sub>2</sub> etkilerini değiştirir. Bu elementler suda bikarbonat gibi bulunurlar, çünkü CO<sub>2</sub> karbonat kayalarının kalsit ve mağnezitini (2.4) nolu reaksiyona göre çözer.



Kalsiyum bikarbonat (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) stabildir, eğer su bir miktar CO<sub>2</sub> içerirse (denge karbondioksiti olarak isimlendirilir) ki reaksiyon dengesini korumak için uygundur.

Böylece üç durum oluşur:

- I) Serbest CO<sub>2</sub> > denge CO<sub>2</sub> 'si
- II) Serbest CO<sub>2</sub> = denge CO<sub>2</sub> 'si
- III) Serbest CO<sub>2</sub> < denge CO<sub>2</sub> 'si



Pratikte suyun aşındırıcılığı serbest CO<sub>2</sub> ile denge CO<sub>2</sub>'si arasındaki orana bağlıdır ve 4 denklemine göre kalsiyum hidroksiti çözebilir.

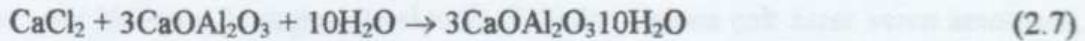
Diğer iki durumda, çimento pastasındaki kalsiyum hidroksit ile etkileşir, reaksiyon şu şekildedir:



Kalsiyum karbonat, betonun gözeneklerinde çöker ve geçirgenliğini ve sonuç olarak da aşınmaya karşı direncini artırır.

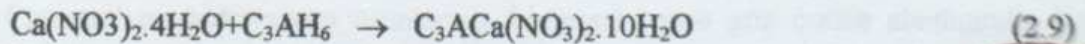
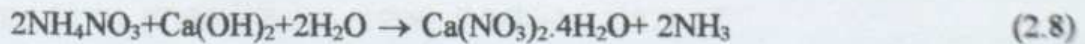
### 2.2.1.3. Klorürlü Sular

Yeryüzü ve yer altı suları cevherler yönünden zayıf iken (10-50 ppm), deniz suyu kloritleri yüksek miktarda (yaklaşık %2) ihtiva eder. Çözeltideki klörürler çimentodaki Ca(OH)<sub>2</sub>'in çözünmesini kolaylaştırarak, donatının korozyonuna neden olur. Klorürlerin bu olumsuz etkisi yanında, sülfat iyonlarının C<sub>3</sub>A' daki etkisini yavaşlatması gibi olumlu etkisi vardır. Klörürler özellikle CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, NaCl, KCl şeklinde ve bunların birkaç tanesinin bir arada karışımı halinde bulunabilir. C<sub>3</sub>A, serbest klor (Cl<sup>-</sup>) ion'ları ile birleşerek aşağıdaki denklemlerde görüldüğü gibi Friedel tuzu tuzunu oluşturarak agressif klor içeriğini düşürmektedir (Dhir, Byars, 1993)



### 2.2.1.4. Nitratlı Sular

Nitratlı çözeltiler, çimentonun hidretasyon ürünü olan Ca(OH)<sub>2</sub> ile reaksiyona girerek, kalsiyum nitrat tuzu meydana getirir. Bu ürün, C<sub>3</sub>A'nın hidratasyon ürünü C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> ile reaksiyona girerek hacimce genişlemeye neden olan tuzlar oluşturur (Güner, Akman, 1984, Akman, Yıldırım, 1987).



Meydana gelen tuz hacimce genişlemeye neden olur.





### 2.2.1.5. Sülfatlı Sular (Suların sülfat içeriği)

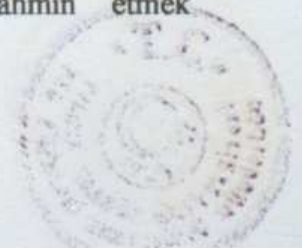
Beton sülfatlı sularla etkileştiğinde, sülfatla çimentonun hidrasyon ürünleri arasındaki reaksiyonlar sonucu sülfatın türüne göre betonun hacim sabitliği bozulur, yüzeyi beyaz, yumuşak ve jel gibi yapışkan bir görünüş alır. Bu olay beton yapısının çözülmesine neden olur.

Betonun sülfat etkisine dayanımı sülfat türüne, konsantrasyonuna, etkiye süresine, ortam sıcaklığına, çözeltinin yenilenmesine ve hareketine bağlı olarak değişiklik gösterir. Sülfatlar pratik olarak az veya çok bütün sularda bulunur. Sudaki sülfat konsantrasyonu hasarın derecesini belirleyen önemli bir faktördür. 0-150 ppm, 150-1500 ppm, 1500-10000 ppm ve 10000 ppm'in üstü konsantrasyonlar sırası ile yumuşak, orta, ciddi, çok ciddi olarak gruplandırılabilir (Gjorv, Loland, 1982). Sülfatlar, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum gibi alkali ve toprak alkalilerin tuzları veya  $NH_4^+$  tuzu bileşimindedir. Ayrıca fabrika baca gazında oluşan  $SO_3$ 'nin atmosferdeki nem ile yaptığı asit yağmuru'da sülfat asidi şeklindedir.

Toprak belirli oranlarda  $SO_4^-$  içerir, bu oran genelde düşüktür (0.01-0.05 %), bazı durumlarda %5 oranında bulunabilir. Sülfatlar, kumlu toprakta daha az bulunurken genellikle killi topraklardaki yeraltı sularında, temel sularında, akarsularda, deniz suyunda veya kimya endüstrisinde ürün ve/veya atık şeklinde bulunurlar. Bununla birlikte doğa şartları yerel kirlenme ile değişebilmektedir. Sülfatlar, betona çok zarar veren amonyum, magnezyum, sodyum ve kalsiyum sülfat halindedir, diğerleri daha az etkilidir. Toprakta ve yüzey sularındaki sülfat varlığının farklı nedenleri, sülfat oksidasyonu, kükürt içeren organik bileşiklerin dönüşümü, endüstriyel olaylara bağlı kirlilik sayılabilir.

Betonla çözeltiler arasında oluşan reaksiyon ürünleri, sulfata bağlı katyonlar, farklı sülfat karışımları, bunların birbirine bağlı oranları, çözeltideki iyonların miktarı, çimento bileşenlerinden trikalsiyum aliminat ( $C_3A$ ) oranı ile kristal şekli, çimentonun hidrasyon ürünü olan  $Ca(OH)_2$  miktarına göre değişir. Sülfat etki mekanizması çok karmaşıktır (Neville, 1977), (Cohen, Bentur, 1988), (Malhodra, 1987).

Çimentoların hidrasyon ürünlerinin kimyasal yapısı göz önüne alındığında, bu çimentoları hangi tip aşındırmanın etkileyebileceğini önceden tahmin etmek



kolaylaşmaktadır Bunların daha fazla veya az bazik karakter taşıması, belli bir pH değerinin altında asit etkisinin olabileceğini ortaya çıkarır. Buna karşılık, temel değişimi,  $\text{Ca(OH)}_2$  ile kation tuzları arasında, daha zayıf ve/veya daha az çözünebilen hidroksitler ve anyonlar vererek ve çözünebilen kalsiyum tuzları (çözünebilen magnezyum tuzları gibi) oluşturarak, gerçekleşir. Sonuçta sülfatlar ile hidrate alüminatlar ve ferritlerin etkileşimi nedeniyle, çok kompleks bir etki oluşumu mümkündür (Dutruel, Guyader, 1975).

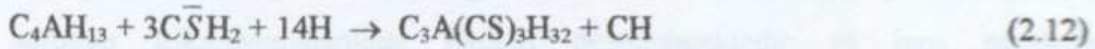
Sülfatlı çözeltilerde, ortamdaki sülfat iyonları çimentonun hidratasyon ürünü  $\text{Ca(OH)}_2$  ile reaksiyona girerek  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  meydana getirir.



Bu reaksiyon  $\text{NaSO}_4$ 'lı ortamda ise  $\text{Na(OH)}$ ,  $\text{MgSO}_4$ 'lı ortamda ise  $\text{Mg(OH)}_2$  oluşturur. Reaksiyonda oluşan  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  çimentodaki  $\text{C}_3\text{A}$ 'nın hidratasyon ürünü  $\text{C}_3\text{AH}_6$  ile  $\text{C}_4\text{AH}_{13}$  veya  $\text{C}_4\text{ASH}_{12-18}$  ile candlot tuzu oluşturur. Candlot tuzu doğal mineral olan Ettringit'e çok benzer olup yaklaşık 32 molekül su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) bağlayarak harç ve betonda hacim artışına neden olur (Neville, 1977), (Cohen, Bentur, 1988).

Reading (1975), Diamond (1977), Winkler, Singler (1972) gibi Araştırmacılar, kationların mekanizmalarının beş şekilde görülebileceğini; ortaya koymuşlardır.

1) Sülfoalüminatların (ettringit) oluşumu



2) Jipsin oluşumu (şematik olarak), NS sodyum sülfat olmak üzere,



şekindedir. Sülfatın asidik yapısı, genleşme yaratmaksızın yüzeye zarar verir.

3) Sülfat iyonları veya sülfatları içeren diğer reaksiyonlar, örneğin alkali sülfat kristallerinin oluşumu, alkali sülfat konsantrasyonu yüksekse ve koşullar elverişli ise;



(mirabilit) şeklinde herhangi bir reaksiyon meydana gelebilir, aynı zamanda yüzeyin yarılması şeklinde zarara uğramasına sebep olabilir (Reading, 1975), (Winkler, Singler, 1972)





4) Jips ile aynı anda brusit (anhidro  $Mg(OH)_2$  ortamda  $MgSO_4$  varsa) oluşumu;



yapının bozulmasına katkıda bulunur.

5) Jips ve brüsit ile aynı anda (ortamda  $MgSO_4$  varsa) hidrate silikanın oluşumu;



2 ve 3 deki hareketlere ilave etkide bulunur.

### 2.3. Sülfatların Betona Etkisi

Yukarıda da görüldüğü gibi betonda kimyasal etkilere neden olan çözeltilerden en önemlileri sülfatlı sulardır. Çalışmanın da konusu olması bakımından sülfatlı suların etkisi daha etraflıca incelenecektir. Sülfatlı suların betona etki etmesinde birinci koşul, suda,  $SO_4^-$  iyonu konsantrasyonunun yüksek olması, ikinci koşul, çimento pastasında,  $Ca(OH)_2$  ve hidrate alüminatların miktarının yüksek olmasıdır. Sülfirik anhidrit miktarı; Portland çimentosu kullanılarak hazırlanan betonlarda tehlike yaratabilir. Teorik olarak, limit  $SO_4$  konsantrasyonu düşüktür (0.0013 gr/lt). Pratikte bu değer aşılabılır; kabul edilebilir max miktar 0.6-0.7 gr/lt'dir, gözenekli betonlarda ise 0.03-0.05 gr/lt'ye düşer. Pasta içindeki  $Ca(OH)_2$  miktarı çimentonun tipine bağlıdır. Portland çimentosunda en yüksek değerde, puzzolanlı çimentolarda ise en düşük değerdedir. Sülfat etkisine karşı çimento içindeki ana sorunun trikalsiyumalimünat olduğu düşünülmektedir ve bazı ülkelerin standartlarında  $C_3A$  miktarı bazı limitlerle sınırlandırılmıştır. Sülfatın neden olduğu genleşmeyi, puzzolanlar etkili olacak kadar azaltır. Bilindiği gibi bu etki, puzolan ve çimentonun kimyasal kompozisyonuna bağlıdır (Massazza, 1989).

Sülfatlı sular beton bileşenlerinden çimento hamuruna etki etmektedir. Sülfatlı suların çimento ürününe etkisi iki şekilde ortaya çıkar. Birinci etki sülfat anionlarının, çimento hidrasyon ürünü hidrate kireçle tepkimesi sonucu alçı taşı oluşumudur. Sülfat tuzunun katyon türüne bağlı olarak alçı taşı ile birlikte teşekkül eden reaksiyon ürünü, NaOH gibi suda eriyen veya  $Mg(OH)_2$  gibi suda erimiyen türde olabilir. Yan ürünün eriyebilirliğine bağlı olarak korozyon daha şiddetli olabilir; örneğin sodyum sülfat, magnezyum sülfata oranla sülfat etkisi açısından daha zararlıdır (Akman, 1992). Betona



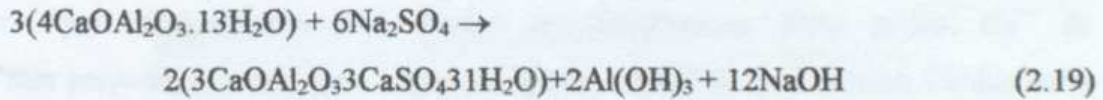
sülfat etkisi, sülfatlara, çimento ve betonun yapısına, tuzların konsantrasyonuna, dış koşullara, v.s. bağlıdır. Beton ile sülfatlı çözeltiler arasında oluşan reaksiyon ürünleri, sülfata bağlı kationları, farklı sülfat karışımları, bunların birbirine bağlı oranları, çözeltideki miktarları, çimentodaki C<sub>3</sub>A miktarı, C<sub>3</sub>A'nın kristal şekli ve hidrate çimento hamurundaki Ca(OH)<sub>2</sub>'e göre değişiklikler gösterir.

### 2.3.1. Sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Etkisi

Sudaki sodyumsülfat hidroliz kireci ile aşağıdaki gibi reaksiyona girer.



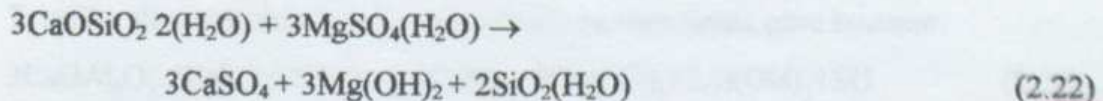
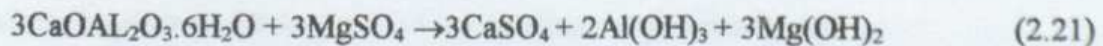
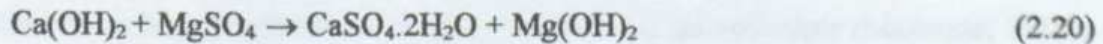
Sodyumsülfat 12 nolu denkleme göre oluşan ve çok geniş halde kristalleşen alçı taşından dolayı özellikle zararlıdır. Sülfat ayrıca, aşağıdaki reaksiyon ile gösterilen mekanizmaya göre kalsiyum alimünatlara da etki eder.



Bu reaksiyon kalsiyumsülfoalimünatın oluşumuna yol açar (Neville, 1987), (Güner, Akman, 1984), (Carretta, 1989).

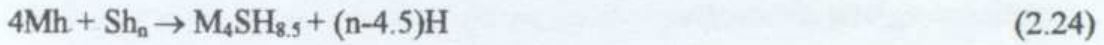
### 2.3.2. Magnezyum Sülfat (MgSO<sub>4</sub>) Etkisi

Yeraltı suları 300 mg/lt'ye kadar Mg<sup>++</sup> iyonları ihtiva edebilirken, yüzey suları nadiren 15-20 mg/lt'den daha fazla ihtiva ederler. Magnezyumsülfat, CaSO<sub>4</sub>'den daha çok zararlı etki yapar. Çünkü MgSO<sub>4</sub> sadece kalsiyum hidroksitle değil, ayrıca aşağıdaki reaksiyonlara göre hidrate çimento pastalarını oluşturan diğer kalsiyum bileşikleri ile de reaksiyona girer.





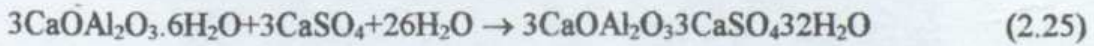
Bu reaksiyonlarda oluşan kalsiyum sülfat, alimünahidratlarla reaksiyona girebilir ve yaygın etringit oluşumuna neden olur. Fakat onun herhangi bir durumunda çimento pastasının gözeneklerinde alçı taşı şeklinde kristalleşmesi betonun kendi kendine genişmesine neden olur. Bu reaksiyonlar nedeni ile magnezyum sülfatın etkisi oldukça karmaşıktır ve basit başlıklar altında toplamak güçtür. Ayrıca magnezyumun konsantrasyonuna bağlı olarak etkisi de değişiklik gösterir.  $MgSO_4$ , çimentoda  $C_3S$ 'in hidratasyon ürünü C-S-H ile reaksiyona girerek MSH oluşturur. NS ise  $C_3A$ 'nın hidratasyon ürünleri ile reaksiyon yapmaktadır.  $Na_2SO_4$  ile  $MgSO_4$ 'nın beton üzerindeki etkisi bu bakımdan farklıdır. Magnezyum sülfat'ın CSH ile reaksiyonunu şöyledir (Cohen, Bentur, 1988).



Yukarıdaki reaksiyona göre MSH, CSH'daki C'nin M ile yer değiştirmesi sonucu oluşur. Oysa bu reaksiyonu  $Na^+$  iyonları gerçekleştirir. Buna neden;  $Ca^{++}$  ile  $Mg^{++}$ 'nin periyodik cetvelde aynı grupta yer alması ve Mg'un iyon çapının Ca'dan daha küçük olmasıdır. Mg ile Ca'nın yer değiştirmesi sonucu oluşan ürün MSH, CSH'a benzemez. Çözünerek betonu veya harcı hasara uğratar (Mehta, 1986).

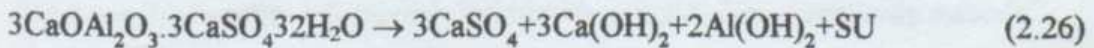
### 2.3.3. Kalsiyum Sülfat ( $CaSO_4$ ) Etkisi

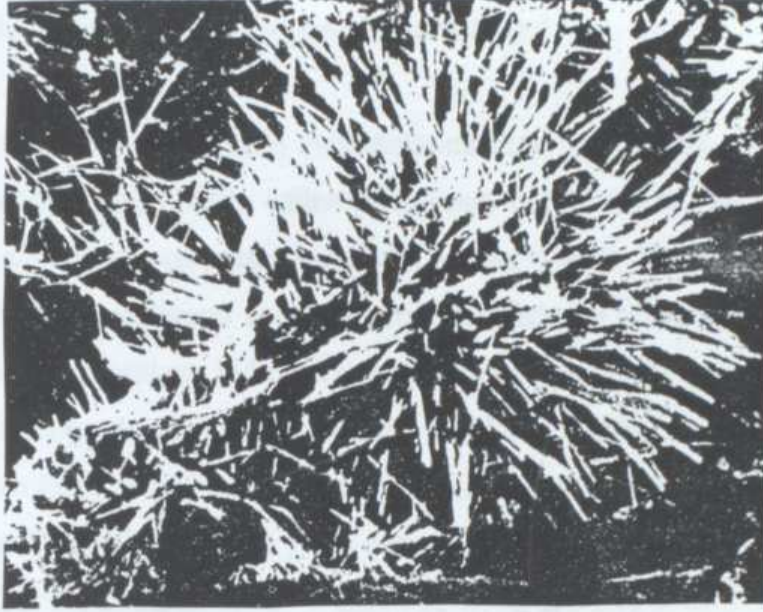
$CaSO_4$  ve sertleşmiş çimentonun hidrate kalsiyum alüminatı arasında devamlı gelişen reaksiyona göre, sudaki sülfat içeriğine bağlı olarak denkleminde görüldüğü candilot tuzu oluşturarak büyük hacim genişmesine yol açar ve betonu hasara uğratar.



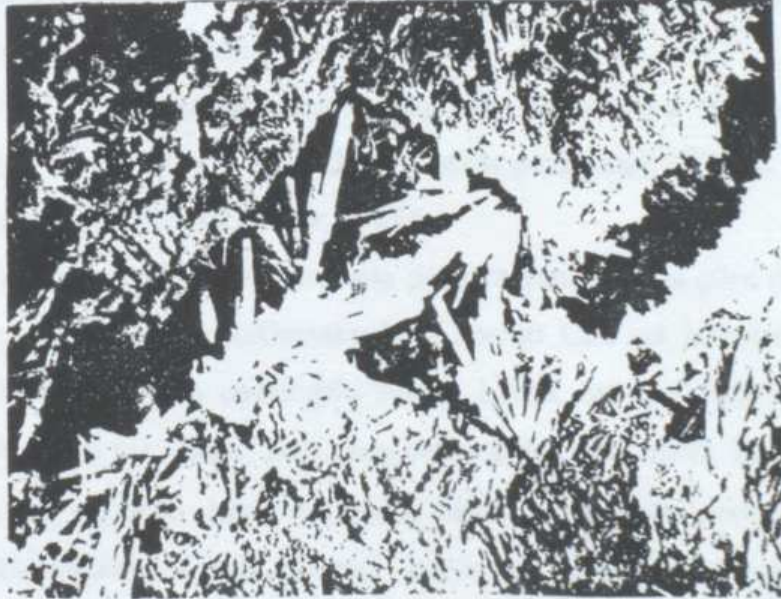
Bu şekilde oluşan etringite çubuk veya iğne formunda kristalleşir. Birleşik etringite kristallerinin bu iki tipik görünümü şekil 2-1 ve şekil 2-2'de verilmiştir (Massazza, 1989). Kristallerin büyüme yönünde yayılma kuvveti oluşturduğu saptanmıştır.

Trisülfür alüminat suda hidrolize yönelerek, şu reaksiyona göre bozunur.





Şekil 2.1 CaSO<sub>4</sub> çözeltisi etkisinde kalan çimento pastasındaki etringit kristalleri  
S.E.I. 2.000 X (Birchall,J.D;1981)



Şekil 2.2 CaSO<sub>4</sub> çözeltisi etkisinde kalan çimento pastasındaki etringit kristalleri  
S.E.I. 3.000 X (Birchall,J.D;1981)

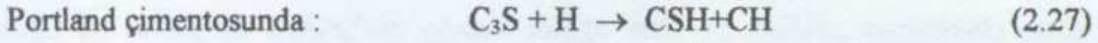
Fakat kalsiyum sulfat ve kalsiyum hidroksitçe zengin olan çözeltilerde stabildir\* .

\* 20°C'da alt kısımlardaki gibi C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> ve Ca(OH)<sub>2</sub> varlığında, sülfoalüminatın stabilliği için 0.019 gr/lt CaSO<sub>4</sub> konsantrasyonu yeterlidir.



#### 2.4. Puzolanların Betonun Dayanıklılığına Etkisi

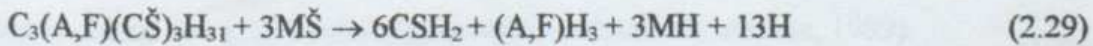
Genelde puzolanların portland çimentolarına ilave edilmesi ile erken dönemlerde betonun dayanımını düşürür. İlave edilen puzolanın tipi ve miktarı ile ilgili olarak son dayanımı portland çimentosununkini aşabilir (Carretta, 1989). Portland çimentosundaki  $C_3S$ ,  $C_2S$  hidrasyon reaksiyonu sonunda genel bir ifade ile gösterilen CSH (kalsiyum silikat hidrate) ve CH (kalsiyum hidroksil) oluşur. Çimentoya katılan puzolanlardaki aktif silis bu CH ile birleşerek çözünmeyen kararlı CSH'e dönüşür. Puzolanın yaptığı bu reaksiyona puzolanik reaksiyon denir. Reaksiyon, portland çimentosunda hızlı puzolanlı portland çimentosunda ise yavaş olur.



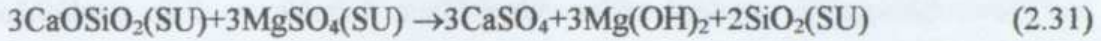
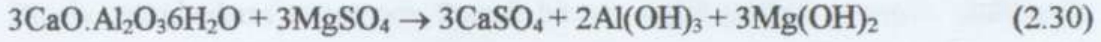
Çimento hidrasyonu sonucu her iki reaksiyonda da CSH oluşmaktadır. Puzolanik reaksiyon sonunda oluşan CSH, portland çimentosunun CSH'inden daha küçük özgül ağırlığa sahiptir (Cohen, Bentur, 1988).

Puzolanın CSH'ı kimyasal ortamda mekanik ve kimyasal özellikler açısından diğerine göre daha dayanıklıdır. CSH'daki C/S oranı puzolanik CSH'da 1.2, portland çimentosunda ise 1.7'dir (Cohen, Bentur, 1988).

Puzolanlı çimentoların sülfatlı ortamda portlant çimentosuna göre daha dayanıklı oluşunu (Lafuma, 1929) şöyle açıklamaktadır. Çimento  $C_3A$ 'nın hidrasyonu sonucu oluşan  $C_3AH_6$  katı halde iken çözeltideki sülfatlı bileşik örneğin  $NaSO_4$  ile hacimce genişmeye neden olan tuz oluşur, harç veya beton korozyona uğrar. Harcın  $SO_4^-$  den etkilenmesi,  $C_3AH_6$ 'nın katı halde olmasına bağlıdır. Bu etki sertleşmiş çimento hamurunda görülmektedir.  $C_3AH_6$  bileşiği çözünerek çözeltide sülfatlı bileşik ile reaksiyona girerse, yeni ürün hacimce genişmeye neden olmaz.  $C_3A$ 'nın sülfatlı ortamdaki hasarı  $C_3AH_6$  hidrasyon ürününün çözünüp çözünmemesine bağlıdır.  $MgSO_4$  çözeltileri bulunduğunda, öncelikle oluşan etringite, jips, Magnezyum ve Aliminyum hidroksit oluşturmak için tuzlarla aşağıdaki denkleme göre (Carretta, 1989).



bozunmaya uğrar. Magnezyumsülfat,  $\text{CaSO}_4$ 'den daha fazla zararlı etkiye sahiptir. Çünkü o sadece kalsiyum hidroksit ile değil, ayrıca aşağıdaki reaksiyonlara göre hidrate çimento pastalarını oluşturan diğer kalsiyum bileşikleri ile de reaksiyona girer :



Bu reaksiyonlarda oluşan kalsiyum sülfat, alüminat hidratlarla reaksiyona girebilir ve yaygın etringit oluşumuna neden olur.  $\text{MgSO}_4$ 'ın etkisi oldukça karışıktır (Massazza, 1989).

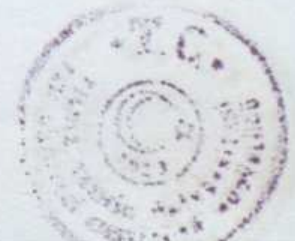
Puzzolanlardaki aktif silis puzzolanik reaksiyona göre  $\text{CH}'$ ı bağlamaktadır.  $\text{CH}'$ ın az olduğu bu ortam da  $\text{C}_3\text{AH}_6$ 'nın çözünürlüğü artar ve  $\text{C}_3\text{AH}_6$ , çözeltideki sülfat iyonları ile genişmeyen tuz oluşturur. Buna karşı bazı araştırmacılar, puzzolanların sülfat etkisine dayanıklılığını ve mekanizmasını tartışmaktadır (Carretta, 1989).

Sülfat iyonlarının hidrate çimentoda yayılabilirliğinin saf suda az,  $\text{Ca(OH)}_2$  çözeltisinin de büyük olduğunu belirtmektedir. Böylece  $\text{Ca(OH)}_2$ 'nin bulunmadığı ortamda, puzzolanlı çimentolarda  $\text{SO}_4^-$  iyonlarının beton veya harç içinde yayılması güçleşmiştir. Sonuç olarak sülfat etkisi puzzolanlı çimentolarda görülmemektedir veya puzzolanla önlenmiş olmaktadır.

Puzolanların önemli bir özelliğide alkali-agrega reaksiyonunu önlemesidir. (Mehta, Polivka, 1976) alkali-agrega reaktivitesi ile ilgili çalışmada, aktif silisli agregaya ile üretilen pirinç kabuğu küllü betonların, dogal puzolan ve aynı agregaya ile üretilen betonlardan alkali-agrega reaktivitesi yönünden daha etkili olduğunu göstermişlerdir.

(Akman, 1992)'a göre puzolanlar çimento hamurunun kirecini tesbit ederek pH derecesini indirgeyen puzolanlar silisin çözünürlüğünü azaltarak alkali-silis reaksiyonunu ve jel oluşumunu önlediğini, bu bağlamda fazla miktarda puzolan katıldığında olumlu sonuç elde edilebileceğini vurgulamaktadır.

Puzzolanın sülfatlı ortamda daha dayanıklı oluşunu,  $\text{Ca(OH)}_2$ 'in azalmış oluşuna, ürünün düşük geçirgenliğine, çimento jelinin farklı kompozisyonuna, puzzolanlı çimentoda oluşan etringitin kararsızlığına bağlanmaktadır (Massazza, 1989).





### 2.4.1. Puzolanlar

Betonarme yapılarda meydana gelen hasar, çimentoya puzolan katılarak azaltılabilir. Asidik ortamlarda puzolanların çimentoya katılması ile betonun dayanıklılığı artar. Bu da, puzolanların çimentoda önemli bir yer teşkil ettiğini gösterir. Puzolanlar ince öğütülmüş silisli ve alüminli maddelerdir. yalnız başlarına bağlayıcılık özellikleri olmamasına rağmen normal şartlarda kireç veya çimento ile karıştırıldığında su ile yaptığı reaksiyon sonunda suda çözünmeyen, kararlı, bağlayıcı madde özelliği kazanırlar. Puzolanlar çimentoya üretim sırasında veya daha sonra katılırlar. Böylece katkılı portland çimentosu elde edilir. TS 19'a göre çimentoya katılacak puzolan miktarı çimento ağırlığının %10-35'i arasında olmalıdır. Puzolanların kireci tesbit etmeleri çimento yönünden önemlidir. Çimentolara puzolan katılması ile su etkisinde eriyen kireç erimez duruma geçer ve böylece çimento dış etkilere daha dayanıklı olur. Portland çimentosuna puzolan ilave edildiğinde çimentonun hidrasyonu sonunda meydana gelen  $\text{Ca(OH)}_2$  ile puzolan içindeki  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  arasında oluşan reaksiyon sonunda, puzolan yine bağlayıcılık özelliği kazanabilir (Lea, 1970), (Postacıoğlu, 1986).

Çimentonun bir kısmı yerine puzolan ilave edilmesi, betonun plastikliğini artırır, su kuma ve çözülme olaylarını önler, hidrasyon ısısını ve betonun geçirgenliğini azaltır (Kocataşkın, 1959)

Bir puzolanın reaksiyonunda bağladığı kireç miktarı ne kadar fazla ise aktivitesi o kadar büyüktür ve puzolanik özelliği o kadar yüksektir. (Massazza, 1989)'nın araştırmalarına göre bu özellik en fazla puzolanın özgül yüzeyine bağlı bulunmaktadır. Puzolanik özelliği etkileyen diğer bir faktör'de puzolanın içerdiği reaktif maddeler yani amorf  $\text{SiO}_2$  veya camsı ve zeolitik fazda bulunan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ile  $\text{SiO}_2$ 'dir. Bir puzolanda:

Puzolan adı İtalya'daki Puzzouli kasabası yakınında bulunan doğal volkanik taşlardan dolaydır. Almanya'da Ren Nehri vadisinde bu özelliklere sahip taşlara tras adı verilmiştir. İç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz, Akdeniz bölgelerinde puzolanik aktivitesi değişik traslar bulunmaktadır.

Puzolanlar oluşum şekillerine göre doğal veya yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar (Postacıoğlu, 1986), (Blanks, Kennedy, 1955), (Neville, 1987).



### 2.4.1.1 Doğal Puzzolanlar

Doğal puzzolan olarak bilinen maddeler volkanik küller, killi şist, diatome toprağı, ponza taşı v.b.'dir. Bunlar dünyanın belirli bölgelerinde bulunmaktadır. Puzolanın kimyasal yapısı, aktivitesi bulunduğu bölgeye göre değişiklik gösterir. Özgül ağırlıkları 2000 ile 2200 kg/m<sup>3</sup> arasındadır. Doğal puzzolanlar kalsinasyon işlemine tabi tutulabilir. Böylece kalsinasyon sonucu varsa yapıdaki karbonatlar bozularak oksitli bileşenlere dönüşür. Doğal puzzolanlar, killer ve tortul şistler, opaller ve ve volkanik tüfler,sünger taşları olarak üç gruba ayrılır (Erguvanlı, 1983), (Neville, 1977), Postacıoğlu, 1986).

#### Killer ve Tortul Şistler

Kil bir kayaç adıdır,belli bir tane boyutun'da (1/16 mm'den küçük) ve plastik şekil değiştiren özelliğe sahip bir malzemedir. X-ışınlarıyla yapılan analizlerin sonucunda değişik özellik gösteren kil mineralleri ortaya çıkmıştır. Bu mineraller sulu aliminyum silikat lerdir. Mağnezyum ve demir zaman zaman alüminyumun yerini alır. Kil grubu kayaçlardan kalsinasyon işlemi ile aktif puzolan aktif puzzolan elde etmek mümkündür. Bu gruba giren killeri, Montmorillonit, kaolinit, illit olarak sayılabilir.

**Montmorillonit**, Montmorillonitin esas mineralini oluşturan bentonit, ayrılmaya uğramış volkan küllerinden meydana gelmiştir. Kimyasal bileşimi  $(Al_2O_3(Ca,Mg)0.5SiO_2.nH_2O)$  şeklindedir (Schultz, Cleaves, 1955).

**Kaolinit**, kaolinitin minerali, feldispatların ayrışması sonucu meydana gelir.kimyasal bileşimli,  $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$  dir. Kristal yapısı, ortorombik ve heksagonal şekilli levhacıklar halinde bulunurlar. Asitlerden etkilenmezler. Plastik davranış gösterirler.

**İllit**, illit şeyl adını alan oluşumların esas minerali olarak görülür. Kimyasal bileşimi  $Al_{4n+b}MaFecK_2Si_{8-y}Al_yO_{20}(OH)_4$  mika'ya benzer kil mineralidir. Bünyesinde fazlaca su bulundurur.

**Opaller**, opal silikat ve silikatli taşların, serpantin ve volkanik kayaçların sıcak suların etkisi ile bozulmasından meydana gelir. Opal  $(SiO_2+nH_2O, n = \%3-13)$ ; sulu silis





bileşiminde amorf yapılı bir mineraldir. Bu tip puzzolanlarda aktiflik, kalsinasyonla sağlanabilir. Opaller; opalli şeyller, diatomeli topraklar, çörtler olmak üzere üçe ayrılırlar.

**Opalli Şeyller**, çapları 0.02 mm'den ufak olan silt ve kil parçacıklarının sıkışması ile "Silttaş" opalli şeyller oluşur. Bu kütleler daha önce varolan kütlelerin ayrışması ile oluşmuş kil minerallerinden kristalize olmuş kolloidal maddelerden ibarettir.

**Diatomeler**, mikroskobik alg'lerin diatome türlerinin silisli kalıntılarının birikmesi ile oluşurlar. Yumuşak hafif ve boşluklu (poröz)'dur. görünüş bakımından tebeşire ve kaoline benzer. Neojen devri göllerinin içinde diatomitler çoğunlukla silisli eriyiklerin bol olduğu ortamlarda oluşurlar. Bileşiminde %65.2 silis ( $\text{SiO}_2$ ) vardır.

**Çörtler**, organik ve kimyasal kökenli çok küçük kristalli silikatlardır. Organik tipli çörtler, silisli, kavkılı mikroorganizmaların birikimi ile, kimyasal çörtler ise göl ve denizlerdeki buharlaşma sonucu kolloidal silisin çökmesi ile oluşur.

**Volkanik Kayaçlar**, bu tip puzzolanlarda kalsinasyona gerek yoktur. Riyolit, Andezit, Fonolit bu gruba girer.

**Riyolit**, İnce taneli ve sert olan riyolitler, granitlerin yüzey taşlarıdır. Asıl olarak quartz ve alkali feldispatları içerirler. İçerdikleri silis oranı %60-75 civarındadır.

**Andezitler**, bileşim yönünden dazitlere benzer. İçinde quartz bulunmayan feldispatlarla birlikte koyu renkli minerallerden oluşan kayaçlardır. Silis ( $\text{SiO}_2$ ) oranı %46-60 arasındadır. Kısmen hamur kısmen camsı olur. Tümü camsı malzemedenden oluşmuş andezitler'de vardır.

**Fonolit**, nefelinli siyenitlerin yüzey taşıdır. Silisce trahitlere göre fakirdir, %46-60 oranında silis bulunduran volkanik kayaçtır.

**Bazalt**, gabroların yüzey taşlarıdır, bünyelerinde çokça gaz boşlukları bulunduğu için gözenekli dirler. Bazik bileşimlidirler. Bunlarda %46-60 oranında silis içerirler.

#### 2.4.1.2. Yapay Puzzolanlar

Yapay puzzolanlar, kalsinasyon işlemi ile elde edilen puzzolanlar. Bunlar, kil veya şist gibi doğal maddelerin ısıtılması ile elde edilirler. Endüstri atığı puzzolanlar. Bunlar,

diğer maddelerin üretim artıklarından, çok yaygın olmamakla birlikte tarım artığı maddelerin yakılması ile elde edilirler. Örneğin: Metal silis ve silis alaşımlarının üretiminden silis dumanı, termal elektrik güç santrallerindeki öğütölmüş ocak kömürünün yanmasından uçucu kül, demir çelik endüstrisindeki font üretiminden artık olarak curuf, termal güç santrallerinde fosil yakıtların yakılmasından uçucu kül, pirinç kapçığının yakılmasından pirinç kapçığı külü v.b. elde edilir. Üstün özelliklere sahip puzolanlar %40 dan %90'a kadar silis içerebilirler. Massaza'ya göre üretim artığı bu maddelerin içinde'de doğal puzolanlarda olduğu gibi ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  v.b.) oksit bileşenleri bulunmaktadır, ancak bunlar üretimdeki reaksiyonlar sonucunda oluştuğundan, yapay puzolan denilmektedir. Atıktaki silisin oranı ve aktifliği, puzolanın aktifliğini belirler. Endüstri artığı yapay puzolanlar üç gruba ayrılırlar (Massazza, 1989), (Mehta, 1983), Mehta, 1986). Tarım artığından elde edilen külleri henüz böyle sınıflandırmak mümkün değildir.

#### **Yüksek Fırın Cürufu (Blast Furnace Slag)**

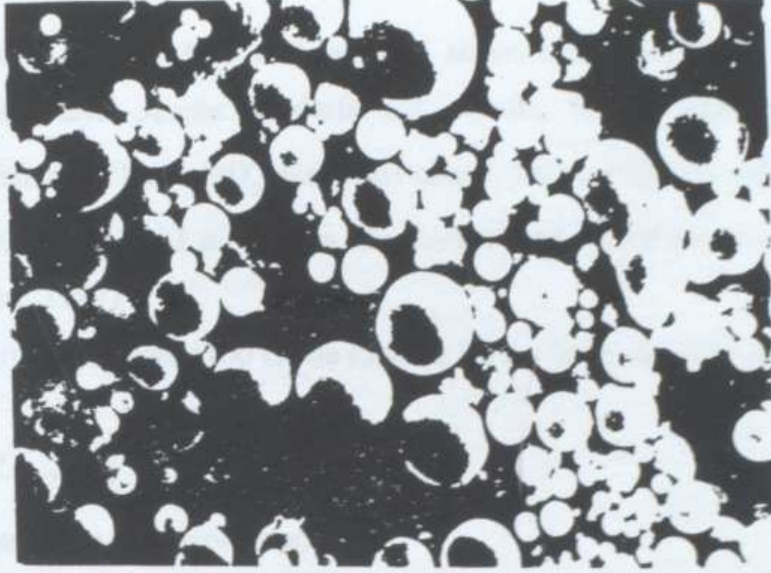
Yüksek fırında, demir filizi, ergitici ( $\text{CaCO}_3$ ) kok ile yüksek sıcaklıkta bir dizi reaksiyon sonucu font üretilir. Demir-çelik endüstrisinde font üretimi sırasında cüruf atık olarak ortaya çıkar. Fırının altından alınan cüruf ani olarak su veya soğuk hava ile soğutulur. Bu madde granüle halde curuftur. Elde edilen cüruf çimento fabrikalarında, değirmende klinker ve alçı taşı ile birlikte öğütölerek cüruf lu çimento elde edilir. Cürufun puzolanik özellikleri soğutma şekline (ani veya yavaş soğutmaya) ve demir filizinin özelliğine göre değişir.

#### **Uçucu Kül (Fly Ash)**

Termal güç santrallerinde toz haline getirilmiş fosil yakıtlarında, ulaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle eriyen çok ince küller elde edilir. Kimyasal bileşimleri elverişli yakmayı izleyen soğutma işlemi bu erimiş maddenin ince parçacıklarını, yaklaşık olarak küresel şekilde camsı parçacıklara dönüştürür (şekil 2.3).





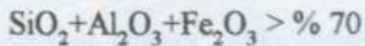


Şekil 2.3 700°C'da işlem görmüş uçucu külün mikroskobik görüntüsü  
S.E.I. 1000 X (Massazza, 1986)

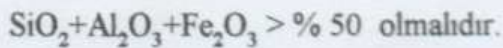
Yanma gazlarıyla birlikte bacadan yukarıya doğru kolayca çekildiklerinden bu maddelere uçucu kül denir. Bu küllerin yüzey alanları, 2000'den 5000 cm<sup>2</sup>/L'a (Blaine'in permeabilimeter metodu) kadar değişir. Kömür ya da linyitin artıklarının doğasıyla sıkı sıkıya ilişkili olduğundan, uçucu küllerin kimyasal bileşimi önemli ölçüde değişir, bu arada özellikleri yanma işleminde bağlıdır. CaO miktarının yüksek veya düşük olmasına görede puzzolanik özellik değişir (Massazza, 1989).

ASTM C618'e göre uçucu küller, kaynaklandıkları kömürün tipine ve kimyasal bileşimine bağlı olarak ikiye ayrılır.

a) F sınıfı antrasit veya bitümlü kömür küllerinin kimyasal bileşiminde



b) C sınıfı linyit veya ikincil bitümlü kömür küllerinin kimyasal bileşiminde



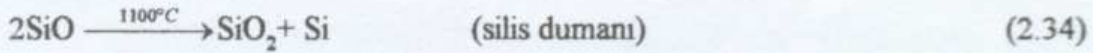
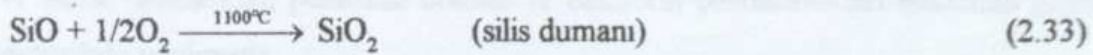
### Silis Dumanı (=Silica Fume)

Metal silislerinin veya değişik demir silis alaşımlarının elektrik ark fırınlarında üretimi sırasında ortaya çıkarlar. Elektrik ark ısısında, havada oksitlenen ve  $\text{SiO}_2$  mikroküreleri şeklinde çökelen  $\text{SiO}_2$  dumanları oluşur. Silis içeriği çok yüksektir. %90'ı aşabilir. Özgül yüzeyleri 13-23  $\text{m}^2/\text{gr}$  olan silis duman'ı yüksek bir puzzolanik aktiviteye sahiptir (Massazza, 1989).

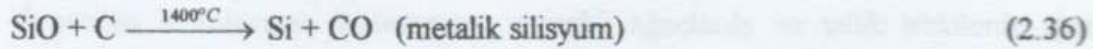
Ark fırınlarında yaklaşık 1100 C°'de kararsız bir ara ürün olan SiO (silisyum mono oksit) oluşur.



Fırında sırasıyla şu reaksiyonlar görülür.



Silisyumoksit veya silisyumdioksit belirli sıcaklıklarda karbon ile birleşerek aşağıdaki denklemlerde görüldüğü gibi silisyum karbür ve/veya metalik silisyumu oluşturur, bu arada karbon monooksit açığa çıkar.



Diğer yandan oluşan SiO ani olarak soğuk bölgeye geldiğinde  $\text{SiO}_2$ 'e dönüşür ve kondanse silica fume denen silis dumanı meydana gelir. Ark fırınından çıkışı sırasında gaz filtrelerinde toplanan ve yoğuşan silis dumanı, amorf yapıda ve çok küçük küresel parçacıklar halindedir. Spesifik yüzeyi 20-23  $\text{m}^2/\text{gr}$ . olan silis dumanının puzzolanik aktivitesi çok yüksektir (Mehta, 1983).

Silis dumanı yüksek mukavemetli ve kimyasal ortama dayanıklı harç ve beton üretiminde geniş ölçüde kullanılmaktadır (Aitcin, 1983), (Akman, 1985), (Özturan, 1984).





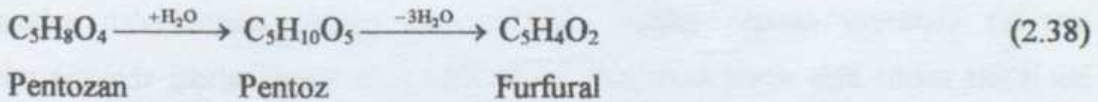
### 2.4.1.3. Tarım Artıklarından Kül (Puzolan) Elde Edilmesi

Anorganik maddelerin, özellikle silikatların yıllık bitkilerde ağaç türlerindeki daha yüksek oranda bulunduğu bilinmektedir. Anorganik bileşenlerin analizi, özellikle çözünebilir selülöz üretilmesinde önemlidir. Anorganik bileşenler bitki bünyesinde serbest tuz veya partüküller halinde veya kısmen liflerin anyonik gruplarına bağlı katyonlar halinde bulunmaktadır (Rydholm, 1965).

Kül oranları, yıllık bitkilerin saplarının  $575\pm 25^{\circ}\text{C}$ 'da özel kül fırınlarında yakılmasıyla belirlenir. Sıcaklık  $600^{\circ}\text{C}$ 'ın üzerine çıkarsa alkali karbonatlar buharlaşmakta, silis ve silikatlar camsı bir hal alarak yanlış değerler vermektedir. Kül oranının belirlenmesinde TAPPI T15M-54 standardı uygulanmaktadır. Yıllık bitkilerde silis ve silikat oranlarının, pentozan oranını ve bitkilerin çözünürlükleri hakkında genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

**Silis ve silikat oranlarının bulunması,** yıllık bitkiler silis ve silikat yönünden özellikle kutikula tabakası nedeniyle zengindir. Silis oranı TAAPI T245.OS 70 standardına göre daha önce kül tayini yapılan örneklerin külünü asidik yakma yolu ile belirlenir (Cengiz, 1987).

**Pentozan oranlarının bulunması,** yapraklı ağaçlarda ve yıllık bitkilerde iğne yapraklılara oranla daha fazla hemiselülöz bulunmaktadır. Analizlerde hemiselülözün büyük bir bölümünü oluşturan pentozanların (başlıca ksiloz ve arabinoz) asidik hidrolizi ve destilasyona dayanır. Pentozanlar veya pentoz şekerleri %12 hidroklorik asitle destile edilince furfural (2-furfuraldehit) destillenmektedir.



Destile edilen furfural TAPPI T19M-50 standardına göre floroglusin ile çöktürülerek gravimetrik olarak belirlenir (Doree, 1950), (Browning, 1967).

**Çözünürlükler,** bitkisel hücreleri oluşturan ana bileşenler polisakkaritler, lignin ve ekstraktif bileşenlerdir. Birçok ekstraktif madde nötral organik çözücülerde veya soğuk



suda kolaylıkla çözünebilir. Ekstraktif maddelerin bulunuş oranları bitki türlerine göre çok değişiklik gösterir. Selülöz üretimi esnasında verimi ve kaliteyi etkilediklerinden oranlarının bilinmesi gerekmektedir (Casey, 1966).

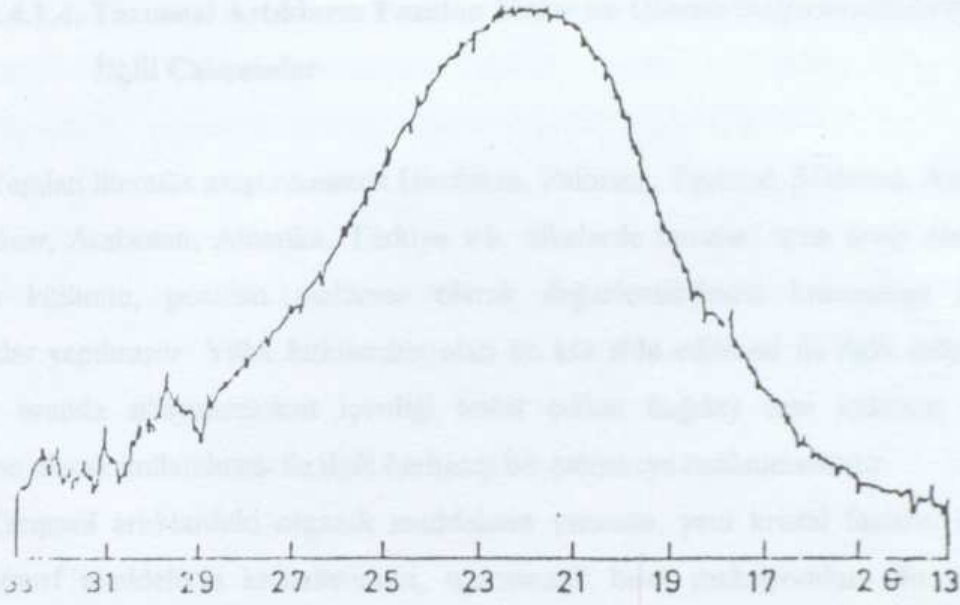
#### **Pirinç kabuğu külü (Rice husk ash )**

Pirinç gibi bazı bitkiler işlendikten sonra kalan kabuk ve artıkları, yüksek oranda silisyumdioksit içerirler. Kabukların, belli şartlarda yakılması sonucu elde edilen külün ani olarak soğutulması ile amorf yapıda  $\text{SiO}_2$  elde edilir. Amorf silisin küldeki oranı %85-97 arasında özgül yüzeyi 50-60  $\text{m}^2/\text{gr}$  gibi büyük bir değerdedir. Bu nedenle puzzolanik aktivitesi yüksektir (Mehta, 1983). Kabuktaki silis  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  şeklinde ve kabuğun iskeletini oluşturur. Amorf silis, mono silisli asit veya silikat olarak bulunur. Kabuktaki silis'in opal camsı şekilde olduğu X-Ray Difraktometresi (XRD) ve Scanning electron microscope (SEM) ile yapılan incelemelerle kanıtlanmıştır (Visvesvaraya, 1986), (Barth, Huppertz, 1974). Pirinç kabuğunun şekil (2.4)'de X-Işını difraktogramı, şekil (2.5)'de ise SEM ile elde edilen fotoğrafı görölmektedir (Mazlum, 1989).

#### **Buğday sapı külü (Wheat Stalk Ash)**

Buğday sapı yıllık bitkilerden buğday üretimi sonunda elde edilen tarımsal ürün artıdır. Sellülöz sanayiinde tüketilen silikatçe zengin epiderm hücreli tarımsal atıkların kullanılmasında silikat ve pentozanın ayrıştırılması önemli sorun yaratmaktadır. Silikatçe zengin yıllık bitkilerdeki silis, başlıca kutikula tabakası ile korunan epiderm hücrelerinde yerleşmektedir. Yaprakların ve nodların epiderm hücreler ve dolayısı ile silikat bakımından daha zengin olduğu bilinmektedir. Buğday sapının yapısında epiderm hücreler arasında iskeleti teşkil eden silis, saplar yandıktan sonra elde edilen külün ani olarak soğuması sonucu amorf silis ( $\text{SiO}_2$ ) şeklinde, yavaş soğuması sonucu kısmen kristal  $\alpha$  ( $\text{SiO}_2$ ),  $\beta$  ( $\text{SiO}_2$ ), tridimite silis şeklinde oluşur (Cengiz, 1987). Çalışmanın konusu olması nedeniyle buğday, buğday sapı ve külü hakkında daha geniş bilgi bölüm 2-5'de verilmiştir.





Şekil 2.4 Piriñ kabuklarının X-Işını Difraktogramı (Visvesvaraya, 1986)



Şekil 2.5 Piriñ kabuklarının Elektron Mikroskopundaki görünüşü

(Visvesvaraya, 1986)

#### 2.4.1.4. Tarımsal Artıkların Puzolan Malzeme Olarak Değerlendirilmesi İle İlgili Çalışmalar

Yapılan literatür araştırmasında Hindistan, Pakistan, Tayland, Malezya, Avustralya, Irak, Mısır, Arabistan, Amerika, Türkiye v.b. ülkelerde tarımsal ürün artığı olan pirinç kabuğu külünün, puzolan malzeme olarak değerlendirilmesi konusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yıllık bitkilerden olan ve kül elde edilmesi ile ilgili çalışmalarda önemli oranda silisyumdioksit içerdiği tesbit edilen buğday sapı külünün puzolan malzeme olarak kullanılması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tarımsal artıklardaki organik maddelerin yanması, yeni kristal fazların oluşumu veya amorf maddelerin kristallenmesi, egzotermik birer reaksiyondur. Bu reaksiyon sonunda ağırlıkta azalma olur ve kül elde edilir. Yakma işlemi sonucu organik maddelerin yapısının bozunmasına termal dekompozisyon denir (Cook, 1980).

Tarımsal artıkların, kaolin ve benzeri maddelerin yapısı, Termo Gravimetri (TG), Diferansiyel Termo Gravimetri (DTG), Diferansiyel Termal Analiz (DTA) gibi termik analiz yöntemleri ile aydınlatılabilir (Turhan, 1968).

James, Rao (1986) tarımsal atıklardan pirinç kabuklarından kül elde edilmesinde ve ürünün değerlendirmesinde bu yöntemleri kullanmışlardır. Bu çalışmada, yakma işlemi sırasında pirinç kabuklarındaki selüloz ve liğninin bozunma sıcaklıkları, termal analizler sonunda selülözde 327-377°C, liğninde ise 227-500°C olarak belirlenmiş ve ayrıca en aktif pirinç kabuğu külünün 500°C'da elde edilen kül olduğu belirtilmiştir.

İbrahim ve Helmy (1981)'e göre termo gravimetrik analizde ilk ağırlık kaybı 80-100°C'da % 6'dır. Bu ise numunedeki rutubet veya bağlı suyu gösterir. Bunu takiben 260°C'da ağırlık kaybı % 45-65'e ulaşır. Bu aşamada selülöz ve diğer organik bileşikler bozunmaya başlamıştır. Bozunma sonunda organik bileşikler parçalanarak CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O ayrılır. DTG'de oluşan pikler termal bozunmanın 327-462°C'da olduğunu gösterir ki bu da selülöz ve liğninin bozunma sıcaklıklarıdır. Yanma sonucu geri kalan küldeki silis, amorf ve hidrate yapıdadır, bu çalışmada en etkin yakma sıcaklığının 400°C ile 600°C arasında olduğu önerilmiştir. Külün amorf yapısı hızlı bir şekilde soğumasına bağlıdır.



Kabukların yanması sırasında silisin kuvarz şekli 600°C'da kısmen oluşmaya başlar (Shah et al, 1979). Yanma sıcaklığı artırıldığında kuvarzın kristobalite dönüşümü 800-900°C'da başlar ve ileriki sıcaklıklarda tamamlanır. Sooriyakumarın, Ismail (1979). DTA, TG eğrileri ile amorf silisin faz dönüşümlerinin 750°C'da başlayıp 860°C'da tamamlandığını göstermişlerdir.

Mehta ve Pitt (1976) kabukları 500°C sıcaklıkta 1 dakika tutarak amorf silis içeren kül elde etmişler ve yakma sıcaklığı 680°C'a yükseldiğinde bile amorf yapının korunduğunu görmüşlerdir.

Bıdın et al (1984), Mehta (1979) etkin yakma sıcaklığı olarak 400°C ile 600°C arasındaki sıcaklıkları önermişlerdir.

Dass (1984), pirinç kabuklarını 500-1000°C arasında değişik zamanlarda 1-5 saatlik sürelerle yakarak elde ettiği küllerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiş, 700°C'a kadar olan sıcaklıklarda amorf yapının korunduğunu ortaya koymuştur.

Mehta ve Pirtz (1978) pirinç kabuğu külünü puzzolan olarak harç ve betonda kullanmışlar, bu ürünleri çeşitli ortamlarda tutarak ağırlık kaybını belirlemişlerdir. Bu çalışmada Küllü betonun asit çözeltisindeki ağırlık kaybının şahite göre daha az olduğunu saptamışlardır.

Pirinç kabuğu küllü harçların hidrasyon sıcaklığının 7. günde şahit harca göre 11-14°C daha düşük olduğunu, 28 günlük ürünlerde de düşüşün gözlemlendiğini belirtmişlerdir (Mehta,Pitt, 1976).

Kamwanya ve Smith (1986) tarafından yapılan çalışmada pirinç kabuğu külü çimentoya katılarak 7 ve 28 günlük harç basınç dayanımına göre pirinç kabuğu külünün aktif bir puzzolan olabileceği belirtilmiştir.

Pirinç kabuğu külü ile çimento hamuru ve beton üretilmiş, çimento hamurunda terleme deneyi yapılmıştır. Çimento hamurunun su tutma kabiliyetinin kül miktarının artması ile arttığını belirtmiştir (Natalini et al,1986).

Mazlum (1989) pirinç kabuğu külünün silis dumanına yakın, uçucu kül, cüruf ve trasdan daha yüksek oranda amorf silis içerdiğini, %20, 30 küllü harçların Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'lı ortamdan etkilenmediğini ve külün harcın servis ömrünü uzattığını ortaya koymuştur.

#### 2.4.2. Puzolanik Aktivite Deneyleri

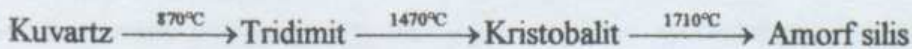
Puzzolanların kireç bağlama özelliğine, puzolanik aktivite denir. Puzzolanlara puzolanik özellik kazandıran silisin amorf yapısı ve miktarıdır. Amorf silise çözülen silis de denir. Çözünen silis miktarı doğrudan tayin edilebildiği gibi, çözünmeyen silis ( $\text{SiO}_2$ ) toplam silisten çıkartılarak da bulunabilir. Amorf silis kalitatif olarak X-Işını difraktometresinde, kantitatif olarak da kimyasal gravimetrik yöntemlerle belirlenebilir (Bıdın et al, 1984). Puzolanik aktivite doğal ve yapay puzolanlarda, mekanik ve kimyasal deneylerle araştırılır. Mekanik deneyler, TS 25 Traslı çimento standardında belirtildiği şekilde hazırlanan numuneler üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyleri ise TS 26'a göre hazırlanan numunenin hidrasyonu sonunda çözeltide oluşan  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarını saptamaya dayanır (Neville, 1987).

Puzolanik aktiviteyi belirleyen ya da buna önemli ölçüde katkıda bulunan faktörler, termodinamik kararsızlık, spesifik yüzey ve en önemlisi kimyasal bileşimdir.

**Termodinamik kararsızlık**, kimyasal sistemlerin kararsızlığı, bu sistemlerde olan reaksiyonların kökenindedir

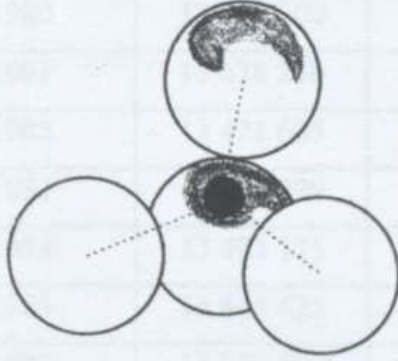
**Spesifik yüzey**, puzolanik aktivite, puzolan malzemelerin özgül yüzeylerinin yüksek olması ile ilgilidir. Ayrıca, puzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kalorimetrik yöntemlerle de daha hızlı olarak saptanabilir.

**Kimyasal bileşim**, tüm yapay ve doğal puzolanlar, alüminyum oksit, demir oksit ve en çok da silisyum oksit içerirler. Silisin bulunması nedeniyle asit bileşimine sahiptirler. Silis ve allotropları puzolanların esasını teşkil ederler. Silis veya silisyum tabiiatta serbest halde bulunmaz, bileşikleri olan oksit ve silikatları halinde çok bulunur. Hidrojen florür ( $\text{HF}$ ) hariç su ve oksitlerde çözünmez. Silis veya silisyum oksit, doğada şekilli, arı ve arı olmayan hallerde bulunduğu gibi silikat bileşikleri halinde de bulunur. Feldispat, talk, amyant, mika v.b.'de silikatlar halinde görülür. Kuvartz'daki  $\text{SiO}_2$  ise serbest kristal yapıdadır. Sileks, cam, obsidyen'de ise amorf yani kristal olmayan  $\text{SiO}_2$  şeklindedir (Massazza, 1989), (Bıdın et al, 1984). Kuvartz, tridimit, kristobalit, silisin üç kristal şeklidir ve belli sıcaklıklarda birbirine dönüşür.





Bu kristaller  $\alpha$  ve  $\beta$  şeklinde kendi aralarında değişime uğrarlar. Silisyum peryodik cetvelde karbonun (C) bir altında olmasına rağmen bu iki elementin oksijen ile yaptıkları bileşiklerden karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ,gaz olduğu halde, silisyumdioksit ( $\text{SiO}_2$ ) 1400°C'da eriyen katı bir maddedir.Buna neden,  $\text{CO}_2$ 'in her bir molekülü, iki oksijen atomunun birer çifte bağ ile bir karbon atomuna bağlanan moleküllerden meydana gelişidir.  $\text{O}=\text{C}=\text{O}$  ( $\text{CO}_2$ ) Karbonla oksijen arasındaki çift bağlardan meydana gelen moleküllerin aralarında birbirlerini çekme kuvveti çok az olduğundan bileşik gaz halindedir. Silisyum ise çifte bağ yapmaz. Şekil (2.6)'da görüldüğü gibi, kuvartz kristalinde, silisyum atomuna dört ayrı oksijen atomu birer tek bağ ile bağlanmış ve her bir oksijen atomunda iki ayrı silisyum atomuna bağlanmıştır (Terem, 1973), (Saraylı, 1978), (Aitcin, 1983).



Şekil 2.6 Kuvartzın kristal yapısı (Özdemir,1981)

## 2.5. Buğday, Buğday Sapı ve Külü

Buğday ürünü yeryüzünde ve ülkemizde de en fazla üretilen tahıldır. 1985 verilerine göre ülkemizde buğday ekim alanı 9 milyon ha.'dır. Dünyada üretilen tahıl sapları miktarı 1980 yıllarında 880.000.000 ton tahmin edilmekte ve bunun 550 milyon tonu buğday, 180 milyon tonu pirinç, 60 milyon tonu çavdar, 50 milyon tonu yulaf, 40 milyon tonu arpa sapı oluşturmaktadır (Cengiz, 1987). Buğday için bir hektar alan başına toplanabilir sap miktarı, 2-2.8 ton/ha. olarak belirtilmektedir. Yurdumuzda buğday varyetelerinin tane verimi toprak seviyesinden kesilen toplam saplı ağırlığa oranla %25.3 ile %42.2 arasında değişmektedir. Buna göre Türkiye için ortalama tane verimi %32.33



civarındadır. Bu yüzden tane/sap oranı 1/2 olarak alınabilir (Genç, 1977). Ülkemizin 1980-1991 yılları arasındaki buğday üretimine ait veriler Tablo (2.1)'de verilmiştir (D.İ.E., 1991). Buna göre, Türkiye'de 1991 yılı toplanabilir buğday sapının tahmini miktarı 19 milyon ton ile 27 milyon ton arasında olması gerekmektedir.

Tablo 2.1 Ülkemizde 1980-1991 Yıllarına Ait Buğday Ekili Alanı ve Üretimi

Yıl	Toplam Ekiliş (Hektar)	Buğday	
		Ekiliş (Hektar)	Üretim (ton)
1980	13 291 500	9 020 000	16 500 000
1981	13 638 250	9 250 000	17 000 000
1982	13 421 685	9 000 000	17 500 000
1983	13 322 299	9 230 000	16 400 000
1984	13 403 175	9 000 000	17 200 000
1985	13 844 625	9 350 000	17 000 000
1986	13 780 100	9 350 000	19 000 000
1987	13 845 605	9 415 000	18 900 000
1988	13 816 925	9 435 000	20 500 000
1989	13 740 895	9 351 000	16 200 000
1990	13 716 115	9 450 000	20 000 000
1991	13 971 840	9 630 000	20 400 000

### Buğdayın (*Triticum Aestivum* L.) botanik özellikleri

Buğday bir çenekliler sınıfından, gramineae familyasına ait tek yıllık bir bitkidir. Gövde tek veya küme halinde olup 35-100 cm. boyunda, düzgün, tamamen çıplak veya nodlarda biraz tüylüdür. Dilcik takriben 1 mm dir. Yaprak ayası şerit şeklinde olup, ucu sivrimsi 6-15 mm genişliktedir. Yeşil veya hemen hemen mavimsi yeşil renkte olan yapraklar çıplak veya çıplağımsı olup, kenarları düzgündür. Başak gevşek veya sık 5-10





cm dir. Başağın enine kesidi hemen hemen kare şeklindedir. Başak eksenini sert, çıplak veya kılçıklıdır. Alt internodlar 4-8 mm dir. Başakçıklar 3-6 çiçeklidir. Dış kavuz 6-11 mm ve deri gibi sert, çıplak, kaba veya ince tüylüdür. Sarı siyahımsı erguvani renklidir. Uç kısım 2-3 mm sivri bir diş veya 4-10 mm lik sert bir kıl halindedir. Taneli iç kavuz 12-15 mm kılçaksız veya 6-12 mm uzunluğunda sert kılçıklıdır. Konyapsis tipinde olan meyvesi elipsoit biçiminde soluk renkli veya kırmızımsıdır. Çiçeklenme zamanı Nisan - Mayıs aylarıdır. Volkanik kayalar, tepe yamaçları, tebeşirli stepler, kurak düzlüklere kadar çeşitli toprak ve iklimde yetişmektedir (Baytop, 1977), (Davis, 1965-1982)

Kimyasal bileşikleri yönünden yapraklar, kavuzlar ve nodlar yüksek oranda kül içerir, lif verimi bakımından ise boğumlar arası daha elverişlidir. Morfolojik kısımların oranları Tablo (2.2) ve (2.3)'de görüldüğü gibi buğday türü ve çeşidi, ekolojik koşullar, toprak seviyesinden dikilme yüksekliği gibi etkenlere bağlı olarak da değişmektedir (Cengiz, 1987).

Tablo 2.2 Tahıl Saplarının Çeşitli Morfolojik Kısımlarının Ağırlık Yüzdeleri

Tür	Boğum Arası	Boğum	Yapraklar	Başak Eksenini	Kavuzlar
Buğday	54.1	4.2	16.9	10.7	14.4
Buğday	68.5	4.2	20.3	5.5	1.5
Arpa	58.8	1.8	36.4	1.1	1.1
Pirinç	54.4	3.2	33.5	7.3	1.6
Pirinç	51.8	6.6	32.6	5.5	2.7
Çavdar	66.0	7.0	27.0	-	-
Çavdar	68.1	4.2	22.7	2.8	2.2

Tablo 2.3 Buğday saplarının morfolojik kısımlarının lif ve diğer hücrelerinin oranları

Morfolojik Kısımlar	Lif	Diğer Hücreler
Boğum Arası	41.40 ± 1.37	58.60 ± 1.37
Boğum	39.65 ± 0.25	60.35 ± 0.25
Yapraklar	40.05 ± 0.65	59.95 ± 0.65
Başak Eksenini	40.03 ± 1.89	59.98 ± 1.89



### **Buğday Sapının Yapısı, Bileşimi**

Buğday sapı örnekleri üzerinde yapılan fiziksel ve morfolojik ölçmeler, buğday sapları boğum arası (internod), boğum (nod) , yapraklar,başak ve başak eksenini olmak üzere 5 ana morfolojik kısımdan oluştuğunu göstermektedir. Selülöz eldesi bakımından lif özellikleri ve kimyasal bileşimleri farklı olan bu bölümlerin oranlarının bilinmesi yararlıdır. Sapların yapısı, mevsim, jeolojik yapı, su, özel kültür uygulamasına göre değişiklik gösterir.Sap organik ve inorganik bileşiklerden oluşur. Sapın bileşiminde değişik oranlarda C, H, O, N, Si, Fe, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Cu, Mn, Zn elementleri bulunmaktadır.Buğday sapının kimyasal bileşiminin ağırlık yüzdesi değişiktir. Saptaki su, protein, yağ, ekstraktif madde, lif, pentozan, sellülöz, lignin oranları kül oranı değişmektedir (Genç, 1977).

### **Buğday saptarında yapılan kimyasal analiz yöntemleri**

Bir kimyasal işlemde kullanılacak ham maddelerin kimyasal özelliklerinin bilinmesi, işlemin uygulanması sırasında ve ürünün eldesinde kolaylıklar sağlar. Bu deneylerde ham maddenin vereceği kül oranı, selülöz oranı, lignin oranı ve diğer ekstraktif maddeler belirlenir. Bunun için buğday sapı elle küçük parçalara bölündükten sonra TAPPI T11M-45 standardına göre wiley değirmeninde öğütülerek sarsıntılı elek üzerinden yapılan elemelerden sonra 40-60 mesh (420-250 mikron) elekler arası kısım alınarak cam kavanozlarda saklanır. Rutubet miktarı yine aynı standarda uygun olarak  $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'da kurutularak belirlenir (Cengiz,1987). Buğday saptarında kül oranı, silis ve silikat oranı,pentozan oranı ve hücre sel ana bileşenlerin çözünürlüğü bölüm 2.4.1.3 de verildiği gibi TAPPI standardına uygun olarak belirlenir.

### **Buğday sapının kullanıldığı yerler :**

Buğday sapı,

1- kırsal bölgelerde ısı gereksinimini karşılamak üzere soba ve ocaklarda yakılarak, ısı enerjisinden yararlanır,





2- Öğütülerek saman halinde, hayvan yemi olarak,

3-Tahıl, soğan, yumurta ve benzeri maddelerin saklanması yatak olarak,

4-Kağıt sanayiinde selülöz üretiminde,

5-Kil, saman ve suyun karıştırılıp yoğrulması ile kerpiç üretiminde kullanılır.

Ayrıca buğday sapı belli şartlarda yakılarak elde edilen buğday sapı külünü puzolan malzeme olarak kullanılması da araştırılmalıdır. Bu sayede buğday sapı külünün çimento veya kirece katılarak daha dayanıklı ve ekonomik harç üretmek mümkün olabilir.



### 3.0. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, çalışmada kullanılan malzemeler, bu malzemelerle üretilen harç karışımları, durabilite deneyleri (eskitme süreçleri), kontrol deneyleri, deneylerin yöntemleri ile kullanılan araç gereç ve aletler anlatılmıştır.

Çalışmanın konusu olan buğday sapının fiziksel, morfolojik ve kimyasal özellikleri deneylerle belirlendikten sonra puzolanik özellikte kül elde etmek için uygun yakma koşulları ön deneylerle belirlenmiştir. Bu amaçla öncelikle uygun yakma sıcaklığı ve yakma süresi belirlenmiştir. Bu şartlarda elde edilen numune küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen buğday sapı külleri çimento ve/veya kirece katılarak puzolanik karakteri incelenmiştir. Puzolanik özelliğe sahip olduğu belirlendikten sonra kül üretimine geçilmiştir. Buğday sapı külleri ile kül katkılı ve katkısız harçlar üretilmiş, küllerin harçların özelliklerine etkisi dayanıklılık yönünden incelenmiştir.

Araştırmada kullanılan buğday sapsarı ön deneylerle belirlenen iki değişik sıcaklıkta 570°C ve 670°C'da 5 saat süre ile yakılarak iki tip (570°C = 5 serisi, 670°C = 6 serisi) kül elde edilmiştir. Üretilen küllerde de fiziksel, kimyasal ve puzolanik aktivite deneyleri yapılmıştır. Bu küllerle 5 ve 6 olmak üzere iki seri kül katkılı ve şahit olmak üzere katkısız harçlar üretilmiştir. Kül çimentoya, çimento ağırlığının %8'i = B, %16'sı = C, %24'ü = D oranında ikame edilerek katılmıştır. Özgül yüzeyleri nedeni ile küller harcın karma suyu ihtiyacını artırmıştır. Üretimde su/çimento oranı değiştirilmeden eşit işlenebilmeyi sağlamak için akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Ön deneylerle katkısız harcın yayılma değerini sağlayan katkı miktarı kül oranına bağlı olarak belirlenmiştir. Örneğin B grubu harçlar için katkı oranı, toplam bağlayıcı ağırlığının %0.5'i, C grubunda %0.9'u, D grubunda %2 dir. Bu katkı miktarları, her iki serideki gruplarda yaklaşık aynı yayılmayı sağlamıştır. Taze harçlarda her üretimde yayılmadan başka birim ağırlıklar da ölçülmüştür.

Üretilen kül katkılı ve katkısız (şahit) harçlar, korozif ortam olarak seçilen sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerinde tutulmuşlardır. Araştırmada kullanılan sodyum sülfat  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ve magnezyum sülfat  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  bileşimindedir ve tekniktir. Üretilen harçlar üretiminden 24 saat sonra kalıptan çıkartılarak,  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'da su içinde



27 gün saklanmıştır. 28. günde sudan çıkartılan numuneler gerekli ölçüm ve deneyler yapıldıktan sonra deney programa göre su ve sülfat çözeltilerine konulmuştur. Eskitme süreci olarak adlandırdığımız, numunelerin suda ve çözeltilerde saklandığı dönemde başlangıçtan itibaren 14 gün ara ile su ve sülfat çözeltileri yenilenmiş, bu günlerde boy ve ağırlıklar ölçülmüştür. Ayrıca 28., 56., 90. ve 180. günlerde eğilme ve basınç deneyleri, birim ağırlık, hacimce su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca buğday sapının, buğday sapı külünün ve harçların bir kısmının iç yapısı X-Ray Difraktometresi ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

### 3.1.Kullanılan malzemeler

Bu araştırmada, çimento harçları TS.24'e göre üretilmiştir. Harç üretiminde kum, çimento, puzolan malzeme olarak farklı sıcaklıklarda elde edilmiş iki tip buğday sapı külü ve akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi, buğday sapı külü katılarak üretilen harçlarda aynı su/çimento oranı ile eşit işlenebilmeyi (yayılmayı) sağlamak amacı ile kül oranına bağlı olarak %0,5-0,9-2 oranlarında katkı maddesi katılmıştır. Harçların dayanıklılığının araştırıldığı aşındırıcı ortamları oluşturmak için sanayii tipi sodyum sülfat ve magnezyum sülfat tuzları kullanılmıştır.

#### Kum (standart kum)

Harç üretiminde Pınarhisar Çimento Fabrikası' dan temin edilen, özellikleri TS 819'da belirtilen standart kum kullanılmıştır. Bu kuma ait granülometri değerleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Standart kumun granülometrik değerleri

Elek Göz Boyutu (mm)	2	1.6	1.0	0.5	0.16	0.08
Elekten Geçen (%)	100	95±5	67±5	33±5	12±5	2±2



## Çimento

Araştırmada fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.2 de, kimyasal özellikleri Tablo 3.3'de verilen AkçimentoSA San.A.Ş. çimento fabrikası üretimi PÇ 32.5 çimentosu kullanılmıştır.

Tablo 3.3'de verilen kimyasal analiz sonuçları Akçimento SA San.A.Ş'de yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Bouge formülleri yardımı ile hesaplanan mineralojik bileşenleri ve kireç standardı, hidrolik modülü, silis modülü, alümin modülü'de aynı tabloda verilmiştir.

Tablo 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

<b>Fiziksel Özellikler :</b>			
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	3.05		
Priz Başlangıcı (saat)	1.50		
Priz Sonu (saat)	3.35		
Hacim Sabitliği (mm)	3.0		
Özgül Yüzey (Blaine)(cm <sup>2</sup> /gr)	3204		
200µ (900 göz) elek kalıntısı (%)	0.2		
90µ (470 göz) elek kalıntısı (%)	5.2		
<b>Mekanik Özellikleri :</b>			
Günler	2	7	28
Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	4.8	6.1	7.6
Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	19	30.4	42.5





Tablo 3.3 Çimentonun Kimyasal Analizi, Modüller ve Minerolojik Bileşenleri:

Kimyasal Analiz :	(%)	Modüller :	
SiO <sub>2</sub> (Çözünen)	20.60	Hidrolik Mod.	2.09
Çözünmeyen Kalıntı	0.38	Silikat Mod.	2.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.14	Alüminyum Mod.	1.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.72	Kireç Standardı	91.87
CaO	63.65	<b>Mineralojik Bileşenler :</b>	
MgO	1.29		
SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.55	C <sub>3</sub> S *	40.18
Kızdırma Kaybı	1.42	C <sub>2</sub> S	28.83
Tayin Edilemeyen	0.25	C <sub>3</sub> A	9.98
Serbest (CaO)	2.08	C <sub>4</sub> AF	11.32

\*S : SiO<sub>2</sub> , C : CaO , A : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , F : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , M : MgO , S<sup>-</sup> : SO<sub>4</sub> , H : H<sub>2</sub>O

#### Katkı maddesi (akışkanlaştırıcı)

Buğday sapı külünün çimentoya göre daha büyük özgül yüzeye sahip olması nedeni ile su ihtiyacı artmıştır. Sabit su/çimento oranı ile eşit işlenebilmeyi (yayılmayı) sağlamak için piyasadan temin edilen (BS 04.613/1a) katkı maddesi kullanılmıştır.

#### Sülfatlar

Kül katkılı ve katkısız olarak üretilen harçların sülfat etkisine karşı dayanıklılığını araştırmak için sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltileri seçilmiştir. Agressif ortam olarak seçilen çözeltilerde kullanılan sanayi tipi tuzlar, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.10H<sub>2</sub>O ve MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O bileşimindedir. ve tekniktir.

Her iki tuz çözeltisinde de SO<sub>4</sub><sup>-</sup> konsantrasyonu, 10000 ve 40000 mg/L olarak hazırlanmıştır. Piyasadan temin edilen sanayi tipi tuzlarla önce standart çözeltiler



hazırlanmış ve bu çözeltilerdeki  $SO_4$  miktarı İ.Ü.Orman Fakültesi Havza Amenajmanı Ana Bilim Dalı laboratuvarında Dr. Lange Spectofotometresi cihazı ile fotometrik analizle belirlenmiştir. Ayrıca aynı deneyler Y.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji Müh. Malzeme Laboratuvarında kimyasal yaş analiz metodu ile steokiometrik yöntemle hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan konsantrasyonlar için gerekli olan tuz miktarları bu laboratuvar verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

### **Puzolan malzeme**

Araştırmada puzolan malzeme olarak özellikleri ve üretimi aşağıda verilen buğday sapı külü incelenmiş ve kullanılmıştır. Buğday sapından elde edilen küllerde puzolanik özelliği belirlemek için fiziksel, kimyasal, mekanik olarak puzolanik aktivite deneyleri yapılmıştır. Ayrıca küllerin SEM ve X-Işınları Difraktogramları çekilmiştir. Araştırmada kullanılan buğday ve buğday sapı külünde yapılan deneyler ve bunların genel değerlendirilmesi aşağıda sırası ile ve etraflıca verilmiştir.

### **Buğday saplarının özellikleri**

Araştırmada kullanılan 1991 yılı ürünü buğday sapları, Tekirdağ'ın Mahmutlu yöresinden temin edilmiştir. Buğday sapının fiziksel ve kimyasal özellikleri İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Ürünleri Kimyası Anabilim Dalı laboratuvarında, buğday sapı külünün deneyleri ise aynı laboratuvarında ve AkçimentoSA A.Ş. laboratuvarında yapılmış, deney sonuçları Tablo 3.4 ve 3.5'de, ayrıca buğday sapında X-Işını Difraktogramı çekilmiş, Şekil 3.1'de verilmiştir.

Buğday saplarının ve külünün özelliklerinin belirlenmesi için önce buğday sapında nem oranı, özgül ağırlığı, birim ağırlığı gibi fiziksel özellikleri, TAPPI Test Methode Volume 1-2 1989'a göre belirlenmiştir.

Kimyasal deneyler yapılarak buğday sapındaki ekstraktif madde, pentozan, karbonhidrat, karbonhidrattaki lignin ve holoselülöz oranı ve kül oranı belirlenmiştir. Kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde TAPPI Test Methode Volume 1-2,





1989 standardından yararlanılarak, önce buğday saplarının su ve %1 lik NaOH çözeltisinde çözünürlüğü incelenmiştir. Çözünürlük suda %13.40, NaOH çözeltisinde ise %41.51 oranındadır. Suda çözünen kısım anorganik tuzların v.s. varlığını, NaOH çözeltisinde çözünen kısım ise saplarda amorf silisin bulunduğunu göstermektedir. Saptaki pentozan ve ekstraktif maddeler alkol ve alkol benzende çözülerek uzaklaştırılmış, geri kalan kısımda sellülöz ve ligninden oluşan karbohidratlı yapı belirlenmiştir. Buğday sapında sellülöz,  $\alpha, \beta, \gamma$  sellülöz şeklinde bulunur. Bunlardan  $\alpha$  sellülöz, TAPPI T 212 OM-88'e göre %17.5 NaOH veya %24.3 KOH çözeltisinde çözünmeyen sellülöz fraksiyonudur (Huş, 1966).

Araştırmada kullanılan ve değeri Tablo 3.4'de verilen saptaki bileşiklerden holosellülözün (toplam sellülöz) içinde %33.75 oranında  $\alpha$  sellülöz bulunmaktadır (Wise, John, 1952).

Kimyasal özellikleri belirlenen saplar,  $575 \pm 25^\circ\text{C}$ 'da elektrik fırınında yakılarak kül elde edilmiş ve kül oranının % 8.6 olduğu görülmüştür. Bu küldeki silis ( $\text{SiO}_2$ ) ise %73-74'dür. Visvesvaraya (1986)'a göre buğday sapının kül oranı %8-11, silika oranı %88-91'dir. Silika oranındaki bu farklılığın, ürünün yetiştirme ortamına ve iklim şartlarına bağlı olduğu söylenebilir. Kül oranı ayrıca kül elde etmedeki koşullara yani yakma sıcaklığına, yakma süresine ve yakma hızına da bağlıdır. Örneğin,  $800^\circ\text{C}$ 'da tam yanma sağlandığı halde bu sıcaklıkta amorf yapının (silis) bir kısmının kristal yapıya dönüştüğü (Bart, Huppertz, 1974, Dass, 1984, Mehta, 1979) tarafından kanıtlanmıştır. O nedenle, bu çalışmada saplar  $570^\circ\text{C}$  ve  $670^\circ\text{C}$  olarak seçilen iki farklı sıcaklıkta yakılmıştır.

### 3.1.1. Buğday saplarından kül elde edilmesi

Tarım artıklarından puzolanik özellikte kül elde edilmesi için yakma sıcaklığı ve yakma süresi ön deneylerle belirlenmektedir. Bazı araştırmalarda optimum yakma süresi 1,2,3,5,8,24,30 saat, yakma sıcaklığı 300,400,500,600,700,800,900,1000 $^\circ\text{C}$  olarak denenmiştir (İbrahim, Helmy, 1981), (James, Rao, 1986), (Dass, 1984),



Tablo 3.4 Buğday sapının fiziksel ve kimyasal özellikleri

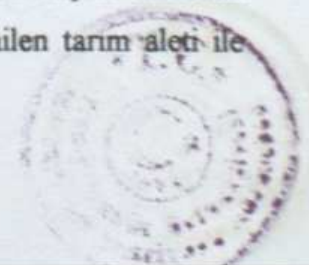
Fiziksel özellikler		Kimyasal özellikler	
Nem (%)	9.54	Ekstraktif madde (%)	4.23
Kül(%)	8.6	Kül (%)	8.6
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.31	Liğnin (%)	15.03
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	0.07	Karbonhidrattaki holosellüloz (%)	45.13

(Alkhalaf, Yousife, 1984), (James, Rao, 1986), (Cook, Suwanvitaya, 1983), (Nimityongskul, Loo, Yoko, 1984). Yakma süresinin değişkenliği numune tabakasının kalınlığına bağlıdır. Yanmaya tabi tutulan numunenin tabaka kalınlığı arttıkça yanma için gerekli oksijen difüzyonu zorlaşmaktadır, o nedenle yakma süresi deneysel olarak saptanmaktadır.

Bu çalışmada, yakma sıcaklığının ve süresinin belirlenmesi için yapılan ön deneylerde saplar farklı sıcaklıklarda ve sürelerde yakılarak elde edilen külün özelliği incelenmiştir. Burada deneyler sırasında sapların tam yanmış olması, elde edilen küllerin gri beyaz renginden de anlaşılmıştır.

Örneğin yakma sıcaklığı 700°C'a çıkarıldığında küllerin birbiri ile kaynaşarak peksimet gibi bir görünüm aldığı gözlenmiştir. Yakma sırasında ilk yarım saat içerisinde numune nemine göre organik bileşiklerin yanma ürünü olan gazlar açığa çıkmış, bu sırada saplar, kirli sarıdan siyaha doğru giderek kömürleşmiştir. Bu ürüne yarı yanmış sap veya yarı yanmış kül denilebilir. Bunu takiben numune tabakasının kalınlığına bağlı olarak yarı yanmış ürünler tamamen yanarak gri-beyaz renkte kül elde edilmiştir. Ön deneylerden alınan sonuçlara göre, ön yakmadan sonra gri- beyaz kül elde edebilmek için yakma sıcaklığı 570°C olduğunda, uygun yakma süresinin 5 saat olduğu görülmüştür. Aynı deneyler 670°C yakma sıcaklığı uygulandığında da yakma süresinin yaklaşık 5 saat olduğu görülmüştür.

Harçların üretiminde kullanılacak külün elde edilmesi işlemi, ön yakma ve kontrollü yakma olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Kül üretimi için saplar tarladan toplandıktan sonra, saman elde edilmesinde kullanılan ve patoz denilen tarım aleti ile





yaklaşık 1-5 mm. boyutlarında öğütülerek inceltilmiş ve torbalanmıştır. Sapları öğütmedeki amaç hacmi küçültmekle sıkışmayı sağlamak ve taşımayı kolaylaştırmaktır. Öğütülmüş saplar önce ön yakma işlemine tabi tutulmuştur. Ön yakma ile yanma sırasında çıkacak olan is, duman v.b. gazlardan kurtulmak ve hacmin küçültülmesi amaçlanmıştır. Ön yakma işlemi fotoğrafı Şekil E.1'de görüldüğü gibi tel kafeslerde gerçekleştirilmiştir. Ön yakmada saplar tel kafeslere üç aşamada yerleştirilmiştir. Saplar tel kafesin içine üçte biri oranında serilerek özel şiş ile sıkılarak doldurulmuştur. Doldurma sırasında, oksijen sağlamak için önden ve üst ortasından baca oluşturulmuştur. Tel kafese doldurulan öğütülmüş numune, fotoğrafı Şekil E.2' de görülen önü açık üstü bacalı prizmatik kova içine asılarak üstten kağıt parçaları ile tutuşturularak yaklaşık 10 saat süre ile yakılmıştır. Bu şartlarda yakılarak elde edilen küller, daha sonra elektrikli kül fırınlarında, altı tel ızgaralı çelik tepsilerde sıcaklık kontrollü olarak ön deneylerde belirlendiği gibi bir grubu 570°C diğer grubu ise 670°C'da 5 saat süreyle yakılmıştır. Fırından alınan kül laboratuvar ortamında ani olarak soğutulmuştur. Çünkü küllerdeki silisin amorf özelliği yakma sıcaklığından başka, yakma işleminden sonra ani olarak soğutma işlemine de bağlıdır. Ani soğutma ile küllerde amorf silis oluşumu korunmuştur. Amorf yapının korunduğu, Şekil 3.3'de elde edilen küllere ait X-Işını Difraktogramı ve (SEM) Scanning Electron Microscope incelemesi sonuçlarında elde edilen fotoğraflar ise Şekil 3.4'de görülmektedir.

Küller bu hali ile bağlayıcılık özelliğine sahip değildir. Yani inceliği çimentoya katmak için yeterli değildir. Bu nedenle üretilen küller Akçimento SA san. A.Ş. laboratuvarında bilyah değirmende öğütülmüştür. Öğütme işlemi sonunda küller, değirmende bulunan 200 ve 90µ'luk eleklerden geçirilmiştir. Küllerin inceliğini belirlemek için özgül yüzey deneyi de yapılmıştır. Özgül yüzey Blaine hava geçirgenliği prensibine göre belirlenmiştir. Küllere ait elek kalıntı ve özgül yüzey değerleri Tablo 3.5 de verilmiştir. Buğday sapı küllerinin özgül yüzeyleri, deneyde kullanılan çimento özgül yüzeyinin yaklaşık iki katına yakındır. Öğütülmüş buğday sapı küllerinin özgül yüzeyinin çimentodan büyük bir değere sahip olması çimento harcı üretiminde su ihtiyacının artmasına neden olur.



### Buğday sapı külü

Buğday sapı külünün elde edilmesi için sapsar önce ögütölmüş sonra kontrolsüz olarak yakılarak bir ön yakma işlemine tabi tutulmuştur. Ön yakma ile elde edilen yarı yanmış sapsar, Şekil E.3'te fotoğrafı görölen, laboratuar tipi MF 120 elektrikli kül fırınlarında sıcaklığı ve süresi kontrollü olarak yakılmıştır. Yakmadan sonra küller fırından çıkarılarak laboratuar ortamında hızlı soğumaya bırakılmıştır. Çalışmanın konusu olması nedeniyle buğday sapı ve buğday sapı külü ile ilgili özellikler, yapılan deneyler ve alınan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Ön yakma işleminden sonra elektrikli kül fırınlarında 570°C ve 670°C sıcaklıklarda 5 saat süre ile yakılarak elde edilen ve ögütölerek inceltelen küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmış, sonuçlar Tablo 3.5 ve 3.6 de verilmiştir.

Tablo 3.5 Buğday sapı külünün fiziksel özellikleri

Puzolan Adı	570°C	670°C
Özgöl Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.31	2.41
İncelik (Elek üzerinde kalıntı %)	90µ	2.6
	200µ	1.6
Özgöl Alan (cm <sup>2</sup> /gr)	4850	5520

### X-Işını Difraktometresi sonuçları

Bu araştırmada buğday sapı ve buğday sapı külü'nün (570°C-670°C) X-Işını Difraktogramları İ.T.Ü. Kimya-Metalurji mühendisliği laboratuarında (1316/90) Philips marka Cu hedefli K<sub>α</sub> radyasyonlu X-Işını Difraktometresi kullanılarak X-Işını Difraksiyon analizi diyagramları, 2θ 6°- 70° aralığında kaydedilmiştir. Buğday sapı ve külüne ait difraktogramları Şekil 3.1, ve 3.3'de, iç yapı fotoğrafları şekil 3.1 ve 3.4'de verilmiştir.





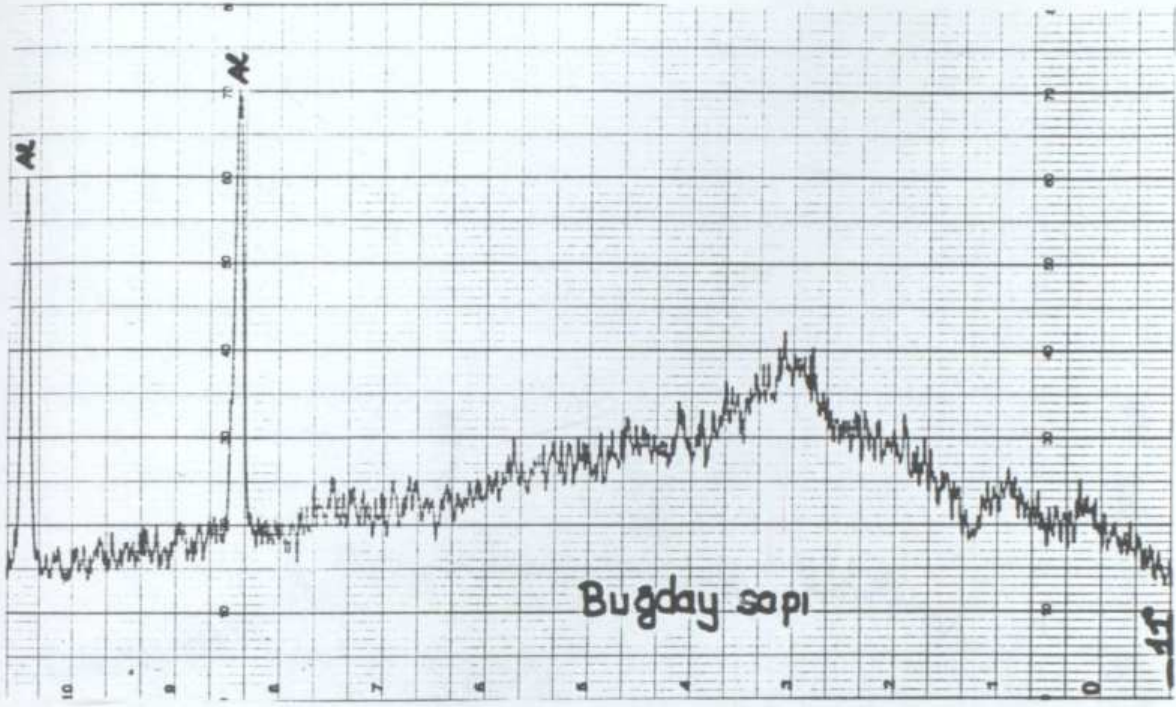
Bu difraktogramlarda da görüldüğü gibi hem buğday sapı hem de küllerde belirgin bir pik görülmemektedir. Yani yapı amorf haldedir. Bu bulguya literatürde de rastlanmıştır (Dass, 1984, Alkhalaf, Yousife, 1984, Mehta, Pitt, 1976).

Tablo 3.6 Buğday sapı küllerinin kimyasal analizi

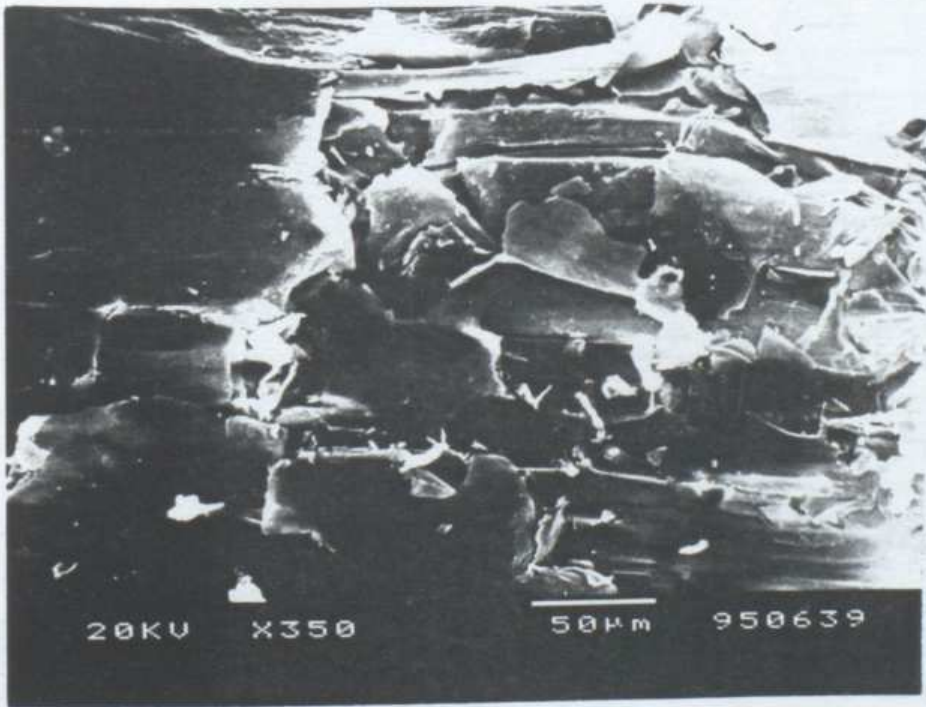
Bileşenler	Buğday sapı külü 570°C (%)	Buğday sapı külü 670°C (%)
SiO <sub>2</sub> (Çözünen)	50.78	54.24
SiO <sub>2</sub> (Çözünmeyen)	22.28	29.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.90	4.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.75	1.05
CaO	8.12	12.54
MgO	2.80	2.39
SO <sub>3</sub>	1.91	1.49
K	5.85	-
Na	1.83	-
Ca	3.05	-
Kızdırma Kaybı	8.79	7.22
Tayin Edilemeyen	-	-
Silis Modülü	9.69	9.69
Alüminyum Modülü	4.33	4.33

### Elektron mikroskobu incelemesi

Buğday sapı ve buğday sapı küllerinin (570°C-670°C) iç yapı analizi İ.T.Ü. Kimya-Metalurji mühendisliği laboratuvarında SEM- JSM-T330 Scanning Electron Microscope ile elementer analizi yapılmış difraktogramı alınmış ve aynı alanda iç yapı fotoğrafı çekilmiştir (Şekil 3.6). Si- K $\alpha$  X- Ray haritası EDAX- (Tracor Northen TN-5500) Energy Dispersive X-Ray Analyzer cihazı ile belirlenmiştir.

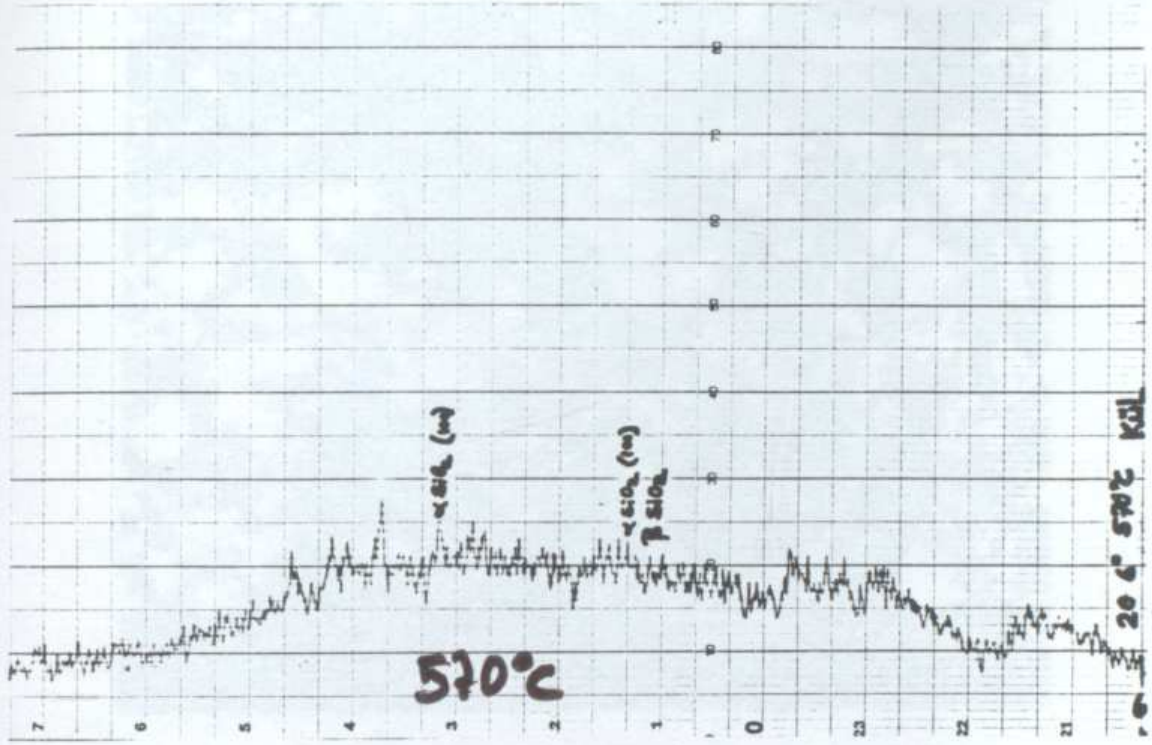


Şekil 3.1 Buğday sapının X-Işını Difraktogramı

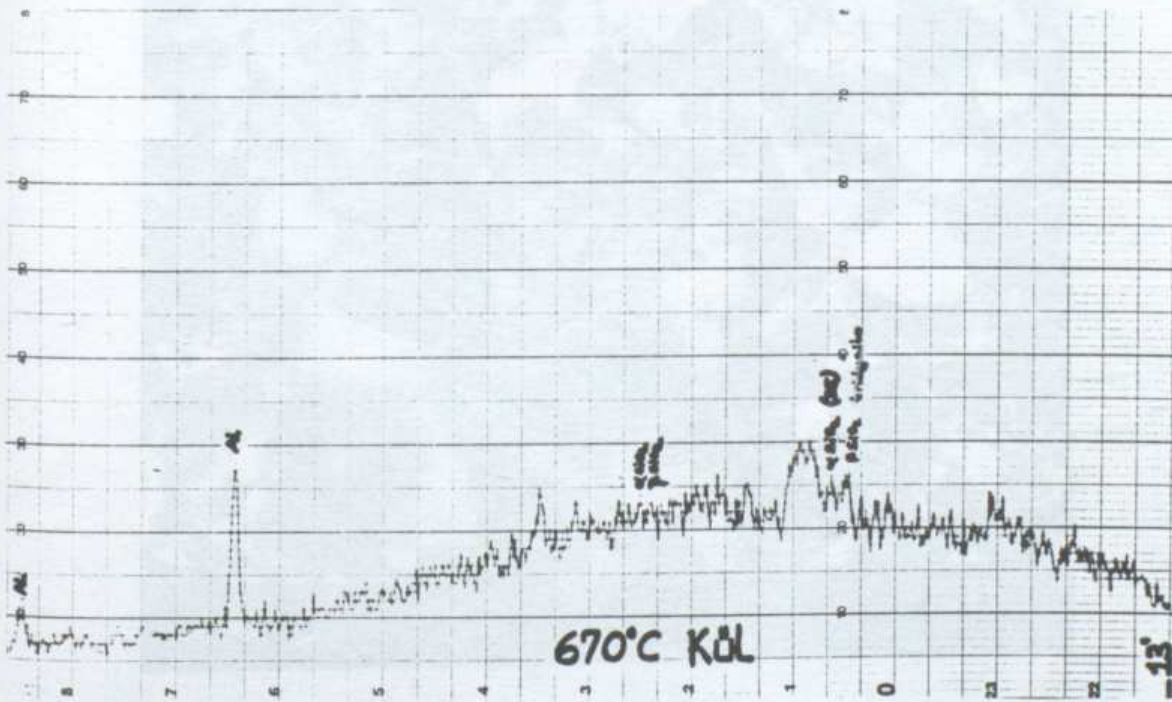


Şekil 3.2 Buğday sapının SEM'de elde edilen iç yapı fotoğrafı



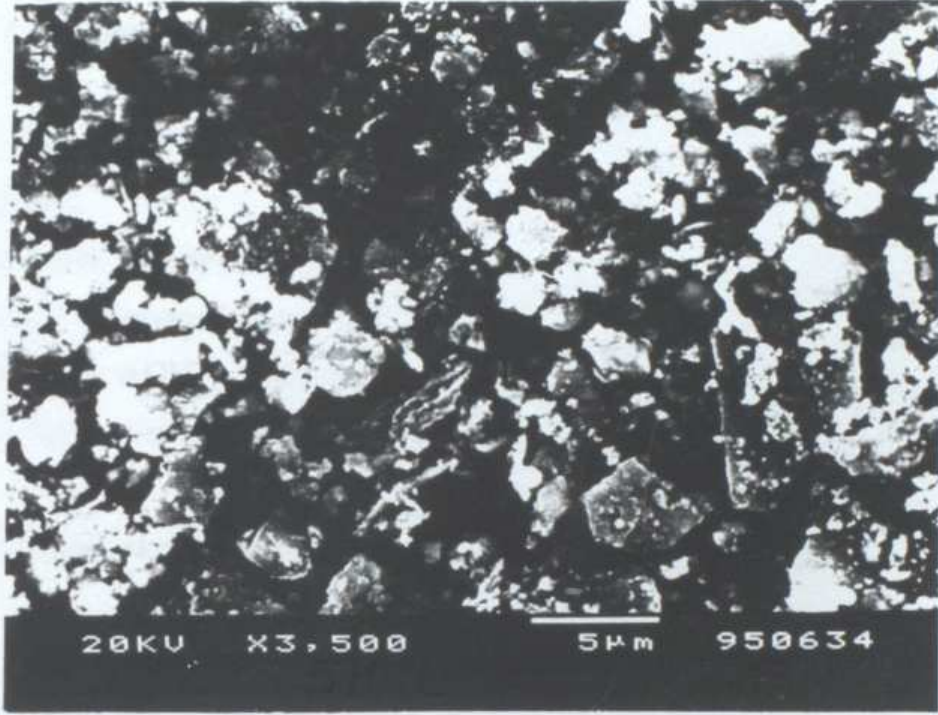


570 °C

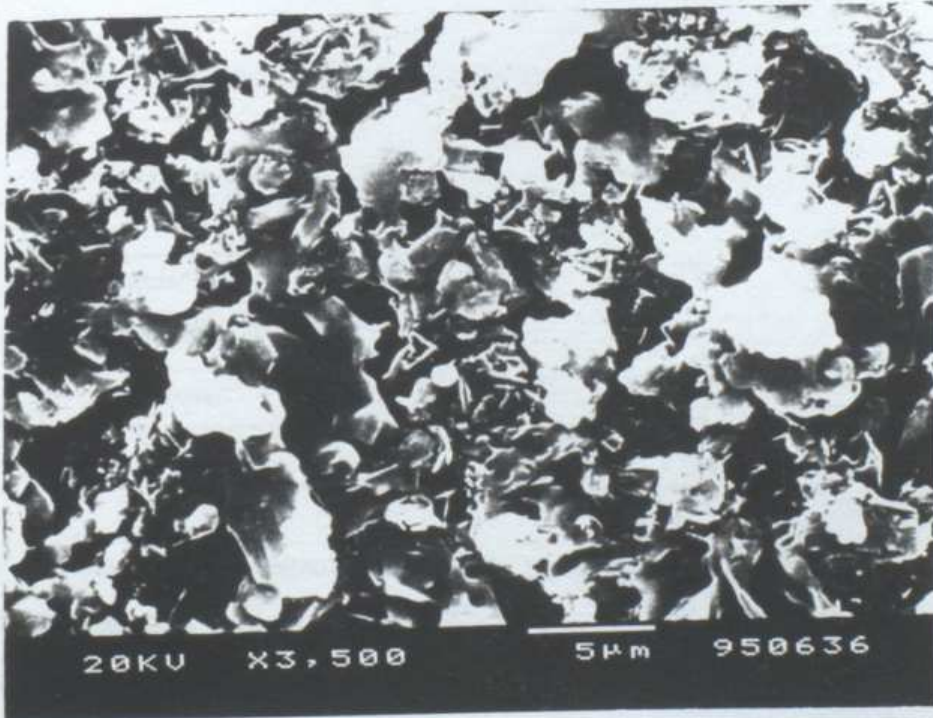


Şekil 3.3 Buğday sapından 570°C ve 670°C’da elde edilen küllerin X-Işını Difraktogramı





570 °C



Şekil 3.4 Buğday sapından 570°C ve 670°C’da elde edilen küllerin SEM iç yapı fotoğrafları





### 3.1.2. Buğday sapı külünde puzolanik aktivitenin araştırılması

Öğütülmüş küllerde puzolanik özellikler fiziksel, kimyasal ve mekanik deneylerle araştırılmıştır.

Puzolanik aktivite mekanik olarak karışım oranları Tablo 3.7’de verilen harçlarda belirlenmiştir. Kimyasal olarak aktivite testi, TS 26’nın öngördüğü gibi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’in eriyirliği  $\text{CaO}$  ve  $\text{OH}^-$  iyonlarının tayini ile belirlenmiştir. Puzolanik aktivite fiziksel olarak X-Ray analizi ve Scanning Electron Microscope ile araştırılmıştır.

#### Puzolanik aktivitenin mekanik deneylerle belirlenmesi

Mekanik deneyler, TS 25 esaslarına göre 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmalar üzerinde yapılmıştır. Standarda göre 1 dm<sup>3</sup> harç elde etmek için önerilen malzeme miktarları Tablo 3.7 de verilmiştir.

Tablo 3.7 TS 25’e göre puzolanik aktivite harçları için malzeme miktarları

Malzemeler	Standart Miktarlar	570°C Külü (gr)	670°C Külü (gr)
Standart kum	1350 gr	1350	1350
Sönmüş kireç	150 gr	150	150
Puzolan	2x150 $\delta p/\delta k$	315	329
Su	0.5x(150+puzolan)	395	325

Bu koşullara uygun puzolanik aktivite için üretilen harçlarda karışıma giren malzemelerin miktarları Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7’deki TS 25’in harç karışım oranlarına göre üretilen puzolanlı harç numuneler üzeri camla kapatılarak 24 saat süre ile 20°C’da laboratuvar ortamında tutulduktan sonra kalıplar sökülmeden üstü camla kapalı olarak 55±2 °C’lik etüv içinde 6 gün bekletildi. Bu süre sonunda numuneler kalıptan çıkarılarak TS 25’e göre çimento standart deneyinde olduğu gibi 3 numunede eğilme deneyi yapıldı, kırılan parçalarda

40x40 mm.'lik çelik başlıklardan yararlanılarak küp basınç deneyi yapıldı. Deney sonuçları ortalama değerleri Tablo 3.8'de verildi. Mekanik deneylerden elde edilen sonuçlar, standardın verdiği eğilmede  $f_{e_{min}}=1 \text{ N/mm}^2$ , basınçta  $f_{b_{min}}=4 \text{ N/mm}^2$  değerlerini aşmaktadır. Bu deney sonuçlarına göre, küllerin puzolanik özelliğe sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 3.8 TS 25'e göre buğday sapı külünün puzolanik aktivite deney sonuçları ve standart değerleri

Puzolan	Eğilme Dayanımı ( $\text{N/mm}^2$ )	Basınç Dayanımı ( $\text{N/mm}^2$ )
Standart Değer (TS 25'e göre min.)	1	4
570°C'de Kül	2.5	10.4
670°C'de Kül	3.0	11.6

#### Puzolanik aktivitenin kimyasal deneylerle araştırılması

Bu deneyde puzolanik özelliği araştırılacak malzemeler, TS 26 esaslarına göre Tablo 3.9 da verilen miktarlarda karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Bunun için önce içi parafinlenmiş 250 ml.'lik erlenler içine 100 ml. destile su konarak  $40\pm 2^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanmış etüvde bir saat bekletildi. Bir saat sonunda etüvden alınan erlenlerin içine hazırlanan numuneler konularak çimentonun dağılması için çalkalandı. Ağızları kapatılarak  $40^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanmış etüvde 7 gün bekletildi. Yedi günden sonra numuneler mavi bant kağıdından süzüldü. Süzüntü oda sıcaklığına gelinceye kadar beklendi, süzüntünün pH değerleri ölçüldü. Daha sonra CaO muhtevası ve alkalitesi tayin edildi. TS 26'ya göre yapılan bu puzolanlık deneylerinin sonuçları m.mol/L olarak Tablo 3.9'da, çözünürlük grafiği ise Şekil 3.5'de verildi.





Tablo 3.9 TS 26'ya göre kimyasal aktivite deneyi için malzeme miktarları

Karışım Kodu :	Çimento Miktarı (gr)	Çimento (%)	Kül Miktarı (gr)	Kül (%)	CaO (m.mol/L)	OH <sup>-</sup> (m.mol/L)	pH
A	20	100	0	0	13.0	35	12.40
5B	18.4	92	1.6	8	9.8	42	12.75
5C	16.8	84	3.2	16	6.0	54	12.82
5D	15.2	76	4.8	24	4.8	65	12.95
6B	18.4	92	1.6	8	9.0	30	12.70
6C	16.8	84	3.2	16	5.5	35	12.80
6D	15.2	76	4.8	24	4.4	49	12.93

5 : 570°C da elde edilen kül, 6 : 670°C da elde edilen kül

A : Kül oranı %0, B : Kül oranı %8, C : Kül oranı %16, D : Kül oranı %24

Tablo 3.9'daki değerlere göre Şekil 3.5'teki noktalar belirlendi. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi kül katkılı numunelerin alkalinite değerleri çözünürlük eğrisinin altında yani pozitif bölgede olması nedeniyle küllerin puzolanik özelliğe sahip olduğuna karar verildi.

#### Puzolanik aktivitenin fiziksel deneylerle belirlenmesi

Puzolanik aktivitenin fiziksel yollarla incelenmesi için küllerde X-Ray analizi ve Scanning Electron Microscope ile incelemeler yapılmış sonuçlar Şekil 3.3'de verilmiştir. Şekillerin incelemesinde, X-Ray analizinde piklere rastlanmaması yapının amorf olduğunu göstermiştir. SEM incelemesinde ise külün çeşitli büyütme fotoğrafları çekilmiş, ayrıca bu bölgelerde difraktogram ile elementer kimyasal analiz yapılmış ve difraktogramı alınmıştır. Elementer analiz sonuçları Tablo 3.10 ve iç yapı fotoğrafları Şekil 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.10 Buğday sapı ve küllerinin SEM analizi değerleri

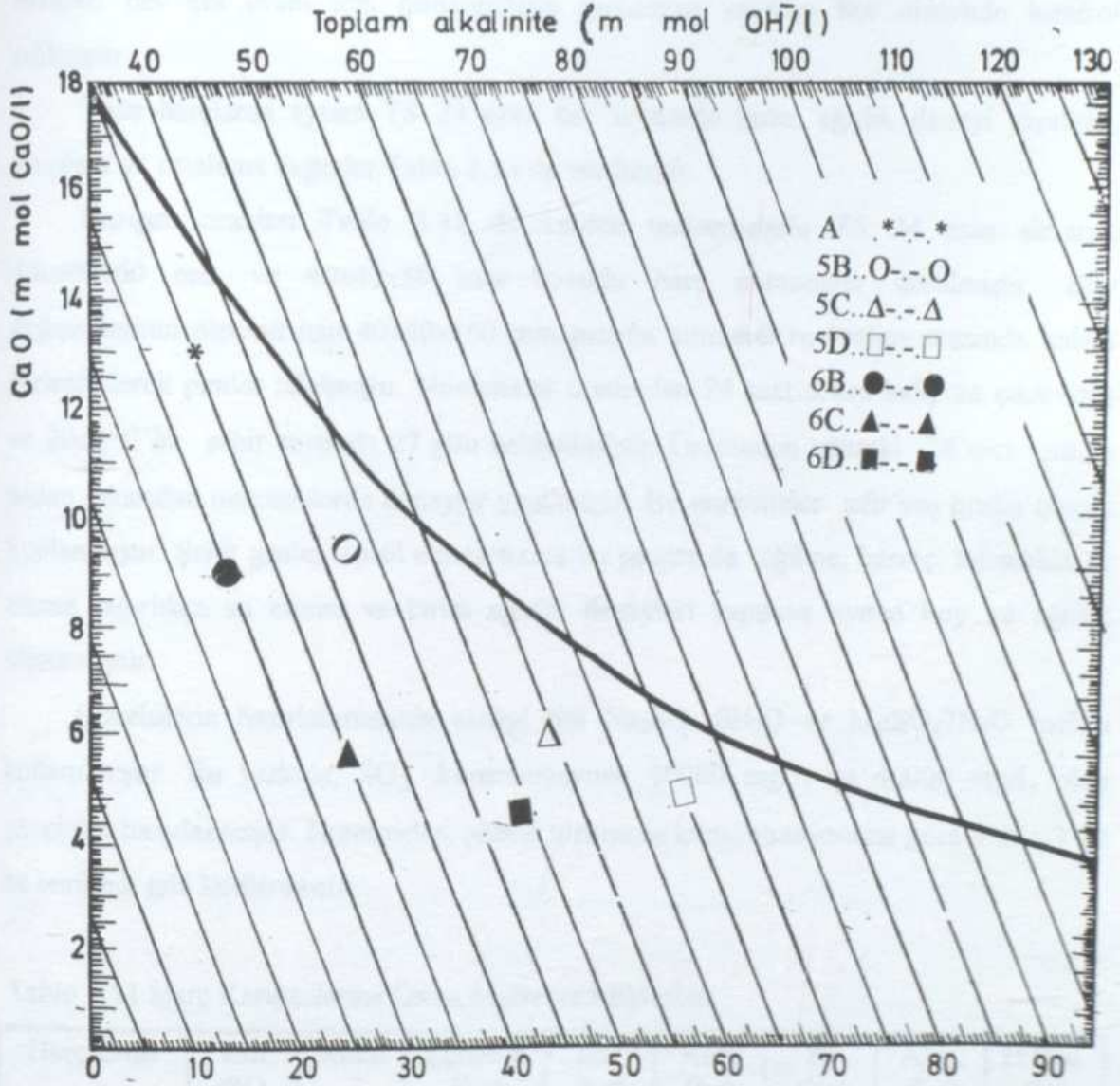
Element	Buğday Sapı(%)	570°C kül (%)	670°C kül (%)
Mg	1.00	1.08	0.63
Al	7.59	0.66	0.67
Si	53.22	30.38	12.83
P	0.00	2.68	1.52
S	0.00	4.64	12.32
Cl	1.17	3.40	7.68
K	22.29	38.29	50.42
Ca	6.54	14.43	12.35
Fe	2.97	2.29	0.96
Cu	5.23	2.15	0.63
Toplam	100.00	100.00	100.00

### 3.2. Numunelerin üretimi

Harç numuneler TS 24 esas alınarak üretilmiştir. Harçlar külsüz (şahit) ve küllü olmak üzere iki tiptir. Küllü harçlar, 570°C sıcaklıkta elde edilen kül ile üretilen 5 serisi, 670°C sıcaklıkta elde edilen kül ile üretilen 6 serisi olmak üzere iki grupta hazırlanmıştır. Küllü harçlarda buğday sapı külü, çimento ağırlığının %8, %16, %24'ü oranında çimento ile yer değiştirilerek (=ikame) katılmıştır. Küllü ve şahit harçlarda su/bağlayıcı oranı 0.50 olarak sabit tutulmuştur.

Puzolan katkılı harçlarda eşit işlenebilmeyi sağlayabilmek için akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Çünkü, özgül yüzeyi fazla olan külün su gereksinimi fazladır. Kül oranına bağlı olarak eşit işlenebilir harçlarda akışkanlaştırıcı miktarı ön deneyle saptanmıştır. Bir metreküp harç için gerekli olan gerçek malzeme miktarları Tablo 3.11 de verilmiştir.





Şekil 3-5 TS 26' ya göre Buğday sapından 570°C ve 670°C'da elde edilen küllerin CaO - OH<sup>-</sup> çözünürlük eğrisi



Taze harçlarda işlenebilme TS 2848 esaslarına uyularak yapılan deneylerle belirlenmiştir. Her kül oranı için akışkanlaştırıcı miktarı değiştirilerek yayılma,

$Y=R'/100=1.200$  ile 1.215 arasında tutulmuştur Bunun için akışkanlaştırıcı oranları her kül oranı için ödeneylerle saptanmış yayılma her üretimde kontrol edilmiştir.

Taze harçlarda ayrıca TS 24 göre her üretimde birim ağırlık deneyi yapılmış, gruplara ait ortalama değerler Tablo 3.13 de verilmiştir.

Karışım oranları Tablo 3.11 da verilen malzemelerle TS 24 esas alınarak 40x40x160 mm ve 40x40x50 mm boyutlu harç numuneler üretilmiştir. Boy değişimlerinin ölçümü için 40x40x160 mm prizma numunelere üretim sırasında kalıba yerleştirilerek pimler takılmıştır. Numuneler üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'lik şehir suyunda 27 gün bekletilmiştir. Üretimden sonraki 28'inci günde sudan çıkartılan numunelerde deneyler yapılmıştır. Bu numuneler sıfır yaş grubu olarak kodlanmıştır. Şahit grubu temsil etmek üzere bu grupta da eğilme, basınç, kılcallıkla su emme, ağırlıkça su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ayrıca boy ve ağırlık ölçülmüştür.

Çözeltilerin hazırlanmasında sanayi tipi  $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  tuzları kullanılmıştır. Bu tuzlarla,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L ve 40000 mg/L olan çözeltiler hazırlanmıştır. Numuneler, çözelti türüne ve konsantrasyonuna göre Tablo 3.12 de verildiği gibi kodlanmıştır.

Tablo 3.11 Harç Karışımlarına Giren Malzeme Miktarları

Harç Cinsi	Kül (%)	Kodu	Çimento (kg)	Kül (kg)	Kum (kg)	Su (kg)	Akış. (kg)	H.Boş. (%)
Şahit	0	A	480	0	1440	240	0	6.1
570°C Serisi	8	5B	439	38	1431	238	2.4	6.2
	16	5C	396	75	1413	230	4.2	7.2
	24	5D	356	113	1407	225	9.4	7.1
670°C Serisi	8	6B	443	38	1443	238	2.4	5.7
	16	6C	403	77	1440	235	4.3	5.6
	24	6D	363	115	1434	229	9.6	5.6



Tablo 3.12 Harçların Eskitici Ortamına Göre Kodlanması

Çözelti Adı	Konsantrasyon (mg/L)	Çözelti Kodu	Konsantrasyon Kodu
Su	-	S	-
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10000	N	1
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40000	N	4
MgSO <sub>4</sub>	10000	M	1
MgSO <sub>4</sub>	40000	M	4

### 3.2.1. Taze harçlarda yapılan deneyler

Kül katkısız şahit ve kül katkılı harçlarda, taze harç deneyi olarak eşit işlenebilmeyi sağlamak için yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

#### Yayılma deneyi

Harçların üretiminde su/çimento oranı ( $w=0.50$ ) sabit tutulmuştur. Kül katkılı harçlarda bu oran akışkanlaştırıcı katkı maddesi katılarak sağlanmıştır. Katkısız harçların yayılmasına eşit yayılmayı verecek kül katkılı harçlarda kül oranına bağlı akışkanlaştırıcı katkı maddesi oranını saptamak için TS 2848 göre yayılma deneyleri yapılmıştır.

Yayılan harçta çap ölçümleri yapılarak ortalama çap ( $R'$ ) değeri belirlenmiştir. Kül katkılı harçlarda kül oranına bağlı olarak, şahit harcın yayılma değerini sağlayan akışkanlaştırıcı oranları belirlenmiştir. Kül oranına bağlı olarak istenen yayılmayı sağlayan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları Tablo 3.11'de verilmiştir.

#### Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlık deneyi için hacmi ve darası belli olan kap kullanılmıştır. Her üretimde yayılma deneyinden sonra birim ağırlık deneyi yapılmış, gruplara ait ortalama değerleri Tablo 3.13'de verilmiştir.

Tablo 3.13 Taze Harçlarda Yayılma ve Birim Ağırlık

Harç Kodu	Kül (%)	Yayılma $Y = R'/100$	Birim Ağırlık (Kg/dm <sup>3</sup> )
A	0	1.2	2.16
5B	8	1.2	2.15
5C	16	1.2	2.12
5D	24	1.2	2.11
6B	8	1.2	2.17
6C	16	1.2	2.14
6D	24	1.2	2.13

### 3.3. Eskitme süreci

Malzeme miktarları Tablo 3.11 de verilen, TS 24'e göre hazırlanan harçlarla üretilen 40x40x160 mm ve 40x40x50 mm boyutlarındaki numuneler üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış, gerekli ölçüm ve deneyler yapıldıktan sonra  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  şehir suyunda 27 gün bekletilmiştir. Üretimden 28. günde sudan çıkartılan bir grup numunede şahit grubu temsilen mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra numunelerin bir grubu şehir suyuna, diğer gruplar ise şehir suyu ile hazırlanmış olan sülfat çözeltilerine konulmuştur. Agresif ortam olarak seçilen çözeltilerde kullanılan sanayi tipi tuzlar,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  bileşimindedir. Her iki tuz çözeltisinde de  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu, 10000 ve 40000 mg/L olarak hazırlanmıştır. Piyasadan temin edilen sanayi tipi tuzlarla önce standart çözeltiler hazırlanmış ve bu çözeltilerdeki  $\text{SO}_4^-$  miktarı Dr. Lange Spectofotometresi cihazı ile fotometrik analizle belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan konsantrasyonlar için gerekli olan tuz miktarları bu laboratuvar verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Su ve sülfat çözeltileri, harçlar üzerinde eskitici ortamlar olarak sızdırmaz ve yeterli büyüklükte plastik küvetlerde hazırlanmıştır.



Numuneler eskitici ortam içine çapı 5mm olan cam bagetler üzerine fotoğraf Şekil E. 4'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Yerleştirmede numunenin tüm yüzeylerinin eskitici ortamla temasının sağlanmasına ve numunelerin eskitici ortamla üst yüzeyinin en az 2 cm kadar örtülmesine özen gösterilmiştir. Numuneler eskitici ortama yerleştirildikten sonra hava ile temasını önlemek, ışık etkisinden korumak amacı ile küvetlerin üzeri siyah naylon kılıfla deney süresince kapalı tutulmuştur. Eskitici korozif ortam olarak kullanılan su ve sülfat her 14 günde bir yenilenmiştir. Bu sırada numuneler yıkanıp kurulanmış ve gerekli ölçüm ve deneyler yapılmıştır. Bu işlem deney süresi olan 180. güne kadar tekrarlanarak sürdürülmüştür.

### 3.4. Kontrol deneyleri

Harçlar üretimden sonra 28. güne kadar  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  suda saklanmış, 28. günde gruplara ayrılarak su ve sülfat çözeltilerine konulmuştur. Bu ortamların harçlara yaptığı etkileri araştırmak için, 28., 56., 90. ve 180. günlerde eğilme ve basınç deneyleri, aynı günlerde kılcallıkla su emme, hacimce su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Su ve sülfat çözeltilerinin yenilendiği günlerde ağırlıklar tartılmış, boylar ölçülmüştür. 90. günde mekanik deneylerden alınan parça numunelerde CaO ve  $\text{OH}^-$  tayini deneyleri yapılmış ve bu ölçümler için hazırlanan süzüntüde pH ölçümü de yapılmıştır. Aynı parçalardan hazırlanan numunelerde SEM ve X-Ray incelemesi yapılmış, deneyler ve alınan sonuçlar aşağıda verilmiştir.



### 3.4.1. Mekanik deneyler

Mekanik özellikleri belirlemek için 40x40x160 mm boyutlu numunelerde eğilme ve kırılan parçalarda basınç deneyleri yapılmıştır.

#### Eğilme deneyi

Su ve sülfat çözeltilerinde bekletilen harçlarda eğilme deneyleri kür yaşına göre 0., 28., 56., 90. ve 180. günlerde TS 24'e uygun olarak 40x40x160 mm boyutlu 3 adet prizma numunede Michaelies eğilme aletinde yapılmıştır. Prizma numuneler orta kesitlerinden yüklenerek eğilmeye tabi tutulmuş, kırılmaya neden olan kuvvet belirlenmiştir. Eğilme dayanımı aşağıdaki bağıntıdan yararlanılarak hesaplanmış, bütün gruplara ait ortalama değerleri Tablo 3.14, 15, 16, 17, 18'de verilmiştir. Bu değerler şahit harcın 28. gündeki ortalama eğilme dayanımına oranlanarak bulunan bağıl değerler'de aynı tabloların altında verilmiştir.

$$f_{cc} = (P_k \times L / 4) / b^3 / 6 = 1.5 (P_k \times L / b^3) \quad (3.1)$$

$f_{cc}$  = Eğilme dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

$P_k$  = Kırılma Kuvveti (N)

$L$  = Mesnetler Arası Mesafe (mm)

$b$  = Prizma kesit Boyutu (mm)



Tablo 3.14 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AS	5BS	5CS	5DS	6BS	6CS	6DS
0	9.97	7.57	6.56	8.37	10.28	9.91	7.23
28	8.54	8.54	6.94	7.50	8.57	7.48	6.93
56	8.68	7.83	6.81	7.52	7.75	8.20	7.65
90	8.82	8.52	7.43	6.89	8.38	7.65	6.17
180	8.35	7.87	6.96	7.86	8.81	8.05	8.15
Günler	%AS	%5BS	%5CS	%5DS	%6BS	%6CS	%6DS
0	100.00	75.92	65.79	83.94	103.17	99.45	72.57
28	85.72	85.68	69.60	75.27	85.95	75.04	69.52
56	87.03	78.56	68.31	75.43	77.78	82.28	76.76
90	88.50	85.45	74.53	69.11	84.04	76.76	61.93
180	83.76	78.95	69.80	78.87	88.42	80.75	81.81

Tablo 3.15 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AN1	5BN1	5CN1	5DN1	6BN1	6CN1	6DN1
0	9.97	7.57	6.56	8.37	10.28	9.91	7.24
28	9.22	8.57	8.26	7.36	9.68	8.11	7.64
56	9.77	9.69	7.80	8.46	10.10	8.71	8.31
90	11.89	11.62	7.73	7.05	9.54	9.21	7.84
180	10.58	11.79	8.60	8.49	11.54	10.44	9.07
Günler	%AN1	%5BN1	%5CN1	%5DN1	%6BN1	%6CN1	%6DN1
0	100.00	75.92	65.79	83.94	103.17	99.45	72.59
28	92.49	85.95	82.90	73.83	97.14	81.38	76.68
56	98.00	97.18	78.21	84.90	101.35	87.36	83.33
90	119.25	116.59	77.54	70.70	95.66	92.37	78.68
180	106.18	118.31	86.31	85.13	115.81	104.77	91.00

Tablo 3.16 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AN4	5BN4	5CN4	5DN4	6BN4	6CN4	6DN4
0	9.97	7.57	6.56	8.37	10.28	9.91	7.24
28	9.67	8.99	7.91	7.50	9.98	8.32	7.67
56	10.29	9.43	8.94	8.41	10.48	9.23	9.21
90	11.73	8.93	7.78	7.69	9.31	10.63	9.43
180	8.65	9.23	9.46	7.78	9.74	9.28	7.58
Günler	%AN4	%5BN4	%5CN4	%5DN4	%6BN4	%6CN4	%6DN4
0	100.00	75.92	65.79	83.94	103.17	99.45	72.59
28	97.03	90.16	79.34	75.23	100.16	83.45	76.94
56	103.25	94.60	89.67	84.35	105.13	92.57	92.41
90	117.68	89.59	78.05	77.11	93.35	106.65	94.60
180	86.78	92.61	94.87	78.05	97.69	93.08	76.02

Tablo 3.17 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AM1	5BM1	5CM1	5DM1	6BM1	6CM1	6DM1
0	9.97	7.57	6.56	8.37	10.28	9.91	7.24
28	10.12	8.73	7.80	6.94	9.38	8.24	6.59
56	10.56	10.00	8.51	8.30	10.60	8.70	7.73
90	10.50	9.87	8.10	8.16	11.00	9.29	8.26
180	12.26	12.33	7.83	7.85	11.68	11.14	8.85
Günler	%AM1	%5BM1	%5CM1	%5DM1	%6BM1	%6CM1	%6DM1
0	100.00	75.92	65.79	83.94	103.17	99.45	72.59
28	101.55	87.60	78.29	69.60	94.09	82.67	66.12
56	105.95	100.31	85.41	83.26	106.34	87.32	77.58
90	105.30	99.02	81.30	81.91	110.37	93.15	82.82
180	123.00	123.71	78.56	78.79	117.14	111.74	88.77



Tablo 3-18 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağlı değerleri (%)

Günler	AM4	5BM4	5CM4	5DM4	6BM4	6CM4	6DM4
0	9.97	7.57	6.56	8.37	10.28	9.91	7.24
28	10.00	8.44	7.42	7.27	9.34	8.25	5.76
56	10.92	10.95	8.05	8.19	10.78	9.11	8.37
90	10.81	10.65	8.79	8.41	10.83	10.90	7.67
180	12.43	10.34	8.58	8.36	11.03	13.01	7.35
Günler	%AM4	%5BM4	%5CM4	%5DM4	%6BM4	%6CM4	%6DM4
0	100.00	75.92	65.79	83.94	103.17	99.45	72.59
28	100.27	84.66	74.41	72.97	93.74	82.79	57.75
56	109.59	109.82	80.79	82.20	108.14	91.39	83.96
90	108.41	106.89	88.18	84.35	108.61	109.39	76.92
180	124.69	103.68	86.03	83.88	110.64	130.48	73.75

### Basınç deneyi

Eğilme deneyinde kırılan parçalar üzerinde TS 24'e göre 40x40 mm'lik çelik başlıklardan yararlanılarak 6 adet numunede küp basınç deneyi yapılmıştır. Deneyde 35 ton kapasiteli Üniverasal Press kullanılmıştır. basınç dayanımı aşağıdaki bağıntıdan yararlanılarak hesaplanmış, bütün gruplara ait ortalama basınç dayanımlı değerleri Tablo 3.19, 20, 21, 22, 23'de verilmiştir. Bu değerler şahit harcın 28. günde ortalama basınç dayanımına oranlanarak bulunan bağıl değerler'de aynı tabloların altında verilmiştir. Eğilme ve basınç dayanımı deneyi aynı gün ve aynı anda yapıldığı için numune yaşı, eğilme dayanımı deneyi ile aynıdır.

$$f_{cb} = P_k / b^2 \quad (3.2)$$

Tablo 3.19 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları (N/mm<sup>2</sup>) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AS	5BS	5CS	5DS	6BS	6CS	6DS
0	56.15	46.98	45.94	42.19	50.52	45.10	40.00
28	48.85	49.69	38.33	46.77	53.80	43.13	45.57
56	54.17	50.31	34.64	48.44	54.84	49.01	52.50
90	54.90	49.48	41.15	45.78	56.46	44.53	45.52
180	61.98	49.58	31.04	51.56	61.04	45.42	59.17
Günler	%AS	%5BS	%5CS	%5DS	%6BS	%6CS	%6DS
0	100.00	83.67	81.82	75.14	89.98	80.33	71.24
28	87.01	88.50	68.27	83.30	95.83	76.81	81.17
56	96.47	89.61	61.69	86.27	97.68	87.29	93.51
90	97.77	88.13	73.28	81.54	100.56	79.31	81.08
180	110.39	88.31	55.29	91.84	108.72	80.89	105.38



Tablo 3.20 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AN1	5BN1	5CN1	5DN1	6BN1	6CN1	6DN1
0	56.15	46.98	45.94	42.19	50.52	45.10	40.00
28	53.65	51.61	41.56	41.72	52.50	46.72	45.10
56	58.02	50.21	43.65	44.90	56.25	56.09	51.15
90	55.63	50.63	44.01	44.79	52.50	49.06	52.97
180	59.69	53.65	45.21	40.73	63.54	53.13	51.25
Günler	%AN1	%5BN1	%5CN1	%5DN1	%6BN1	%6CN1	%6DN1
0	100.00	83.67	81.82	75.14	89.98	80.33	71.24
28	95.55	91.93	74.03	74.30	93.51	83.21	80.33
56	103.34	89.42	77.74	79.96	100.19	99.91	91.09
90	99.07	90.17	78.39	79.78	93.51	87.38	94.34
180	106.31	95.55	80.52	72.54	113.17	94.62	91.28

Tablo 3.21 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AN4	5BN4	5CN4	5DN4	6BN4	6CN4	6DN4
0	56.15	46.98	45.94	42.19	50.52	45.10	40.00
28	59.90	45.99	39.95	38.13	57.92	53.07	43.02
56	61.67	50.73	47.71	45.31	52.50	58.54	54.69
90	59.69	49.58	38.44	42.08	47.29	52.97	53.23
180	62.08	46.88	44.11	34.58	56.98	55.10	45.21
Günler	%AN4	%5BN4	%5CN4	%5DN4	%6BN4	%6CN4	%6DN4
0	100.00	83.67	81.82	75.14	89.98	80.33	71.24
28	106.68	81.91	71.15	67.90	103.15	94.53	76.62
56	109.83	90.35	84.97	80.71	93.51	104.27	97.40
90	106.31	88.31	68.46	74.95	84.23	94.34	94.81
180	110.58	83.49	78.57	61.60	101.48	98.14	80.52

Tablo 3.22 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AM1	5BM1	6BM1	5CM1	6CM1	5DM1	6DM1
0	56.15	46.98	50.52	45.94	45.10	42.19	40.00
28	43.01	48.18	52.97	44.11	49.11	36.25	42.29
56	60.21	45.78	49.53	43.33	52.71	42.60	45.94
90	56.56	47.29	56.67	39.69	53.23	42.50	45.10
180	64.58	53.44	54.79	37.19	54.06	37.08	46.56
Günler	%AM1	%5BM1	%6BM1	%5CM1	%6CM1	%5DM1	%6DM1
0	100.00	83.67	89.98	81.82	80.33	75.14	71.24
28	76.60	85.81	94.34	78.57	87.48	64.56	75.32
56	107.24	81.54	88.22	77.18	93.88	75.88	81.82
90	100.74	84.23	100.93	70.69	94.81	75.70	80.33
180	115.03	95.18	97.59	66.23	96.29	66.05	82.93

Tablo 3.23 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımları ( $N/mm^2$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AM4	5BM4	6BM4	5CM4	6CM4	5DM4	6DM4
0	56.15	46.98	50.52	45.94	45.10	42.19	40.00
28	56.82	47.34	52.34	32.14	49.32	41.51	42.60
56	56.67	41.61	52.66	36.15	48.96	46.41	53.13
90	55.42	49.22	53.28	41.51	54.79	41.77	45.57
180	56.77	46.61	58.23	40.63	50.10	33.96	39.27
Günler	%AM4	%5BM4	%6BM4	%5CM4	%6CM4	%5DM4	%6DM4
0	100.00	83.67	89.98	81.82	80.33	75.14	71.24
28	101.21	84.32	93.23	57.24	87.85	73.93	75.88
56	100.93	74.12	93.78	64.38	87.20	82.65	94.62
90	98.70	87.66	94.90	73.93	97.59	74.40	81.17
180	101.11	83.02	103.71	72.36	89.24	60.48	69.94



### 3.4.2. Fiziksel deneyler

Harçların fiziksel özelliklerindeki değişimi belirlemek için birim ağırlık, hacimce su emme, kılcal su emme, boy değişimi ve ağırlık değişimi deneyleri yapılmıştır. Ayrıca X-ışını analizi ve SEM incelemesi yapılmıştır.

#### Ağırlık değişimi deneyi

Ağırlık değişimi deneyleri 40x40x50 mm boyutlu 3 adet prizma numunede yapılmıştır. 28. günde sudan çıkartılan numuneler dış yüzeyleri hafifçe kurularak 0.1 gr duyarlılık terazide tartılmıştır. Daha sonra su ve sülfat çözeltilerine konularak kür edilen numuneler, 14'er günlük peryotlarla 180. günün sonunda buldukları ortamdan çıkarılarak tartımları yapılmıştır. Ağırlık değişimi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmış bütün gruplar için ortalama değerleri Tablo 3.24, 25, 26, 27, 28'de verilmiştir. Bu değerler şahit harcın 28. gündeki ortalama ağırlık değerlerine oranlanarak bulunan bağıl değerler'de aynı tabloların altında verilmiştir.

$$W_d = (W_H - W_0)100 / W_0 \quad (3.3)$$

$W_d$  : Ağırlık Değişimi (%)

$W_t$  : t süredeki numune ağırlığı (gr)

$W_0$  : Başlangıçtaki numune ağırlığı (gr)

Tablo 3.24 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağlı değerleri (%)

GÜNLER	WAS	W5BS	W5CS	W5DS	W6BS	W6CS	W6DS
0	192.03	205.17	187.47	192.30	210.67	204.87	182.10
14	192.37	205.43	188.00	192.70	211.10	204.67	182.40
28	192.57	205.80	188.60	192.80	211.63	204.90	182.40
42	192.60	205.93	188.70	192.90	212.03	205.07	182.50
56	192.80	206.23	189.13	193.00	212.17	205.17	182.57
70	192.90	206.43	189.23	193.10	212.27	205.33	182.63
84	192.93	206.60	189.10	193.17	212.53	205.47	182.73
90	192.93	206.63	189.20	193.20	212.53	205.47	182.70
98	192.93	206.73	189.33	193.30	212.63	205.50	182.67
112	193.00	206.93	189.67	193.33	212.80	205.63	182.73
126	193.03	207.03	189.77	193.30	212.87	205.70	182.83
140	193.13	207.13	189.87	193.43	213.03	205.77	182.83
154	193.20	207.10	190.10	193.40	213.00	205.80	183.00
168	193.27	207.23	190.20	193.50	213.10	205.83	182.90
180	193.27	207.27	190.20	193.43	213.17	205.83	182.97
GÜNLER	%WAS	%W5BS	%W5CS	%W5DS	%W6BS	%W6CS	%W6DS
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.15	0.19	0.19	0.21	0.21	-0.04	0.15
28	0.25	0.36	0.46	0.29	0.46	0.07	0.17
42	0.27	0.42	0.55	0.32	0.65	0.13	0.22
56	0.37	0.55	0.76	0.37	0.72	0.18	0.27
70	0.43	0.65	0.85	0.40	0.78	0.25	0.28
84	0.45	0.76	0.81	0.42	0.90	0.32	0.35
90	0.45	0.78	0.88	0.45	0.91	0.31	0.35
98	0.47	0.76	1.00	0.52	0.93	0.31	0.31
112	0.50	0.86	1.17	0.54	1.01	0.38	0.35
126	0.52	0.91	1.23	0.52	1.04	0.41	0.40
140	0.57	0.96	1.28	0.59	1.12	0.44	0.40
154	0.61	0.94	1.40	0.57	1.11	0.46	0.49
168	0.64	1.01	1.46	0.62	1.16	0.47	0.44
180	0.64	1.02	1.46	0.59	1.19	0.47	0.48



Tablo 3.25 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)

GÜNLER	WAN1	W5BN1	W5CN1	W5DN1	W6BN1	W6CN1	W6DN1
0	194.07	184.93	181.40	189.97	202.53	186.23	188.60
14	194.10	185.83	181.70	190.03	203.60	186.23	188.40
28	194.27	185.53	181.77	190.03	203.67	186.37	188.20
42	194.07	186.00	181.80	190.10	203.90	186.37	188.37
56	194.27	186.00	182.00	190.10	203.97	186.30	188.40
70	194.27	186.20	181.93	190.27	204.07	186.43	188.57
84	194.20	186.37	182.17	190.37	204.27	186.50	188.60
90	194.20	186.37	182.20	190.37	204.30	186.50	188.50
98	194.20	186.40	182.27	190.37	204.40	186.60	188.43
112	194.20	186.60	182.37	190.47	204.40	186.67	188.53
126	194.20	186.70	182.60	190.60	204.53	186.63	188.53
140	194.17	186.77	182.70	190.67	204.53	186.80	188.57
154	194.23	186.80	182.90	190.73	204.60	186.90	188.67
168	194.20	186.90	182.93	190.87	204.63	187.00	188.67
180	194.30	186.90	183.17	190.80	204.57	187.20	188.67
GÜNLER	%WAN1	%W5BN1	%W5CN1	%W5DN1	%W6BN1	%W6CN1	%W6DN1
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	-0.01	0.11	0.21	0.02	0.56	0.00	-0.02
28	0.06	0.31	0.23	0.01	0.59	0.04	-0.10
42	-0.04	0.54	0.28	0.06	0.67	0.05	-0.08
56	0.08	0.55	0.37	0.07	0.69	0.05	-0.07
70	0.09	0.67	0.29	0.16	0.74	0.08	-0.01
84	0.08	0.76	0.42	0.22	0.84	0.14	0.03
90	0.07	0.76	0.43	0.23	0.87	0.16	-0.01
98	0.07	0.79	0.48	0.21	0.92	0.20	-0.09
112	0.07	0.90	0.54	0.27	0.92	0.23	-0.04
126	0.07	0.96	0.66	0.34	0.99	0.21	-0.04
140	0.05	0.99	0.72	0.37	0.99	0.30	-0.02
154	0.09	1.01	0.83	0.41	1.02	0.36	0.03
168	0.07	1.06	0.85	0.48	1.04	0.41	0.03
180	0.12	1.06	0.98	0.44	1.00	0.52	0.03

Tablo 3.26 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)

GÜNLER	WAN4	W5BN4	W5CN4	W5DN4	W6BN4	W6CN4	W6DN4
0	197.20	179.90	179.90	188.17	187.00	194.47	188.53
14	197.20	180.63	180.63	187.97	188.17	194.40	188.50
28	197.33	180.57	180.57	187.93	188.27	194.33	188.50
42	197.40	180.60	180.60	188.03	188.27	194.40	188.47
56	197.50	180.70	180.70	187.93	188.43	194.40	188.53
70	197.70	180.53	180.53	188.13	188.70	194.50	188.70
84	197.83	180.60	180.60	188.23	188.57	194.50	188.77
90	197.83	180.67	180.67	188.23	188.67	194.57	188.80
98	197.90	180.83	180.83	188.20	188.83	194.67	188.90
112	198.00	181.13	181.13	188.43	189.03	194.67	188.97
126	198.23	181.60	181.60	188.50	189.13	194.83	189.10
140	198.30	181.53	181.53	188.63	189.53	194.93	189.13
154	198.43	181.83	181.83	188.67	189.70	194.97	189.27
168	198.50	182.47	182.47	188.80	189.77	195.20	189.30
180	198.63	182.50	182.50	188.73	189.83	195.23	189.37
GÜNLER	%WAN4	%W5BN4	%W5CN4	%W5DN4	%W6BN4	%W6CN4	%W6DN4
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.02	0.23	0.33	-0.07	0.52	-0.05	0.04
28	0.06	0.26	0.27	-0.09	0.57	-0.10	0.06
42	0.09	0.19	0.30	-0.06	0.59	-0.05	0.03
56	0.12	0.36	0.34	-0.09	0.68	-0.04	0.07
70	0.25	0.41	0.27	-0.02	0.85	-0.01	0.13
84	0.31	0.39	0.33	0.03	0.82	-0.01	0.14
90	0.34	0.50	0.40	0.04	0.91	0.04	0.17
98	0.35	0.52	0.54	0.02	0.98	0.10	0.19
112	0.40	0.66	0.71	0.14	1.09	0.10	0.22
126	0.52	0.73	0.97	0.18	1.14	0.19	0.30
140	0.56	0.94	0.93	0.25	1.35	0.24	0.31
154	0.62	1.03	1.10	0.26	1.44	0.26	0.38
168	0.66	1.08	1.47	0.34	1.48	0.38	0.40
180	0.72	1.05	1.48	0.30	1.51	0.39	0.44





Tablo 3.27 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)

GÜNLER	WAM1	W5BM1	W5CM1	W5DM1	W6BM1	W6CM1	W6DM1
0	191.67	187.07	181.07	187.10	194.17	191.37	185.50
14	191.93	187.83	181.93	187.23	194.93	191.47	186.27
28	192.23	188.10	182.33	187.37	195.17	191.60	186.50
42	192.33	188.37	182.43	187.40	195.50	191.73	186.57
56	192.53	188.80	182.90	187.57	195.87	191.93	186.77
70	192.57	188.67	182.87	187.60	195.83	192.00	186.73
84	192.57	188.93	183.03	187.70	196.13	192.13	186.80
90	192.57	188.93	183.03	187.70	196.17	192.23	186.80
98	192.57	189.03	183.10	187.70	196.27	192.33	186.83
112	192.57	189.07	183.20	187.80	196.37	192.23	186.77
126	192.60	189.03	183.37	187.90	196.33	192.33	186.97
140	192.73	189.03	183.40	187.93	196.33	192.47	187.03
154	192.77	189.00	183.57	187.97	196.30	192.33	187.17
168	192.93	189.17	183.73	188.03	196.47	192.57	187.13
180	192.90	189.20	183.83	188.03	196.53	192.47	187.20
GÜNLER	%WAM1	%W5BM1	%W5CM1	%W5DM1	%W6BM1	%W6CM1	%W6DM1
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.12	0.43	0.35	0.04	0.40	0.04	0.40
28	0.23	0.57	0.58	0.12	0.51	0.11	0.50
42	0.31	0.71	0.63	0.14	0.67	0.18	0.54
56	0.42	0.92	0.83	0.22	0.87	0.26	0.66
70	0.44	0.83	0.84	0.24	0.87	0.32	0.66
84	0.44	0.98	0.94	0.28	1.01	0.41	0.68
90	0.46	0.97	0.92	0.31	1.00	0.44	0.67
98	0.47	1.05	1.13	0.32	1.08	0.50	0.72
112	0.47	1.07	1.18	0.37	1.14	0.45	0.68
126	0.48	1.05	1.28	0.43	1.12	0.50	0.79
140	0.56	1.05	1.29	0.45	1.12	0.58	0.82
154	0.57	1.03	1.39	0.46	1.10	0.50	0.90
168	0.66	1.12	1.48	0.50	1.19	0.63	0.88
180	0.64	1.14	1.53	0.50	1.22	0.57	0.91

Tablo 3.28 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların ağırlık değişimi ve bağıl değerleri (%)

GÜNLER	WAM4	W5BM4	W5CM4	W5DM4	W6BM4	W6CM4	W6DM4
0	193.10	182.40	187.10	183.90	190.70	181.37	182.43
14	193.20	183.10	187.63	183.93	191.33	180.93	182.77
28	193.40	183.33	187.70	184.00	191.63	181.13	182.83
42	193.53	183.40	187.97	184.10	191.87	181.20	182.97
56	193.70	183.60	188.27	184.27	192.00	181.27	183.00
70	193.77	183.70	188.40	184.37	192.20	181.43	183.03
84	193.87	183.87	188.50	184.50	192.37	181.50	183.27
90	193.87	183.87	188.53	184.43	192.40	181.50	183.20
98	193.97	183.97	188.63	184.43	192.50	181.50	183.13
112	194.07	184.07	188.57	184.60	192.63	181.60	183.07
126	194.00	184.03	188.63	184.67	192.67	181.63	183.17
140	194.13	184.03	188.57	184.60	192.73	181.77	183.27
154	194.37	184.13	188.40	184.70	192.87	181.77	183.10
168	194.40	184.23	188.20	184.77	192.90	181.73	182.93
180	194.23	184.30	188.03	184.67	192.90	181.63	182.53
GÜNLER	%WAM4	%W5BM4	%W5CM4	%W5DM4	%W6BM4	%W6CM4	%W6DM4
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.37	0.23	0.02	0.37	-0.23	0.06
28	-0.31	0.47	0.24	0.04	0.53	-0.11	0.11
42	0.22	0.56	0.36	0.10	0.65	-0.09	0.20
56	0.31	0.65	0.50	0.17	0.71	-0.04	0.19
70	0.38	0.70	0.59	0.25	0.79	0.04	0.24
84	0.43	0.80	0.62	0.31	0.90	0.08	0.37
90	0.44	0.78	0.65	0.32	0.95	0.08	0.35
98	0.45	0.86	0.82	0.29	0.94	0.07	0.38
112	0.50	0.91	0.79	0.38	1.01	0.13	0.34
126	0.46	0.89	0.82	0.42	1.03	0.14	0.40
140	0.53	0.89	0.79	0.38	1.07	0.22	0.45
154	0.66	0.95	0.70	0.43	1.14	0.22	0.36
168	0.67	1.00	0.59	0.47	1.15	0.20	0.27
180	0.59	1.04	0.50	0.41	1.15	0.14	0.05



### Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlıklar 40x40x50 mm boyutlu, her grup için 3'er adet numunede 0., 28., 56., 90. ve 180. günlerde yapılmıştır. Deney yapılacağı gün bulunduğu ortamdan alınan numuneler yıkanıp nemli havlu ile kurulandıktan sonra 0.1 gr. duyarlıklı terazide tartılarak ( $W_{sh}$ ) doygun ağırlığı, su içinde tartılarak ( $W_{ss}$ ) ağırlığı belirlenmiştir. Numuneyi su içinde tartmaktaki amaç, Arşimet prensibinden yararlanarak numune hacmini belirlemektir. Bu işlemlerden sonra numuneler  $105 \pm 5^\circ C$ 'de etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler desikatörde oda sıcaklığında soğutulduktan sonra tartılmış ( $W_k$ ) kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Birim ağırlık aşağıdaki bağıntı ile hesaplanarak ortalama değerleri Tablo 3.29, 30, 31, 32, 33'de verilmiştir. Bu değerler şahit harcın 28. gündeki ortalama birim ağırlık değerine oranlanarak bulunan bağıl değerleride aynı tabloların altında verilmiştir.

$$\Delta = W_k / (W_{sh} - W_{ss}) \text{ (gr./cm}^3\text{)} \quad (3.4)$$

$$\Delta = \text{Birim Ağırlık (gr/cm}^3\text{)}$$

$$W_k = \text{Numunenin kuru ağırlığı (gr)}$$

$$W_{sh} = \text{Numunenin suya doygun halde havadaki ağırlığı (gr)}$$

$$W_{ss} = \text{Numunenin suya doygun halde su içindeki ağırlığı (gr)}$$

Grup	0.	28.	56.	90.	180.	Ortalama	Standart Sapma
1	2.129	2.135	2.142	2.138	2.144	2.138	0.007
2	2.155	2.162	2.168	2.164	2.170	2.164	0.005
3	2.171	2.178	2.184	2.180	2.186	2.182	0.004
4	2.197	2.204	2.210	2.206	2.212	2.208	0.003
5	2.223	2.230	2.236	2.232	2.238	2.234	0.002
Ortalama	2.177	2.184	2.190	2.186	2.192	2.188	0.004
6	1.870	1.877	1.883	1.879	1.885	1.881	0.002
7	1.886	1.893	1.899	1.895	1.901	1.897	0.001
8	1.902	1.909	1.915	1.911	1.917	1.913	0.001
9	1.918	1.925	1.931	1.927	1.933	1.929	0.001
10	1.934	1.941	1.947	1.943	1.949	1.945	0.001
Ortalama	1.910	1.917	1.923	1.919	1.925	1.921	0.001



Tablo 3.29 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AS	5BS	5CS	5DS	6BS	6CS	6DS
0	2.0629	2.0245	1.9662	2.0158	2.0600	2.0060	2.0367
28	2.1052	2.0678	1.9996	2.0483	2.0759	2.0466	2.0402
56	2.1002	2.0714	1.9815	2.0240	2.0644	2.0437	2.0424
90	2.1163	2.0384	1.9481	2.0232	2.0834	2.0733	2.0430
180	2.1030	2.0347	1.9137	2.0293	2.0763	2.0811	2.0379
Günler	%AS	%5BS	%5CS	%5DS	%6BS	%6CS	%6DS
0	100.00	98.14	95.32	97.72	99.86	97.25	98.73
28	102.05	100.24	96.93	99.29	100.63	99.21	98.90
56	101.81	100.42	96.05	98.11	100.07	99.07	99.01
90	102.59	98.82	94.44	98.08	101.00	100.50	99.04
180	101.95	98.63	92.77	98.37	100.65	100.88	98.79

Tablo 3.30 Sodyum sülfatın,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AN1	5BN1	5CN1	5DN1	6BN1	6CN1	6DN1
0	2.0629	2.0245	1.9662	2.0158	2.0600	2.0060	2.0367
28	2.0976	2.0488	1.9629	2.0206	2.0780	2.0449	2.0468
56	2.1121	2.0599	1.9849	2.0200	2.0932	2.0583	2.0543
90	2.1175	2.0608	1.9722	2.0169	2.0783	2.0543	2.0503
180	2.1196	2.0619	1.9884	2.0198	2.0985	2.0466	2.0236
Günler	%AN1	%5BN1	%5CN1	%5DN1	%6BN1	%6CN1	%6DN1
0	100.00	98.14	95.32	97.72	99.86	97.25	98.73
28	101.68	99.32	95.15	97.95	100.74	99.13	99.22
56	102.39	99.86	96.22	97.92	101.47	99.78	99.58
90	102.65	99.90	95.60	97.77	100.75	99.58	99.39
180	102.75	99.95	96.39	97.91	101.73	99.21	98.09



Tablo 3.31 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $gr/cm^3$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AN4	5BN4	5CN4	5DN4	6BN4	6CN4	6DN4
0	2.0629	2.0245	1.9662	2.0158	2.0600	2.0060	2.0367
28	2.1095	2.0571	1.9717	2.0207	2.0914	2.0596	2.0163
56	2.1169	2.0575	1.9793	2.0141	2.0880	2.0549	2.0146
90	2.1350	2.0595	1.9687	1.9962	2.0729	2.0531	2.0221
180	2.1383	2.0558	1.9795	1.9965	2.0624	2.0621	2.0211
Günler	%AN4	%5BN4	%5CN4	%5DN4	%6BN4	%6CN4	%6DN4
0	100.00	98.14	95.32	97.72	99.86	97.25	98.73
28	102.26	99.72	95.58	97.95	101.39	99.84	97.74
56	102.62	99.74	95.95	97.64	101.22	99.61	97.66
90	103.50	99.84	95.43	96.77	100.49	99.53	98.02
180	103.66	99.66	95.96	96.78	99.98	99.96	97.97

Tablo 3.32 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $gr/cm^3$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AM1	5BM1	5CM1	5DM1	6BM1	6CM1	6DM1
0	2.0629	2.0245	1.9662	2.0158	2.0600	2.0060	2.0367
28	2.1099	2.0597	1.9696	2.0092	2.0686	2.0605	2.0119
56	2.1331	2.0542	1.9866	2.0012	2.0669	2.0551	2.0310
90	2.1423	2.0627	2.0031	2.0054	2.0701	2.0512	2.0410
180	2.1289	2.0609	1.9656	2.0154	2.0704	2.0593	2.0305
Günler	%AM1	%5BM1	%5CM1	%5DM1	%6BM1	%6CM1	%6DM1
0	100.00	98.14	95.32	97.72	99.86	97.25	98.73
28	102.28	99.85	95.48	97.40	100.28	99.89	97.53
56	103.41	99.58	96.30	97.01	100.19	99.62	98.45
90	103.85	99.99	97.11	97.21	100.35	99.43	98.94
180	103.20	99.90	95.29	97.70	100.36	99.83	98.43

Tablo 3.33 Magnezyum sülfatın,  $\text{SO}_4$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlığı ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AM4	5BM4	5CM4	5DM4	6BM4	6CM4	6DM4
0	2.0629	2.0245	1.9662	2.0158	2.0600	2.0060	2.0367
28	2.0994	2.0647	2.0008	2.0634	2.0759	2.0415	2.0393
56	2.1046	2.0665	2.0098	2.0289	2.0735	2.0497	2.0160
90	2.1062	2.0676	2.0023	2.0290	2.0539	2.0544	2.0195
180	2.1030	2.0526	1.9751	2.0152	2.0539	2.0336	2.0085
Günler	%AM4	%5BM4	%5CM4	%5DM4	%6BM4	%6CM4	%6DM4
0	100.00	98.14	95.32	97.72	99.86	97.25	98.73
28	101.77	100.09	96.99	100.03	100.63	98.96	98.86
56	102.03	100.18	97.43	98.35	100.51	99.36	97.73
90	102.10	100.23	97.07	98.36	99.57	99.59	97.90
180	101.94	99.50	95.75	97.69	99.56	98.58	97.36



### Hacimce Su Emme Deneyi

Birim ağırlığın belirlenmesi için 0., 28., 56., 90. ve 180. günde bütün gruplarda yapılan ölçüm değerlerinden yararlanılarak aşağıdaki bağıntıdan hacimce su emme değerleri bulunmuş ve ortalamaları Tablo 3.34, 35, 36, 37, 38'de verilmiştir. Bağlı değerlerin zamana bağlı değişimi aynı tabloların altında verilmiştir.

$$h_s = (W_{sh} - W_k)100 / (W_{sh} - W_{ss}) \quad (3.5)$$

$h_s$  = Hacimce su emme (%)

$W_k$  = Numunenin kuru ağırlığı (gr)

$W_{sh}$  = Numunenin suya doygun halde havadaki ağırlığı (gr)

$W_{ss}$  = Numunenin suya doygun halde su içindeki ağırlığı (gr)

Tablo 3.34 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağlı değerleri

Günler	AS	5BS	5CS	5DS	6BS	6CS	6DS
0	0.1721	0.1844	0.2131	0.1949	0.1738	0.1895	0.1711
28	0.1855	0.2012	0.2125	0.1745	0.1895	0.1999	0.1958
56	0.1876	0.1981	0.2880	0.2010	0.1939	0.2036	0.1997
90	0.1801	0.2076	0.2980	0.2119	0.1869	0.1929	0.1972
180	0.1859	0.2109	0.2371	0.2069	0.1930	0.1950	0.2016
Günler	%AS	%5BS	%5CS	%5DS	%6BS	%6CS	%6DS
0	100.00	107.11	123.80	113.23	100.94	110.09	99.41
28	107.76	116.89	123.46	101.35	110.07	116.13	113.76
56	108.99	115.06	167.32	116.79	112.63	118.28	116.00
90	104.60	120.60	173.09	123.10	108.56	112.05	114.53
180	108.02	122.52	137.73	120.21	112.14	113.27	117.08

Tablo 3.35 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AN1	5BN1	5CN1	5DN1	6BN1	6CN1	6DN1
0	0.1721	0.1844	0.2131	0.1949	0.1738	0.1895	0.1711
28	0.1786	0.1924	0.2172	0.2037	0.1751	0.1848	0.1901
56	0.1762	0.1883	0.2130	0.2056	0.1749	0.1850	0.1845
90	0.1698	0.1924	0.2152	0.2038	0.1779	0.1890	0.1835
180	0.1735	0.1926	0.2176	0.2074	0.1736	0.1900	0.1987
Günler	%AN1	%5BN1	%5CN1	%5DN1	%6BN1	%6CN1	%6DN1
0	100.00	107.11	123.80	113.23	100.94	110.09	99.41
28	103.74	111.75	126.18	118.35	101.69	107.37	110.42
56	102.36	109.36	123.75	119.43	101.59	107.49	107.17
90	98.66	111.75	125.01	118.41	103.34	109.79	106.59
180	100.78	111.88	126.40	120.48	100.87	110.35	115.41

Tablo 3.36 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AN4	5BN4	5CN4	5DN4	6BN4	6CN4	6DN4
0	0.1721	0.1844	0.2131	0.1949	0.1738	0.1895	0.1711
28	0.1782	0.1852	0.2112	0.1994	0.1723	0.1812	0.1952
56	0.1745	0.1860	0.2117	0.1995	0.1725	0.1847	0.2029
90	0.1688	0.1906	0.2045	0.2017	0.1837	0.1865	0.1902
180	0.1696	0.1973	0.1811	0.2032	0.1868	0.1828	0.1938
Günler	%AN4	%5BN4	%5CN4	%5DN4	%6BN4	%6CN4	%6DN4
0	100.00	107.11	123.80	113.23	100.94	110.09	99.41
28	103.54	107.61	122.68	115.81	100.06	105.26	113.37
56	101.37	108.03	122.98	115.87	100.18	107.29	117.88
90	98.05	110.74	118.78	117.16	106.71	108.36	110.48
180	98.54	114.64	105.22	118.03	108.52	106.21	112.56



Tablo 3.37 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AM1	5BM1	5CM1	5DM1	6BM1	6CM1	6DM1
0	0.1721	0.1844	0.2131	0.1949	0.1738	0.1895	0.1711
28	0.1820	0.1926	0.2073	0.2013	0.1857	0.1874	0.2016
56	0.1780	0.2014	0.2071	0.2049	0.1888	0.1919	0.1903
90	0.1684	0.1975	0.2085	0.2071	0.1848	0.1952	0.1901
180	0.1730	0.1969	0.2134	0.2072	0.1843	0.1918	0.1945
Günler	%AM1	%5BM1	%5CM1	%5DM1	%6BM1	%6CM1	%6DM1
0	100.00	107.11	123.80	113.23	100.94	110.09	99.41
28	105.75	111.90	120.44	116.94	107.85	108.85	117.10
56	103.39	116.99	120.31	119.01	109.69	111.50	110.54
90	97.80	114.72	121.11	120.31	107.34	113.39	110.43
180	100.51	114.38	123.94	120.39	107.07	111.43	113.01

Tablo 3.38 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme değerleri (gr) ve bağıl değerleri (%)

Günler	AM4	5BM4	5CM4	5DM4	6BM4	6CM4	6DM4
0	0.1721	0.1844	0.2131	0.1949	0.1738	0.1895	0.1711
28	0.1781	0.1908	0.2028	0.1631	0.1769	0.1927	0.1839
56	0.1770	0.1917	0.2056	0.1865	0.1790	0.1928	0.1930
90	0.1733	0.1929	0.2100	0.1869	0.1873	0.1922	0.1892
180	0.1785	0.2014	0.2190	0.1947	0.1891	0.1978	0.2043
Günler	%AM4	%5BM4	%5CM4	%5DM4	%6BM4	%6CM4	%6DM4
0	100.00	107.11	123.80	113.23	100.94	110.09	99.41
28	103.47	110.81	117.80	94.73	102.76	111.93	106.83
56	102.82	111.38	119.43	108.34	103.97	111.98	112.11
90	100.65	112.05	121.97	108.60	108.83	111.62	109.91
180	103.72	116.99	127.21	113.08	109.88	114.90	118.67

### Kılcal Su Emme Deneyi

Kılcal su emme deneyi, birim ağırlıkların ve hacimce su emmelerin belirlendiği 40x40x50 mm boyutlu numunelerde 0.,28.,56.,90. ve 180. günlerde tüm gruplar için yapılmıştır. Etüvde  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de değişmez ağırlığa kadar kurutulup, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerin kuru ağırlığı  $W_k$  belirlenmiştir. Su ile temas edecek olan 40x40 mm lik yüzeyi 1/20 verniyer taksimatlı kumpasla ölçülmüş, ortalamaları alınarak yüzeylerin gerçek değerleri hesaplanmıştır. Numuneler su terazisi ile tesviye edilen emaye küvet içindeki cam bagetler üzerine, mala ile düzeltilen yüzeyi üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Deney sırasında numunelerin su ile teması sağlanmıştır. Numuneler, başlangıçtan itibaren 1., 4., 9., 16., 25., 36., 49. ve 64. dakikalarda tartılarak yüzeyden kılcallıkla emdiği su miktarları Q belirlenmiştir. Bu deney tüm gruplar için tekrarlanmıştır. Kılcallık katsayısını belirlemek için Q/F ile  $\sqrt{t}$  arasında lineer regresyon analizi yapılmıştır. Buradan bulunan kılcal su emme katsayısı (K) ortalama değeri Tablo 3.39, 40, 41, 42, 43'de verilmiştir. Bağlı değerlerinin zamana bağlı değişimi aynı tabloların altında verilmiştir.

$$K = (Q/F) / \sqrt{t} \quad (3-6)$$

K : Kılcallık katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ )

Q : Numunenin emdiği su miktarı ( $\text{cm}^3$ )

F : Numunenin kılcal su emme yüzeyi ( $\text{mm}^2$ )

t : Numunenin kılcal su emme zamanı (sn)

Grup	0. gün	28. gün	56. gün	90. gün	180. gün
1	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
2	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
3	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
4	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
5	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
6	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
7	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
8	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
9	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
10	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
11	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
12	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
13	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
14	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
15	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
16	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
17	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
18	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
19	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
20	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
21	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
22	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
23	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
24	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
25	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
26	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
27	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
28	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
29	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
30	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
31	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
32	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
33	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
34	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
35	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
36	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
37	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
38	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
39	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
40	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
41	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
42	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
43	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
44	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
45	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
46	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
47	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
48	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
49	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
50	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
51	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
52	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
53	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
54	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
55	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
56	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
57	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
58	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
59	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
60	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
61	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
62	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
63	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
64	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
65	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
66	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
67	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
68	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
69	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
70	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
71	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
72	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
73	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
74	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
75	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
76	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
77	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
78	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
79	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
80	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
81	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
82	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
83	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
84	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
85	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
86	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
87	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
88	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
89	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
90	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
91	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
92	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
93	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
94	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
95	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
96	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
97	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
98	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
99	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
100	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00





Tablo 3.39 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K=\text{cm}^2/\text{sn}$ ) ve bağıl değeri (%)

Günler	AS	5BS	5CS	5DS	6BS	6CS	6DS
0	1E-09	1E-09	3E-09	1E-09	1E-09	2E-09	9E-10
28	3E-10	5E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	2E-09
56	4E-10	7E-10	2E-09	7E-10	9E-10	6E-10	9E-10
90	5E-10	5E-10	3E-09	1E-09	4E-10	3E-10	1E-09
180	3E-10	2E-10	3E-09	9E-10	2E-10	1E-10	7E-10
Günler	%AS	%5BS	%5CS	%5DS	%6BS	%6CS	%6DS
0	100.00	78.57	185.71	92.86	92.86	128.57	61.43
28	23.57	35.71	100.00	70.00	78.57	64.29	114.29
56	28.57	47.14	107.14	47.86	64.29	41.43	65.00
90	38.57	32.14	178.57	69.29	30.00	17.86	71.43
180	20.00	11.43	178.57	60.71	10.71	7.14	46.43

Tablo 3.40 Sodyum sülfatın,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K=\text{cm}^2/\text{sn}$ ) ve bağıl değeri (%)

Günler	AN1	5BN1	5CN1	5DN1	6BN1	6CN1	6DN1
0	1E-09	1E-09	3E-09	1E-09	1E-09	2E-09	9E-10
28	1E-09	9E-10	9E-10	2E-09	8E-10	6E-10	2E-09
56	5E-10	1E-09	9E-10	2E-09	5E-10	5E-10	1E-09
90	7E-10	5E-10	1E-09	1E-09	2E-10	6E-10	2E-09
180	2E-10	4E-10	1E-09	2E-10	2E-10	2E-10	1E-09
Günler	%AN1	%5BN1	%5CN1	%5DN1	%6BN1	%6CN1	%6DN1
0	100.00	78.57	185.71	92.86	92.86	128.57	61.43
28	71.43	65.71	64.07	135.71	53.57	40.71	157.14
56	37.14	100.00	67.64	150.00	37.14	35.71	100.00
90	50.00	36.43	103.57	85.71	14.29	42.86	128.57
180	17.14	27.86	87.86	16.43	15.00	17.14	85.71

Tablo 3.41 Sodyum sülfatın,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K=\text{cm}^2/\text{sn}$ ) ve bağıl değeri (%)

Günler	AN4	5BN4	5CN4	5DN4	6BN4	6CN4	6DN4
0	1E-09	1E-09	3E-09	1E-09	1E-09	2E-09	9E-10
28	4E-10	6E-10	2E-09	7E-10	3E-10	4E-10	1E-09
56	7E-10	1E-09	2E-09	1E-09	3E-10	6E-10	1E-09
90	1E-09	1E-09	2E-09	8E-10	9E-10	7E-10	2E-09
180	7E-10	2E-09	2E-09	4E-10	2E-09	4E-10	9E-10
Günler	%AN4	%5BN4	%5CN4	%5DN4	%6BN4	%6CN4	%6DN4
0	100.00	78.57	185.71	92.86	92.86	128.57	61.43
28	25.00	43.57	124.29	50.00	24.29	27.14	85.71
56	47.14	85.71	157.86	78.57	24.29	39.29	92.86
90	78.57	71.43	150.00	53.57	62.86	46.43	114.29
180	50.71	114.29	142.86	27.14	114.29	27.86	65.00

Tablo 3.42 Magnezyum sülfatın,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K=\text{cm}^2/\text{sn}$ ) ve bağıl değeri (%)

Günler	AM1	5BM1	5CM1	5DM1	6BM1	6CM1	6DM1
0	1E-09	1E-09	3E-09	1E-09	1E-09	2E-09	9E-10
28	3E-10	6E-10	9E-10	1E-09	9E-10	5E-10	6E-10
56	3E-10	4E-10	1E-09	1E-09	6E-10	3E-10	5E-10
90	5E-10	3E-10	6E-10	5E-10	4E-10	2E-10	4E-10
180	3E-10	2E-10	6E-10	3E-10	6E-10	2E-10	4E-10
Günler	%AM1	%5BM1	%5CM1	%5DM1	%6BM1	%6CM1	%6DM1
0	100.00	78.57	185.71	92.86	92.86	128.57	61.43
28	21.43	42.86	65.71	71.43	66.43	32.86	45.00
56	23.57	25.00	92.86	78.57	45.71	20.00	35.00
90	34.29	23.57	44.29	35.71	28.57	16.43	25.00
180	24.29	16.43	39.29	20.71	44.29	15.00	30.00



Tablo 3.43 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emme katsayısı ( $K = cm^2 / sn$ ) ve bağıl değeri (%)

Günler	AM4	5BM4	5CM4	5DM4	6BM4	6CM4	6DM4
0	1E-09	1E-09	3E-09	1E-09	1E-09	2E-09	9E-10
28	2E-10	5E-10	8E-10	3E-10	7E-10	3E-10	3E-10
56	4E-10	5E-10	8E-10	1E-10	6E-10	3E-10	3E-10
90	6E-10	5E-10	8E-10	2E-10	7E-10	3E-10	6E-10
180	5E-10	6E-10	8E-10	3E-10	1E-09	5E-10	7E-10
Günler	%AM4	%5BM4	%5CM4	%5DM4	%6BM4	%6CM4	%6DM4
0	100.00	78.57	185.71	92.86	92.86	128.57	61.43
28	13.57	32.14	59.29	17.86	47.86	20.71	21.43
56	26.43	35.71	60.00	10.00	39.29	18.57	22.86
90	41.43	35.00	57.86	12.14	52.86	19.29	40.71
180	36.43	45.71	56.43	20.71	70.00	32.14	50.71

### Boy Değişimi Deneyi

Boy değişimini belirlemek için, pim takılarak üretilen 40x40x160 mm boyutlu prizma numunelerin boyları 1/100 mm duyarlıklı komparatör ile ölçülmüştür. ölçümden önce alet standart etalon numuneye göre sıfırlanmıştır. Üretimden sonraki 28. günkü ölçümler başlangıç kabul edilerek, çözeltilerin değiştirildiği 14 günlük aralarda 180. güne kadar düzenli ölçümler yapılmıştır. Suda ve sülfat çözeltilerinde bekletilenlerden başka, külsüz ve 5 serisinden kül katkılı gruplar laboratuvar şartlarında havada bekletilerek aynı günlerde boy ölçümleri yapılmıştır. Boy değişimleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmış, ortalama değerleri Tablo 3.44, 45, 46, 47, 48'de ve havada bekleyenlerin ortalama değerleri Tablo 3.54'de verilmiştir. Bağıl değerlerin zamana bağlı değişimi de aynı tabloların altında verilmiştir.

$$l_D = (l_t - l_0) \times 100 / l_0 \quad (3.7)$$

$l_D$  = Boy Değişimi (mm/m)

$l_t$  = t süredeki numunenin boyu (mm)

$l_0$  = Başlangıçtaki boy (mm)





Tablo 3.44 Su içinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $l_D$ =mm/m) ve bağlı değerleri (%)

GÜNLER	LAS	L5BS	L5CS	L5DS	L6BS	L6CS	L6DS
0	0.982	2.110	-1.453	0.090	-2.540	-5.060	-1.257
14	0.984	2.117	-1.450	0.098	-2.528	-5.040	-1.252
28	0.986	2.123	-1.449	0.105	-2.525	-5.032	-1.250
42	0.990	2.125	-1.448	0.111	-2.524	-5.024	-1.242
56	0.995	2.126	-1.445	0.116	-2.522	-5.022	-1.237
70	0.998	2.129	-1.443	0.117	-2.519	-5.018	-1.238
84	1.000	2.130	-1.442	0.122	-2.517	-5.014	-1.238
90	1.000	2.131	-1.438	0.123	-2.516	-5.012	-1.238
98	1.005	2.130	-1.430	0.125	-2.515	-5.010	-1.235
112	1.008	2.132	-1.420	0.126	-2.512	-5.007	-1.231
126	1.012	2.133	-1.413	0.128	-2.509	-5.005	-1.233
140	1.015	2.137	-1.403	0.131	-2.507	-5.004	-1.225
154	1.017	2.139	-1.396	0.132	-2.505	-5.002	-1.223
168	1.020	2.144	-1.387	0.133	-2.501	-4.998	-1.228
180	1.021	2.145	-1.377	0.134	-2.495	-4.992	-1.227
GÜNLER	%LAS	%L5BS	%L5CS	%L5DS	%L6BS	%L6CS	%L6DS
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.15	0.42	0.21	0.52	0.75	1.25	0.31
28	0.29	0.81	0.27	0.94	0.92	1.75	0.42
42	0.52	0.96	0.35	1.33	1.02	2.27	0.94
56	0.83	1.02	0.50	1.65	1.15	2.40	1.25
70	1.02	1.21	0.65	1.67	1.29	2.60	1.15
84	1.13	1.23	0.69	1.98	1.42	2.90	1.15
90	1.17	1.29	0.94	2.08	1.48	3.00	1.15
98	1.44	1.27	1.46	2.17	1.54	3.15	1.35
112	1.63	1.38	2.06	2.25	1.73	3.29	1.58
126	1.92	1.44	2.50	2.35	1.92	3.42	1.46
140	2.06	1.67	3.13	2.56	2.06	3.50	1.98
154	2.21	1.81	3.56	2.63	2.19	3.65	2.08
168	2.37	2.10	4.17	2.71	2.44	3.88	1.77
180	2.43	2.21	4.79	2.77	2.79	4.25	1.87



Tablo 3.45 Sodyum sülfatın,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $I_D$ =mm/m) ve bağlı değerleri (%)

GÜNLER	LAN1	L5BN1	L5CN1	L5DN1	L6BN1	L6CN1	L6DN1
0	-0.193	-0.855	-3.752	-2.550	0.238	-0.117	-3.610
14	-0.185	-0.847	-3.702	-2.540	0.265	-0.110	-3.600
28	-0.183	-0.841	-3.678	-2.530	0.277	-0.105	-3.583
42	-0.178	-0.836	-3.672	-2.512	0.284	-0.102	-3.550
56	-0.173	-0.832	-3.668	-2.493	0.290	-0.100	-3.523
70	-0.172	-0.828	-3.660	-2.450	0.300	-0.097	-3.500
84	-0.168	-0.824	-3.652	-2.423	0.311	-0.093	-3.473
90	-0.166	-0.818	-3.640	-2.387	0.315	-0.092	-3.460
98	-0.163	-0.810	-3.637	-2.373	0.321	-0.088	-3.450
112	-0.158	-0.800	-3.632	-2.350	0.327	-0.088	-3.437
126	-0.155	-0.793	-3.628	-2.333	0.337	-0.087	-3.430
140	-0.152	-0.786	-3.618	-2.317	0.347	-0.085	-3.427
154	-0.151	-0.777	-3.613	-2.305	0.357	-0.085	-3.413
168	-0.149	-0.767	-3.607	-2.288	0.365	-0.083	-3.402
180	-0.146	-0.756	-3.600	-2.263	0.373	-0.079	-3.388
GÜNLER	%LAN1	%L5BN1	%L5CN1	%L5DN1	%L6BN1	%L6CN1	%L6DN1
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.52	0.52	3.12	0.63	1.67	0.42	0.62
28	0.63	0.85	4.60	1.25	2.42	0.73	1.67
42	0.94	1.19	4.96	2.40	2.88	0.94	3.75
56	1.25	1.42	5.21	3.54	3.23	1.04	5.42
70	1.35	1.69	5.73	6.25	3.83	1.25	6.88
84	1.58	1.96	6.25	7.92	4.52	1.46	8.54
90	1.71	2.31	6.98	10.21	4.79	1.56	9.37
98	1.92	2.79	7.19	11.04	5.15	1.77	10.00
112	2.21	3.44	7.50	12.50	5.52	1.77	10.83
126	2.40	3.90	7.71	13.54	6.15	1.88	11.25
140	2.56	4.33	8.33	14.58	6.77	1.98	11.46
154	2.67	4.90	8.65	15.31	7.40	1.98	12.29
168	2.79	5.52	9.06	16.35	7.92	2.08	13.02
180	2.98	6.19	9.48	17.92	8.42	2.33	13.85



Tablo 3.46 Sodyum sülfatın,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $I_D$ =mm/m) ve bağıl değerleri (%)

GÜNLER	LAN4	L5BN4	L5CN4	L5DN4	L6BN4	L6CN4	L6DN4
0	-2.515	0.792	0.962	-1.680	-2.247	-0.172	-2.713
14	-2.512	0.918	0.997	-1.673	-2.175	-0.163	-2.690
28	-2.510	0.922	0.998	-1.650	-2.167	-0.162	-2.667
42	-2.505	0.922	1.005	-1.590	-2.122	-0.157	-2.613
56	-2.500	0.960	1.005	-1.553	-2.097	-0.155	-2.608
70	-2.497	0.997	1.010	-1.520	-2.078	-0.155	-2.583
84	-2.498	1.003	1.013	-1.507	-2.043	-0.145	-2.563
90	-2.495	1.007	1.015	-1.493	-2.023	-0.143	-2.542
98	-2.487	1.022	1.017	-1.500	-1.972	-0.140	-2.523
112	-2.475	1.028	1.022	-1.497	-1.937	-0.138	-2.510
126	-2.477	1.033	1.023	-1.497	-1.913	-0.135	-2.503
140	-2.467	1.042	1.028	-1.482	-1.852	-0.132	-2.483
154	-2.458	1.047	1.032	-1.482	-1.850	-0.127	-2.447
168	-2.458	1.055	1.037	-1.467	-1.833	-0.125	-2.395
180	-2.453	1.063	1.042	-1.460	-1.820	-0.120	-2.360
GÜNLER	%LAN4	%L5BN4	%L5CN4	%L5DN4	%L6BN4	%L6CN4	%L6DN4
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.21	7.92	2.19	0.42	4.48	0.52	1.46
28	0.31	8.12	2.29	1.88	5.00	0.63	2.92
42	0.63	8.13	2.71	5.63	7.81	0.94	6.25
56	0.94	10.52	2.71	7.92	9.38	1.04	6.56
70	1.15	12.81	3.02	10.00	10.52	1.04	8.13
84	1.04	13.23	3.23	10.83	12.71	1.67	9.38
90	1.25	13.44	3.33	11.67	13.96	1.77	10.73
98	1.77	14.38	3.44	11.25	17.19	1.98	11.88
112	2.50	14.79	3.75	11.46	19.38	2.08	12.71
126	2.40	15.10	3.85	11.46	20.83	2.29	13.13
140	3.02	15.63	4.17	12.40	24.69	2.50	14.38
154	3.54	15.94	4.38	12.40	24.79	2.81	16.67
168	3.54	16.46	4.69	13.33	25.83	2.92	19.90
180	3.85	16.98	5.00	13.75	26.67	3.23	22.08

Tablo 3.47 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10.000 mg/L olan çözeltilisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $l_D$ =mm/m) ve bağıl değerleri (%)

GÜNLER	LAM1	L5BM1	L5CM1	L5DM1	L6BM1	L6CM1	L6DM1
0	-1.928	0.797	0.185	-1.733	-2.477	0.713	-3.433
14	-1.930	0.788	0.183	-1.753	-2.513	0.700	-3.497
28	-1.932	0.793	0.185	-1.757	-2.487	0.717	-3.533
42	-1.930	0.798	0.188	-1.722	-2.466	0.718	-3.487
56	-1.910	0.809	0.190	-1.715	-2.430	0.723	-3.447
70	-1.910	0.811	0.197	-1.705	-2.390	0.724	-3.397
84	-1.908	0.816	0.210	-1.710	-2.342	0.727	-3.347
90	-1.908	0.819	0.217	-1.707	-2.287	0.732	-3.302
98	-1.910	0.823	0.218	-1.710	-2.257	0.737	-3.247
112	-1.902	0.826	0.222	-1.705	-2.223	0.742	-3.202
126	-1.902	0.826	0.232	-1.697	-2.183	0.742	-3.171
140	-1.892	0.828	0.235	-1.683	-2.117	0.748	-3.164
154	-1.885	0.828	0.240	-1.680	-2.062	0.750	-3.136
168	-1.886	0.826	0.240	-1.680	-2.057	0.767	-3.123
180	-1.889	0.824	0.236	-1.680	-2.050	0.767	-3.122
gunler	%LAM1	%L5BM1	%L5CM1	%L5DM1	%L6BM1	%L6CM1	%L6DM1
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	-0.10	-0.52	-0.10	-1.25	-2.29	-0.85	-3.96
28	-0.21	-0.21	0.00	-1.46	-0.63	0.21	-6.25
42	-0.10	0.10	0.21	0.73	0.67	0.31	-3.33
56	1.15	0.75	0.31	1.15	2.92	0.63	-0.83
70	1.15	0.87	0.73	1.77	5.42	0.67	2.29
84	1.25	1.21	1.56	1.46	8.44	0.83	5.42
90	1.25	1.40	1.98	1.67	11.88	1.15	8.23
98	1.15	1.67	2.08	1.46	13.75	1.46	11.67
112	1.67	1.81	2.29	1.77	15.83	1.77	14.48
126	1.67	1.83	2.92	2.29	18.33	1.77	16.38
140	2.29	1.94	3.13	3.12	22.50	2.19	16.81
154	2.71	1.98	3.44	3.33	25.94	2.29	18.60
168	2.63	1.83	3.44	3.33	26.25	3.33	19.42
180	2.48	1.69	3.19	3.33	26.67	3.33	19.46



Tablo 3.48 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40.000 mg/L olan çözeltisinde saklanan A, 5 ve 6 serisi harçların boy değişimi ( $l_D$ =mm/m) ve bağıl değerleri (%)

GÜNLER	LAM4	L5BM4	L5CM4	L5DM4	L6BM4	L6CM4	L6DM4
0	0.328	1.537	1.203	1.510	-2.847	0.432	-0.450
14	0.325	1.532	1.196	1.500	-2.850	0.420	-0.462
28	0.323	1.543	1.199	1.512	-2.845	0.450	-0.415
42	0.322	1.558	1.222	1.535	-2.837	0.450	-0.417
56	0.326	1.562	1.233	1.545	-2.840	0.457	-0.412
70	0.330	1.567	1.237	1.553	-2.833	0.465	-0.395
84	0.348	1.575	1.245	1.552	-2.840	0.475	-0.407
90	0.348	1.582	1.248	1.553	-2.837	0.478	-0.398
98	0.348	1.597	1.253	1.558	-2.837	0.483	-0.387
112	0.355	1.607	1.257	1.577	-2.825	0.485	-0.380
126	0.357	1.613	1.262	1.573	-2.818	0.490	-0.373
140	0.362	1.627	1.267	1.585	-2.810	0.493	-0.363
154	0.365	1.638	1.270	1.585	-2.803	0.498	-0.357
168	0.370	1.647	1.270	1.588	-2.793	0.498	-0.352
180	0.373	1.667	1.270	1.592	-2.785	0.498	-0.352
GÜNLER	%LAM4	%L5BM4	%L5CM4	%L5DM4	%L6BM4	%L6CM4	%L6DM4
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	-0.21	-0.30	-0.44	-0.62	-0.21	-0.73	-0.73
28	-0.31	0.40	-0.28	0.10	0.10	1.15	2.19
42	-0.42	1.35	1.15	1.56	0.63	1.13	2.08
56	-0.13	1.56	1.88	2.19	0.44	1.56	2.40
70	0.10	1.88	2.08	2.71	0.83	2.08	3.44
84	1.25	2.40	2.60	2.60	0.42	2.71	2.71
90	1.25	2.81	2.81	2.71	0.63	2.92	3.23
98	1.25	3.75	3.13	3.02	0.63	3.23	3.96
112	1.67	4.38	3.33	4.17	1.35	3.33	4.37
126	1.77	4.79	3.65	3.96	1.77	3.65	4.79
140	2.08	5.62	3.96	4.69	2.29	3.85	5.42
154	2.29	6.35	4.17	4.69	2.71	4.17	5.83
168	2.60	6.88	4.17	4.90	3.33	4.17	6.15
180	2.81	8.12	4.17	5.10	3.85	4.17	6.15

### X-Işını Difraktometresi incelemesi

Suda ve 40000 mg/L  $SO_4$  konsantrasyonlu sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerinde bekletilen harçların 90. günde mekanik deneyleri yapıldıktan sonra kırılan parçalardan numune alınmış ve toz haline getirilmiştir. Toz numuneler 0.25 mm'lik elekte elenmiştir. Bu tozlarda (1316/90) Philips marka Cu hedefli  $K_\alpha$  radyasyonlu X- Işını Difraktometresi kullanılarak X-Işını Difraksiyon analizi diyagramları,  $2\theta$   $6^\circ$ -  $70^\circ$  aralığında kaydedilmiştir. Elde edilen verilere göre fazların karakteristik piklerine ait d değerleri aşağıdaki bağıntı ile belirlenmiştir. Bulunan d değerlerine karşılık gelen oksit bileşikler d değerleri ile birlikte difraktogramları üzerinde Şekil E.5'(a,b,c,d,e,f,g,h,ı)'de verilmiştir.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.8)$$

Birlikler	Å	nm	Å	nm	Å	nm	Å	nm
$\lambda$ = Monokromatik dalga boyu (Cu hedef için $1.54\text{Å}$ )								
n = Sabit sayı (1 alınmıştır)								
d = rediküler uzaklık								
$\theta$ = Işın gelme açısı								
$SO_2$	2.15	0.19	0.92	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
$SO_3$	2.41	0.21	1.04	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
$SO_4$	2.87	0.26	1.25	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
$CaO$	3.15	0.28	1.35	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21

### Elektron Mikroskobu incelemesi

Suda ve 40000 mg/L  $SO_4$  konsantrasyonlu sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerinde bekletilen harçların 90. ve 180.günde mekanik deneyleri yapıldıktan sonra kırılan parçalardan alınan küçük harç numunelerinde, ince kesit numuneler altınla kaplanarak 733 JEOL marka Elektron Mikroprob'da alan taraması yapılarak harçlara ait elementlerin miktarı belirlenmiş, aynı alandan difraktogram alınmış, 40 ile 2000 oranında büyütülerek fotoğrafları çekilmiştir.

Element değerleri Tablo 3.49, 50'de, iç yapı resimleri Şekil E.6 (a,b,c,d,e,f)'da verilmiştir.





### 3.4.3. Kimyasal deneyler

Sertleşmiş harçlarda kimyasal deneyler, Suda ve 40000 mg/L  $SO_4^-$  konsantrasyonlu sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerinde bekletilen harçların 90. günde mekanik deneylerde kırılan numunelerden alınan parçalarda yapılmıştır. Alınan parçalar ezilmiş,

havanda dövülerek inceltilmiş ve 0.25 mm elekten elenerek alta geçen malzemedan 20 gr. toz numune alınmıştır. Bu numune TS 26'ya göre hazırlanmış süzüntüde, 537 WTW micro procesor marka pH metre ile süzüntünün pH'ı ölçülmüş, sonra aynı süzüntüde  $CaO$  ve  $OH^-$  iyonları da tayin edilmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.51,52,53'de verilmiştir.

Tablo 3.49 90. gündeki harçlarda SEM' ile iç yapı analiz değerleri

Bileşikler	AS*	AN4	5DN4	6DN4	AM4	5DM4	6DM4
$Na_2O$	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$MgO$	1.75	0.64	2.16	0.00	0.00	0.80	1.12
$Al_2O_3$	4.83	5.57	7.43	1.14	3.24	5.63	4.88
$SiO_2$	37.08	32.14	43.22	96.99	15.35	24.98	31.73
$SO_3$	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$K_2O$	0.18	0.24	5.21	0.35	0.89	5.14	5.10
$CaO$	52.78	58.60	40.35	1.05	79.31	58.58	52.24
$TiO_2$	0.00	0.00	0.32	0.00	1.20	0.00	0.00
$FeO$	1.72	2.81	1.32	0.47	0.00	4.88	4.93

\*A=Külsüz, S= suda bekleyen, N4= $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000mg/L  $Na_2SO_4$ , M4=  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000mg/L çözeltilde bekleyen, 5=570°C elde edilen küllü, 6= 670°C elde edilen küllü, D=%24 kül katkılı.

Tablo 3.50 180. gündeeki harçlarda SEM' ile iç yapı analiz değerleri

Bileşikler	AS	AN4	5DN4	6DN4	AM4	5DM4	6DM4
Na <sub>2</sub> O	0.76	0.00	1.03	0.00	0.80	2.40	0.00
MgO	0.73	0.76	2.12	1.20	1.44	2.40	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.41	4.98	4.31	4.39	5.04	4.97	4.43
SiO <sub>2</sub>	32.01	43.15	48.86	47.09	34.52	26.13	26.29
SO <sub>3</sub>	0.00	1.10	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.94	0.27	3.34	4.03	0.26	2.71	3.11
CaO	55.70	47.25	38.58	41.41	55.23	58.57	61.22
TiO <sub>2</sub>	0.20	0.18	0.00	0.00	0.41	0.22	0.83
FeO	2.26	2.31	1.77	1.87	1.87	2.60	4.12

Tablo 3.51 Suda saklanan küllü ve külsüz grubun 90. gündeeki CaO, OH<sup>-</sup> ve pH değerleri

Numune adı	CaO m.mol/L.	OH <sup>-</sup> m.mol/L.	pH
AS	31.20	38	12.57
5BS	26.70	40	12.68
6BS	26.10	38	12.68
5CS	14.60	50	12.70
6CS	14.10	44	12.70
5DS	10.20	47	12.80
6DS	13.70	44	12.78



Tablo 3.52  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L. olan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  çözeltisinde saklanan küllü ve külsüz grubun 90. gündeki CaO,  $\text{OH}^-$  ve pH değerleri

Numune adı	CaO m.mol/L.	$\text{OH}^-$ m.mol/L.	pH
AN4	30.40	40	12.68
5BN4	17.90	36	12.65
6BN4	10.40	46	12.52
5CN4	14.10	46	12.80
6CN4	12.25	48	12.80
5DN4	7.80	50	12.75
6DN4	7.50	48	12.80

Tablo 3.53  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L. olan  $\text{MgSO}_4$  çözeltisinde saklanan küllü ve külsüz grubun 90. gündeki CaO,  $\text{OH}^-$  ve pH değerleri

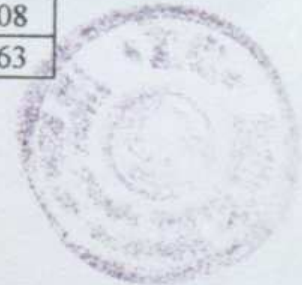
Numune adı	CaO m.mol/l.	$\text{OH}^-$ m.mol/l.	pH
AM4	32.10	40	12.70
5BM4	19.60	32	12.60
6BM4	18.90	35	12.70
5CM4	15.10	42	12.77
6CM4	14.60	38	12.65
5DM4	10.20	41	12.70
6DM4	10.90	47	12.50



Şekil 3.6 Si- K $\alpha$  X- Ray haritası

Tablo 3.54 Havada bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi

Günler	Iah	I5bh	I5ch	I5dh
0	0.000	0.000	0.000	0.000
14	-3.437	-13.438	-2.500	-6.250
28	-4.063	-14.896	-4.271	-8.229
42	-6.458	-16.667	-6.875	-10.833
56	-6.875	-16.979	-7.396	-11.563
70	-7.188	-17.813	-8.125	-12.292
84	-7.604	-18.458	-8.229	-12.708
90	-8.021	-19.688	-8.854	-13.333
98	-9.063	-20.938	-9.271	-13.854
112	-10.417	-22.292	-9.479	-15.208
126	-10.938	-23.646	-9.792	-16.458
140	-12.917	-24.896	-10.104	-17.708
154	-15.104	-26.146	-10.375	-18.750
168	-14.896	-24.896	-10.208	-17.708
180	-11.563	-23.542	-10.000	-16.563





#### 4.0. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Malzemeleri, üretimi, eskitme süreci ve kontrol deneyleri Bölüm 3’de verilen deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi bu bölümde yapılmıştır. Bu bölümde, taze harç özelliklerinden yayılma, birim ağırlık, sertleşmiş harç özelliklerinden basınç ve eğilme dayanımı, ağırlık ve boy değişimleri, kılcallık ve hacimce su emme, birim ağırlık ve mikro yapı incelemesinin sonuçları değerlendirilmiş ve irdelenmiştir.

##### 4.1. Taze harç özelliklerinin değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Taze harçlarda yayılma, Tablo 3.13’de görüldüğü gibi kül miktarına bağlı olarak su miktarı artmaktadır. Bu bulgu, külün çimentodan daha ince oluşu nedeniyle yoğurma suyu ihtiyacının artmasına bağlanabilir. Sap yakma sıcaklığının çok az da olsa yayılmaya etki ettiği görülmüştür. Yani 5 serisi harçlarda yayılma değerinin, 6 serisine göre daha fazla olması 5 serisi külün özgül yüzeyinin azda olsa 6 serisinin özgül yüzeyinden küçük olmasına bağlanabilir.

Tablo 3.13 de taze harçlarda birim ağırlık sonuçları incelendiğinde, her iki seride de kül miktarının artmasıyla birim ağırlığın azaldığı görülür. Bu azalmanın külün özgül ağırlığından kaynaklanmış olabileceği söylenebilir.

##### 4.2. Sertleşmiş harç özelliklerinin değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Araştırmada, buğday sapı yakma sıcaklığı 570°C (5 serisi) ve 670°C (6 serisi) olan küllerde, kül miktarı %0=A, %8=B, %16=C, %24=D olan harçlar üretilmiştir. Üretilen harçlar su içinde 0., 28., 56., 90. ve 180. günlerde bekletildikten sonra sertleşmiş harç özelliği olarak eğilme, basınç dayanımları saptanmış, eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.14,15,16,17,18’de, basınç dayanımı sonuçları ise Tablo 3.19,20,21,22,23’de verilmiştir. Bu tablolarda verilen bağıl değerlerle çizilen grafiklerin değerlendirilmesi ve irdelenmesi aşağıda verilmiştir.

#### 4.2.1. Mekanik deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan katkılı ve katkısız harçlarda yapılan eğilme ve basınç deneylerinin sonuçları zamana, kül oranına ve yakma sıcaklığına göre her ortam için incelenmiş, sonuçlar aşağıda verilmiştir. Ayrıca mekanik deneylerin 180. gündeki sonuçları özet olarak Tablo 4.1’de topluca verilmiştir.

##### 4.2.1.1. Eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan katkısız ve kül katkılı harçların eğilme dayanımlarının zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Ayrıca, 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi, buğday sapı yakma sıcaklığına göre de, 5 ve 6 serisi karşılaştırılmıştır. Su içinde bekleyen A, 5 ve 6 serisi harçların eğilme dayanımının zamanla değişimi grafiği Şekil 4.1,2’de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.3,4,5’dedir. Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.6,7’de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.8,9,10’da; Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.11,12’de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.13,14,15’de; magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.16,17’de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.18,19,20’de; magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.21,22’de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği ise Şekil 4.23,24,25’de verilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.



### Suda saklanan gruplar

Suda saklanan %0 kül katkılı şahit harcın eğilme dayanımında 180. günde başlangıçtaki değerine göre %16'lık bir düşüş görülmüştür.

570°C'de elde edilen kül katkılı harçların suda saklanan grubunda, Şekil 4.1,3 ve 4 incelendiğinde, görüldüğü gibi kül katkılı harçların (%8:5BS, %16:5CS, %24:5DS) başlangıçtaki eğilme dayanımları, şahit harca göre, 5BS grubununki %76, 5CS grubununki %66, 5DS'ninki ise %84 değerindedir. Bu grupların eğilme dayanımında 180. gün sonunda 5BS'de %3, 5CS'de %4'lük artış olmuş, 5DS grubunda ise %5'lik azalma görülmüştür.

670°C'de elde edilen kül katkılı harçların suda saklanan grubunda Şekil 4.2,3 ve 4 incelendiğinde, kül katkılı (%8: 6BS, %16: 6CS, %24: 6DS) harçların başlangıçtaki eğilme dayanımları, şahit harca göre, 6BS grubununki %103, 6CS grubununki %99, 6DS'ninki ise %73 değerindedir. Bu grupların eğilme dayanımında 180. gün sonunda, 6BS'de %15, 6CS'de %18'lik düşüş, 6DS grubunda ise %10'luk artış olmuştur.

Kül oranı bakımından suda saklanan gruplardan 5 serisinin %8 ve %16 katkılı gruplarında, 6 serisinin ise %24 katkılı grubunun eğilme dayanımında artış görülmüştür. Bu gruplar için etkin kül oranının 6 serisinde %24 olduğu görülmektedir. 5 Serisindeki artışlar anlamlı olmadığı için etkin kül oranı önerilememiştir.

Yakma sıcaklığının etkisi bakımından, 5ve 6 serisi harçların 180. gündeki eğilme dayanımları karşılaştırıldığında Şekil 4.5'de görüldüğü gibi her iki seri harcın birbirine benzer olduğu, ancak 6 serisi harç gruplarının eğilme dayanımı değerleri 5 serisi harçların eğilme dayanımı değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

### Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar

SO<sub>4</sub><sup>-</sup> konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) çözeltisinde saklanan grupların eğilme deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.6,7'de görüldüğü gibi, katkısız harcın başlangıç değeri %100, katkılı harçların başlangıç değerleri 5BN1 %76, 5CN1 %66, 5DN1 %84 dır. 28. günden sonra sülfatta saklanan katkısız harcın 180. gün

sonunda eğilme dayanımında %6'lık artış olmuştur. Küllü harçların başlangıç değerine göre 180. günün sonunda eğilme dayanımında, her üç grubunda da artış görülmüştür. Bu artışlar, 5BN1'de %42, 5CN1'de %20, 5DN1'de ise %1 dir. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde başlangıç değerleri, 6BN1 de %103, 6CN1 de %99, 6DN1 de %73 dür. 180. günün sonunda bu serinin'de her üç grubunda eğilme dayanımında artış görülmüştür. Artış değerleri sırasıyla 6BN1 grubunda %12, 6CN1 grubunda %6, 6DN1 grubunda %18 dir.

$SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen katkısız ve kül katkılı harçların eğilme dayanımları zamanla artış göstermiştir. Bu artış şahit harçta 180. günde %6 iken, 5 serisinin 5B grubunda %42 değerindedir. Ayrıca şahit harçtaki artış 90. günden sonra düşme eğilimi gösterirken, küllü harçlarda 180. güne kadar eğilme dayanımında sürekli artış görülmektedir.

Bu grupta etkin kül oranının 5 serisinde %8 iken, 6 serisinde %24 olduğu Şekil 4.8,9'da görülmektedir.

Yakma sıcaklığı bakımından her iki seride de eğilme dayanımı yönünden benzer davranış görülmüş, ancak 6 serisinde Şekil 4.10'da görüldüğü gibi kararlı artış olmuştur.

$SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların eğilme dayanımları incelendiğinde, Şekil 4.11,12'de görüldüğü gibi, katkısız harcın başlangıç değeri %100, kül katkılı harçların başlangıç değeri 5BN4 %76, 5CN4 %66, 5DN4 %84 dür. 28. günden sonra sülfatta saklanan katkısız harcın 180. gün sonunda eğilme dayanımında %13'lük düşüş olmuştur. Küllü harçların başlangıç değerine göre 180. günün sonunda eğilme dayanımında, 5BN4 grubunda %17, 5CN4 grubunda %29'luk artış, 5DN4 grubunda ise %6'lık azalma görülmüştür. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde başlangıç değerleri, 6BN4 de %103, 6CN4 de %99, 6DN4 de %73 dür. 180. günün sonunda ise 6BN4 grubunda %5, 6CN4 grubunda %6'lık düşüş, 6DN4 grubunda ise %3 artış görülmüştür.

$SO_4$  konsantrasyonu 10000 ve 40000 mg/L olan sodyum sülfat çözeltisinde saklanan katkısız harçların eğilme dayanımında zamanla düşüş görülmüştür.





Küllü harçlarda 5 serisinin 5B ve 5C gruplarında eğilme dayanımı zamanla artmış, 5D grubunda ise azalmıştır. 6 serisinin 6B ve 6C grubu harçlarda düşme, 6D grubu harçlarda ise artış olmuştur.

Kül oranı ve yakma sıcaklığı bakımından Şekil 4.13,14 ve 15 incelendiğinde, sodyum sülfat etkisine karşı dayanıklılık bakımından etkin kül oranının 5 serisinde %16, 6 serisinde ise %24 olduğu görülmektedir.

Neville (1977) ve Piesta (1989) Sülfatlı ortamda saklanan küllü harçların eğilme dayanımının, su içinde saklanan harçlara göre daha yüksek olabileceğini ve bu artışın sebebi olarak da beton ya da harçların boşluklarında oluşan kristallerden ileri gelebileceğini belirtmişlerdir.

#### **Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanan gruplar**

$SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların eğilme deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.16,17'de görüldüğü gibi, katkısız harcın başlangıç değeri %100, kül katkılı harçların başlangıç değerleri 5BM1 %76, 5CM1 %66, 5DM1 %84 dür. 28. günden sonra sülfatta saklanan katkısız harcın 180. gün sonunda eğilme dayanımında %23'lük artış olmuştur. Küllü harçların başlangıç değerine göre 180. günün sonunda eğilme dayanımında, 5BM1'de %48, 5CM1'de %13'lük artış, 5DM1'de ise %5'lik düşüş olmuştur. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde başlangıç değerleri, 6BM1 de %103, 6CM1 de %99, 6DM1 de %73 dür. 180. günün sonunda bu serinin'de her üç grubunda eğilme dayanımında artış görülmüştür. Artış değerleri sırasıyla 6BM1 grubunda %14, 6CM1 grubunda %12, 6DM1 grubunda ise %16 dir.

$SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat çözeltisinde saklanan şahit harcın eğilme dayanımında zamanla artış olmuştur. Küllü harçlarda 5 serisinin 5B ve 5C gruplarında artış, 5D grubu harçlarda düşüş görülmüştür. 6 serisi harçların her üç grubunda eğilme dayanımı zamanla artış göstermiştir. Ancak şahit harçta 90.güne kadar düşme, 90.günden sonra 180.güne kadar artış olmuştur. Küllü harçların her iki serisinin C grubu harçlarda 28.günden itibaren 180.güne kadar artışın sürmekte olduğu görülmüştür.

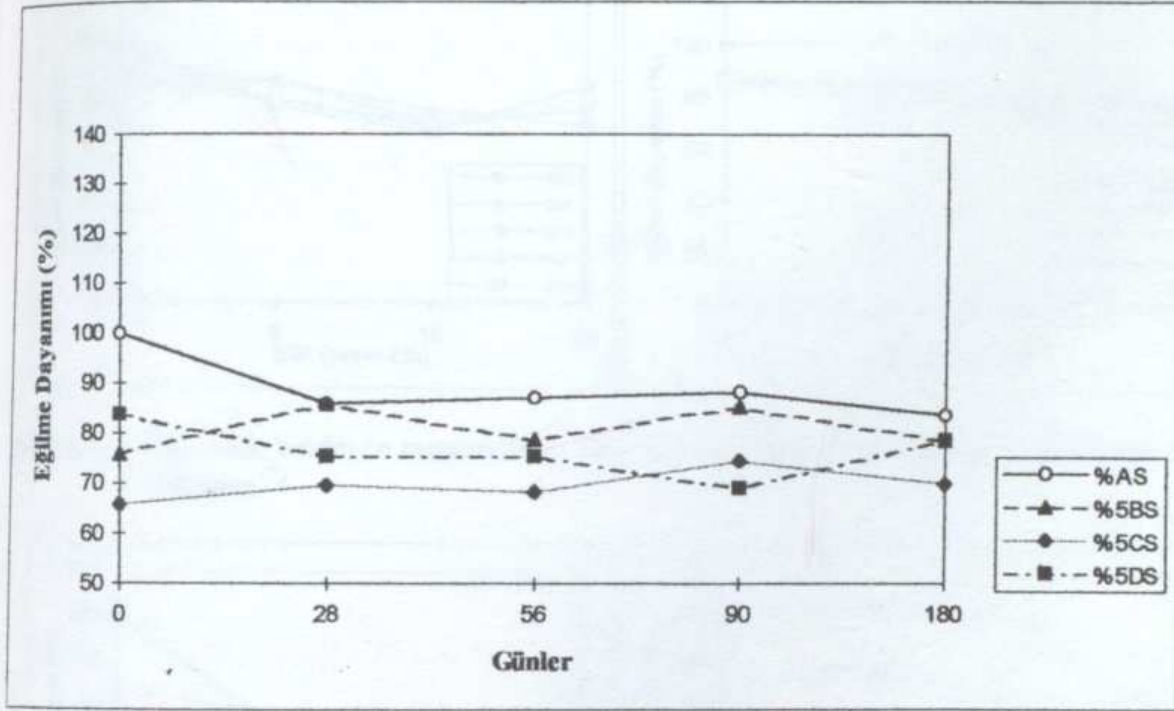
Kül oranı ve yakma sıcaklığı bakımından Şekil 4.18,19 ve 20 incelendiğinde, etkin kül oranının her iki seride de %8 olduğu görülmektedir.  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/l olan magnezyum sülfat etkisindeki gruplarda yakma sıcaklığının önemli etkisi görülmemiştir.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların eğilme dayanımları incelendiğinde, Şekil 4.21,22'de görüldüğü gibi, katkısız harcın başlangıç değeri %100, kül katkılı harçların başlangıç değerleri 5BM4 %76, 5CM4 %66, 5DM4 %84 dür. 28.günden sonra sülfatta saklanan katkısız harcın 180.gün sonunda eğilme dayanımında %24'lük artış olmuştur. Küllü harçların başlangıç değerine göre 180.günün sonunda eğilme dayanımında, 5BM4 grubunda %28, 5CM4 grubunda %20'lik artış, 5DM4 grubunda ise %0 değişme gözlenmemiştir. Aynı çözeltide saklanan 6-serisinde başlangıç değerleri, 6BM4 de %103, 6CM4 de %99, 6DM4 de %73 dür. 180.günün sonunda her üç grubunda da artış görülmüştür. Bu artışlar sırası ile 6BM4 grubunda %8, 6CM4 grubunda %31, 6DM4 grubunda ise %1 dir

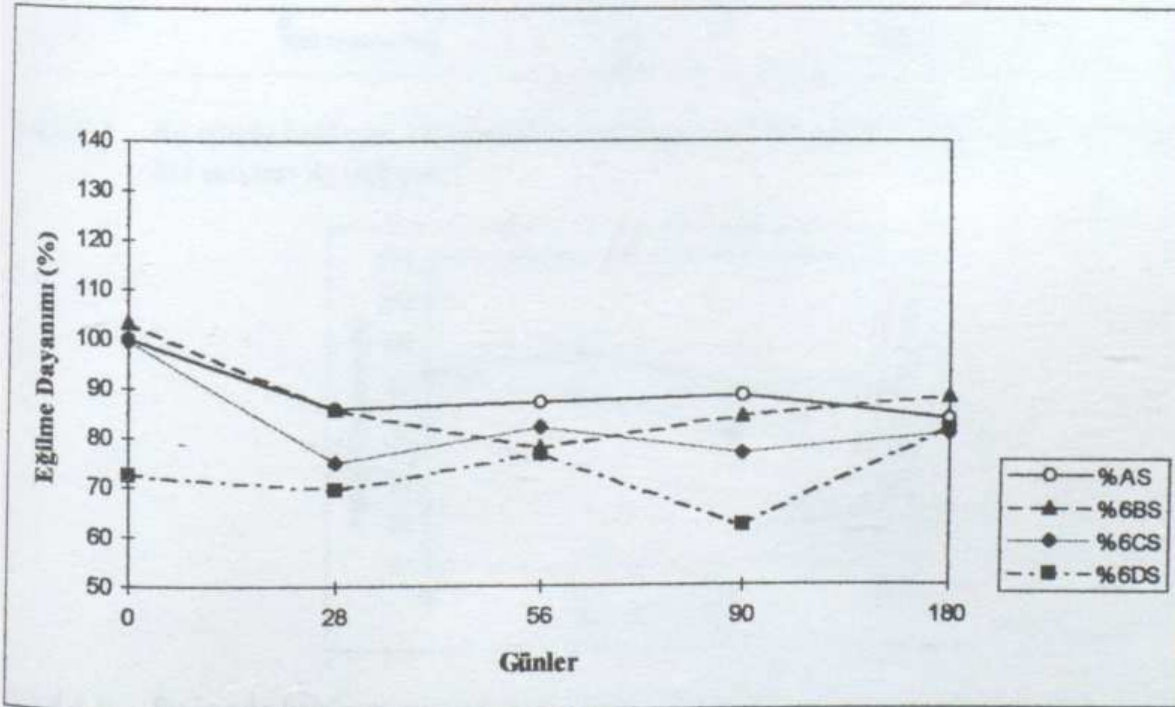
$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat çözeltisinde saklanan harçların bütün gruplarının eğilme dayanımları zamanla artmıştır. Ancak 5 serisinin 5D grubu harçlarda değişme görülmemiştir. Şahit harcın sülfattaki artışı başlangıca göre % 28 iken, 6 serisinin 6C grubu harçlarda artış % 31 dir. Ancak artışlar şahit harçta 90.günde başlayıp 180.günde de sürme eğilimindedir. Kül katkılı 6C grubu harçlarda 28.günde başlayıp, 180.güne kadar artışın sürdüğü, diğer her iki serinin tüm gruplarında 56. veya 90.günden sonra azalma eğilimi gözlenmiştir.

Bu grupta yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından Şekil 4.23,24 ve 25 incelendiğinde, etkin kül oranının 5 serisinde %8, 6 serisinde %16 olduğu görülür. Her iki yakma sıcaklığındaki küllü harçların davranışı benzerdir.

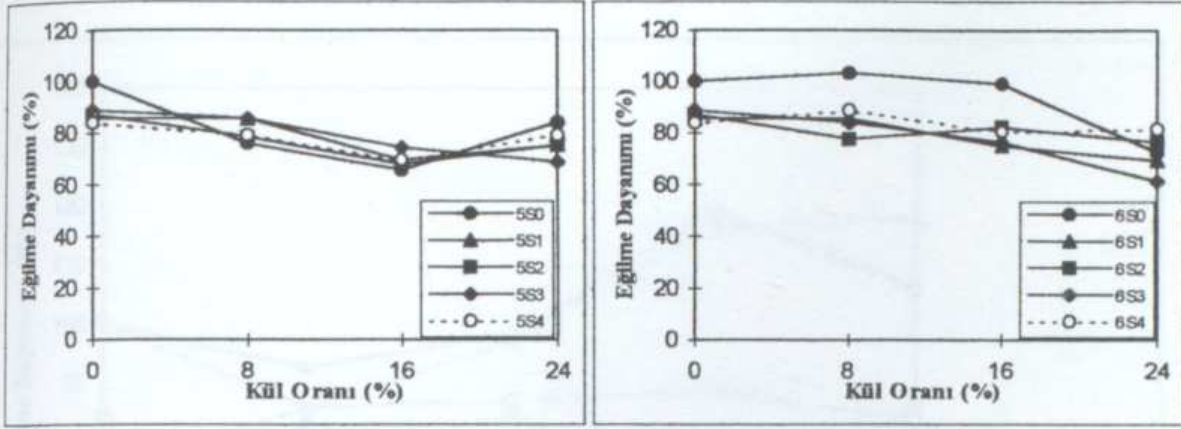




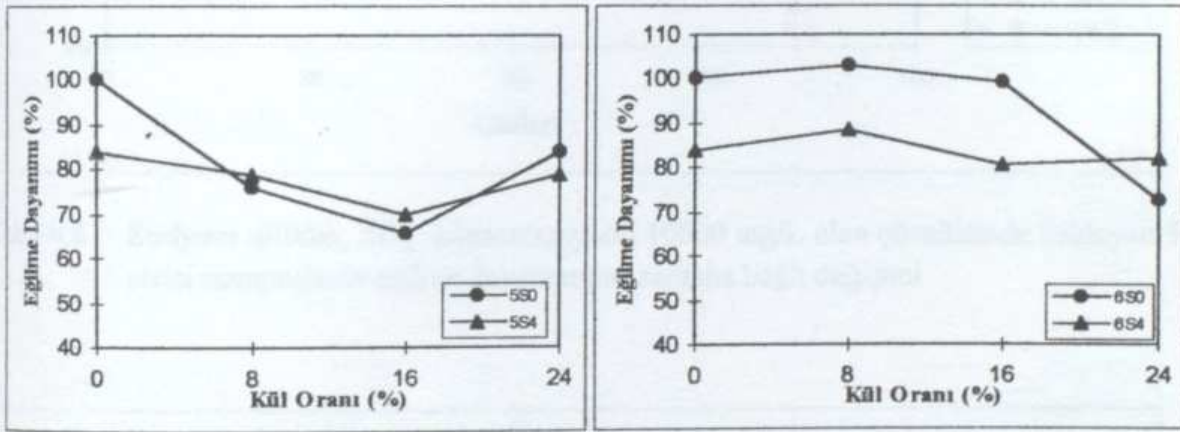
Şekil 4.1 su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi



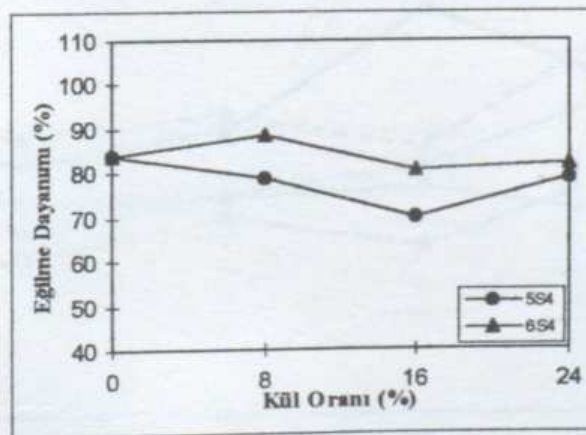
Şekil 4.2 Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.3 Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi (\*)



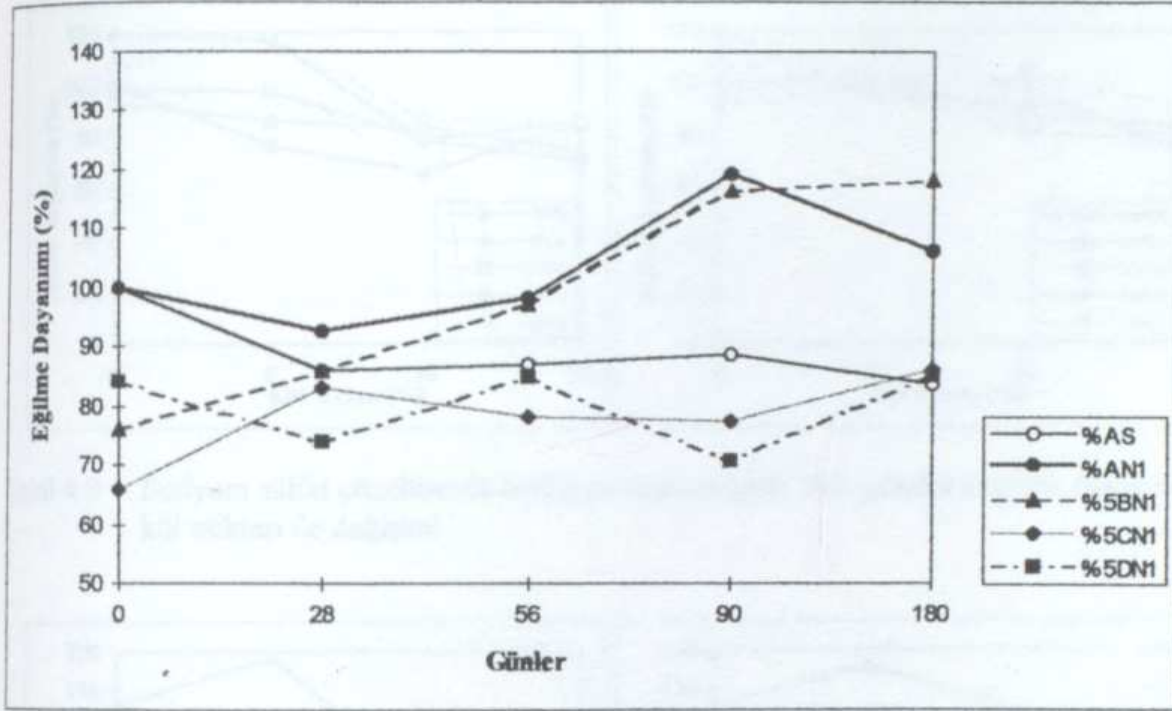
Şekil 4.4 Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki eğilme dayanımlarının kül miktarı ile değişimi



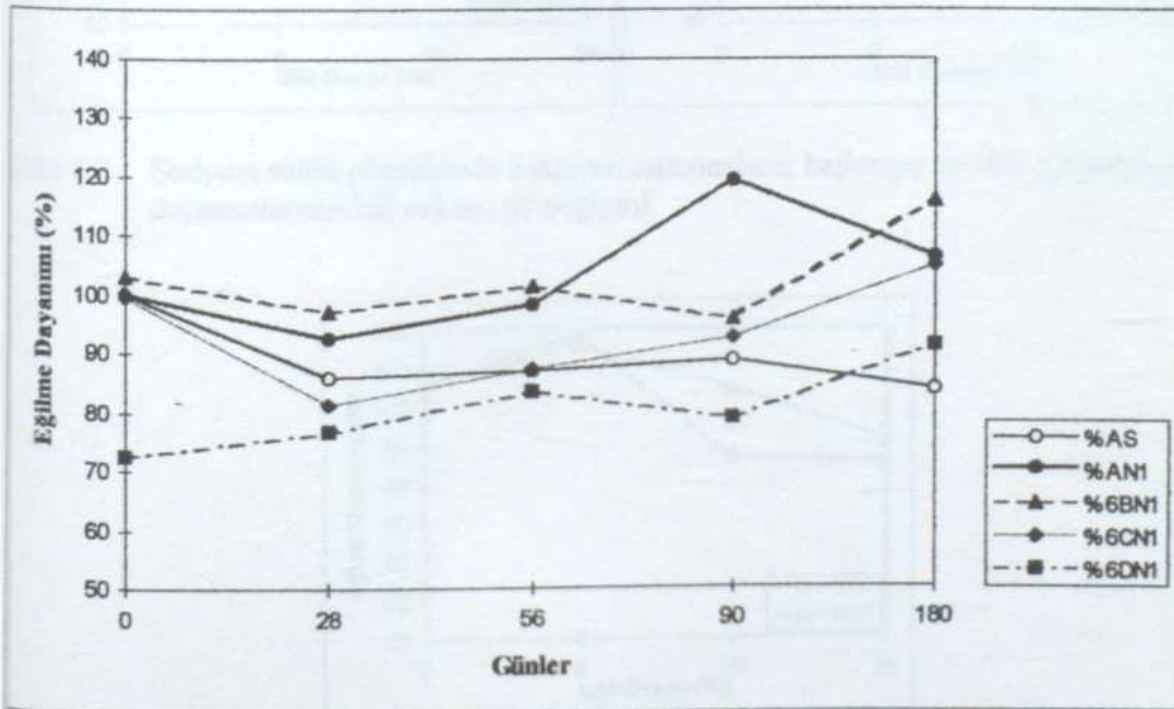
Şekil 4.5 Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

(\*) 5 : 570°C ; 6 : 670°C ; S : Suda ; N1, M1 : 10 000 mg/L, N4, M4 : 40 000 mg/L Sodyum ve Magnezyum çözeltilerinde bekletilen numuneleri, 0 : Şahit ; 1 : 28. ; 2 : 56. ; 3 : 90. ; 4 : 180. deney günlerini göstermektedir.

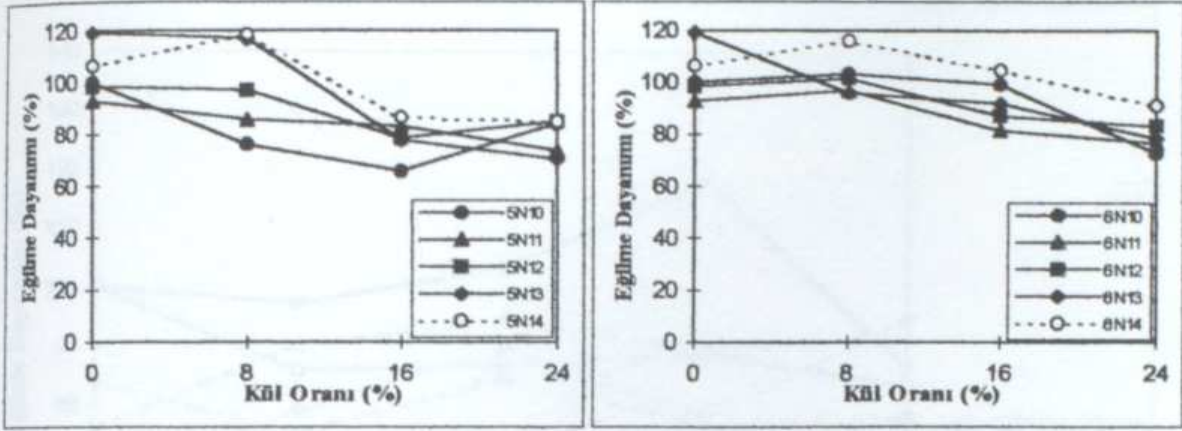




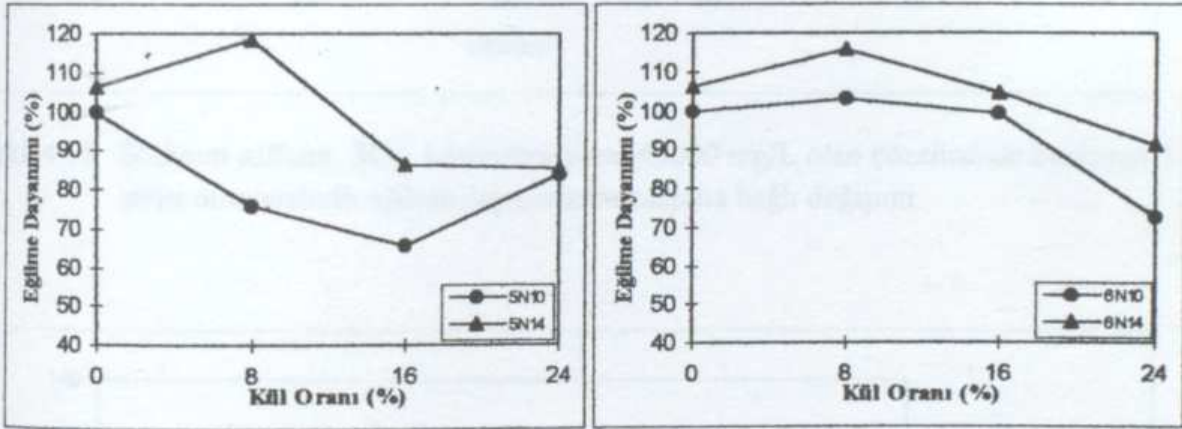
Şekil 4.6 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi



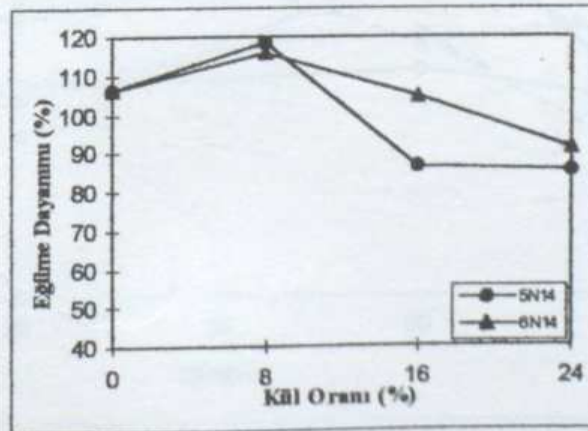
Şekil 4.7 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.8 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi

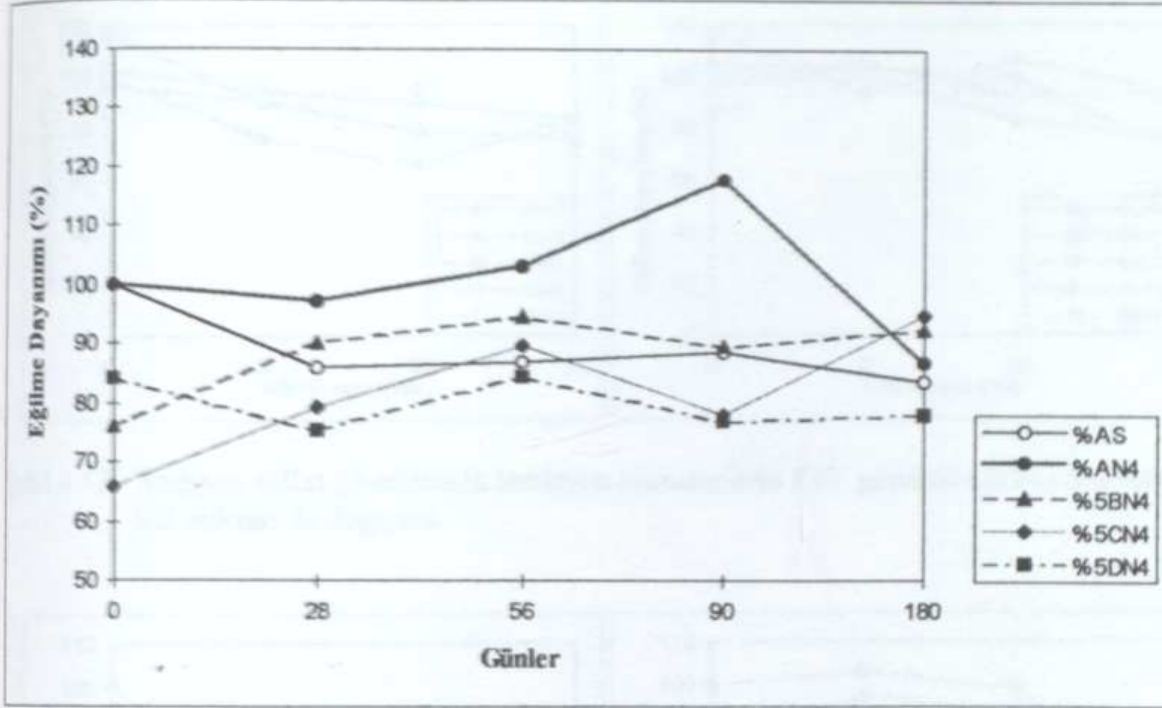


Şekil 4.9 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki eğilme dayanımlarının kül miktarı ile değişimi

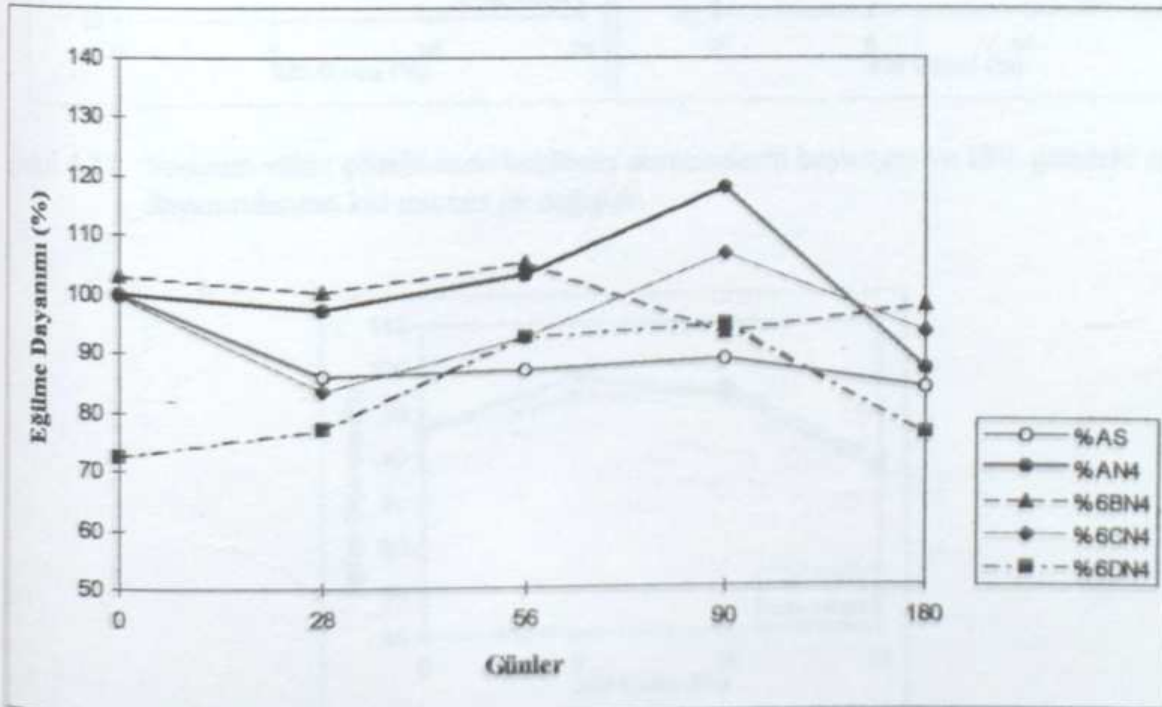


Şekil 4.10 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

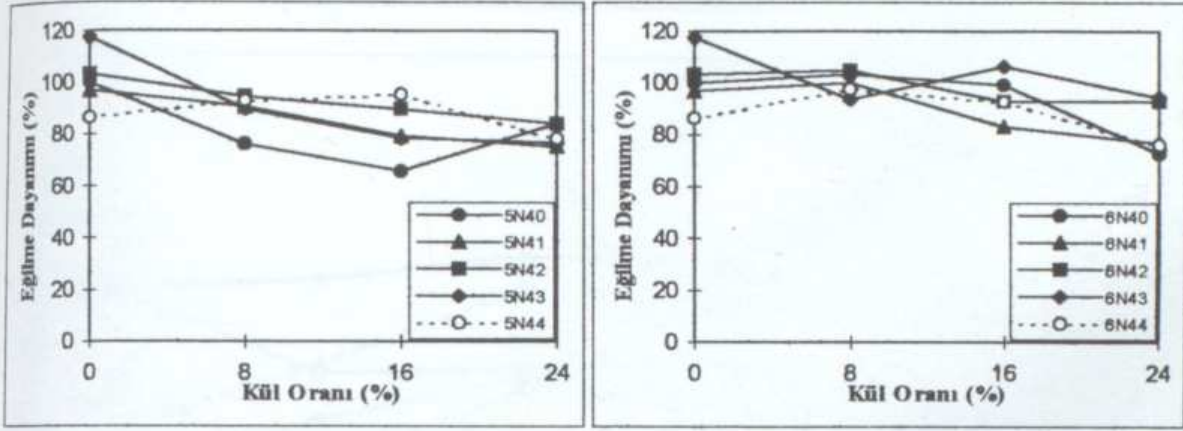




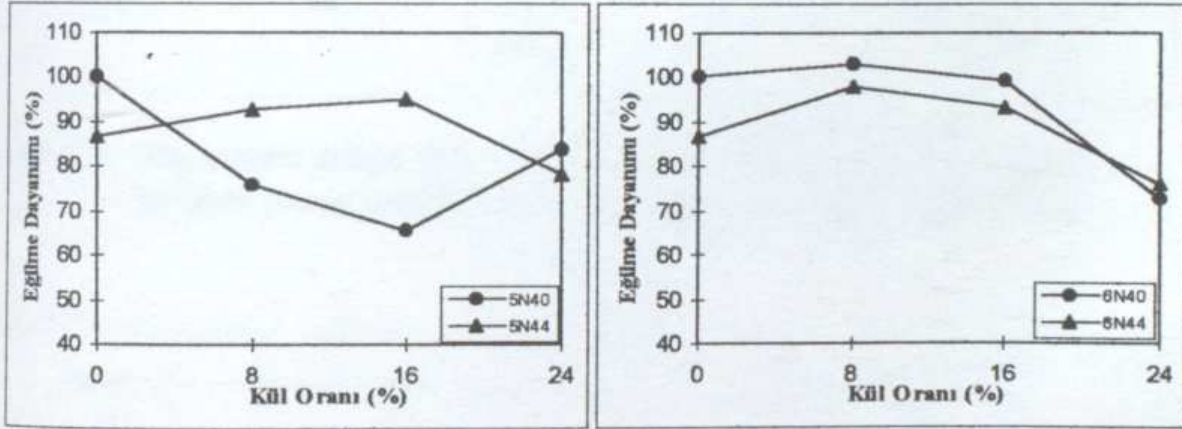
Şekil 4.11 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi



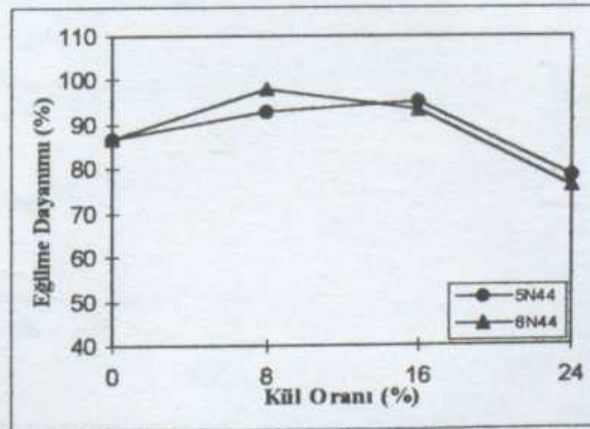
Şekil 4.12 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.13 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi

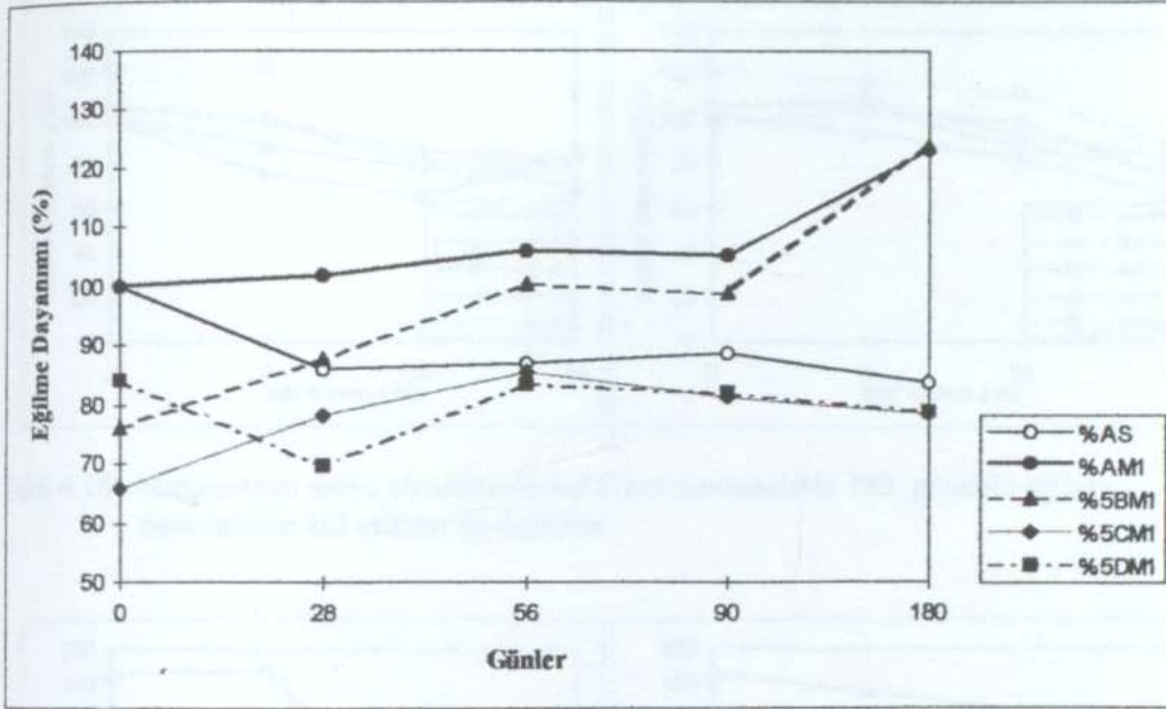


Şekil 4.14 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki eğilme dayanımlarının kül miktarı ile değişimi

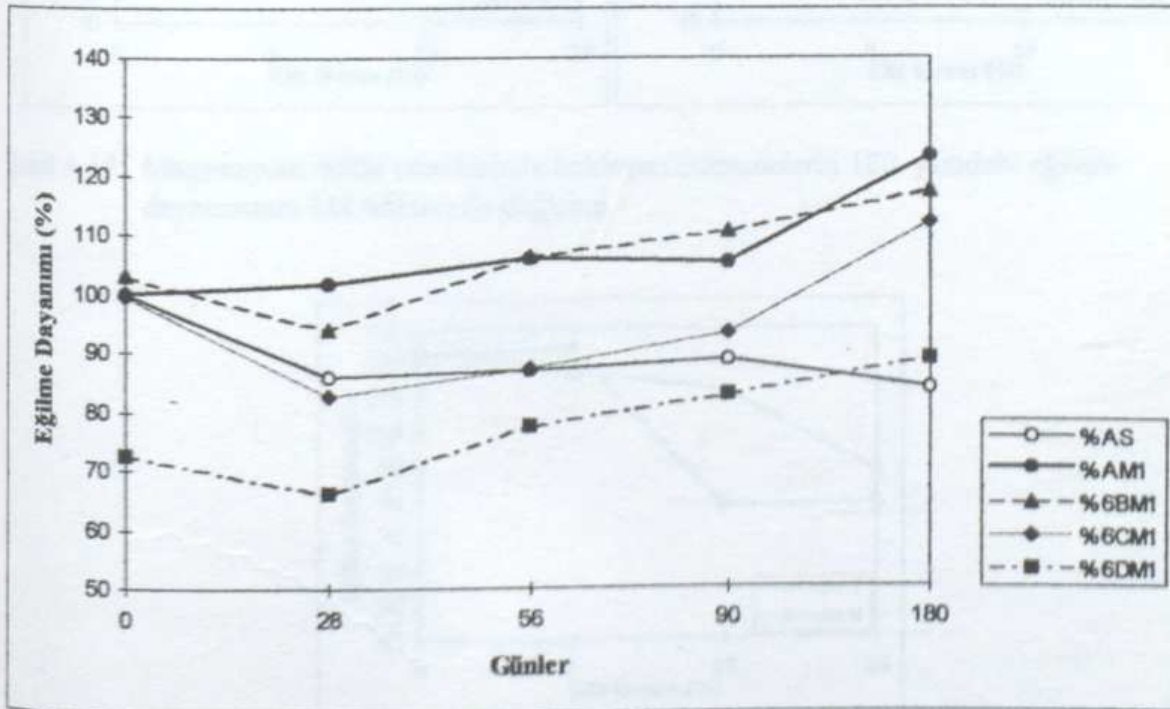


Şekil 4.15 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

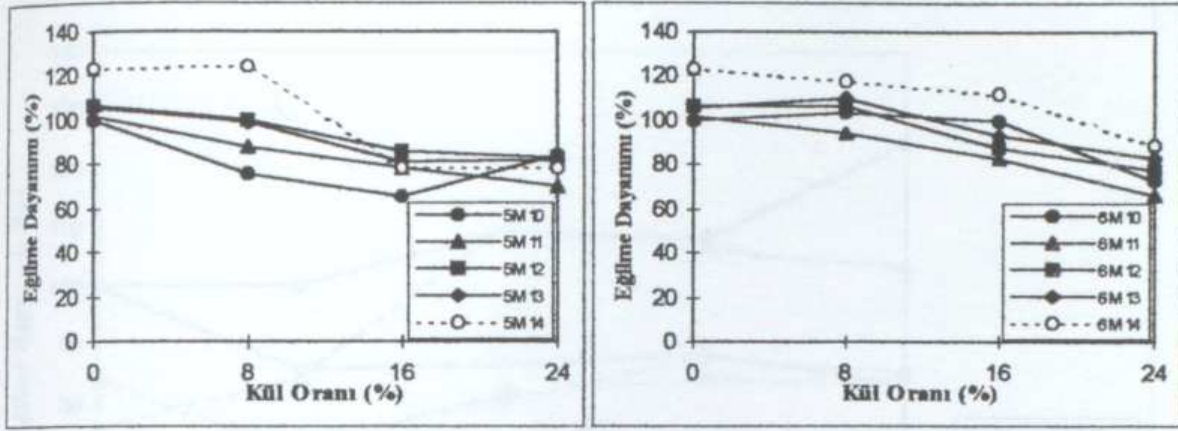




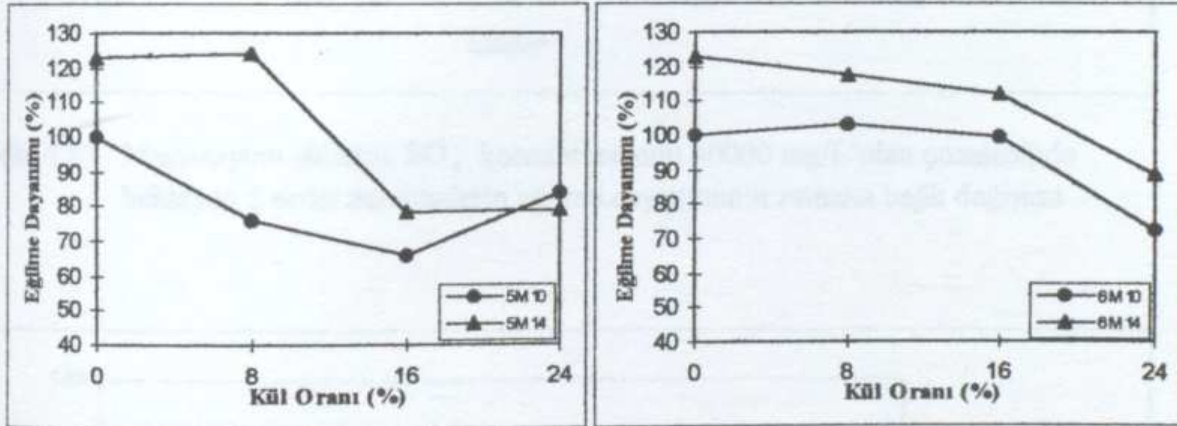
Şekil 4.16 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi



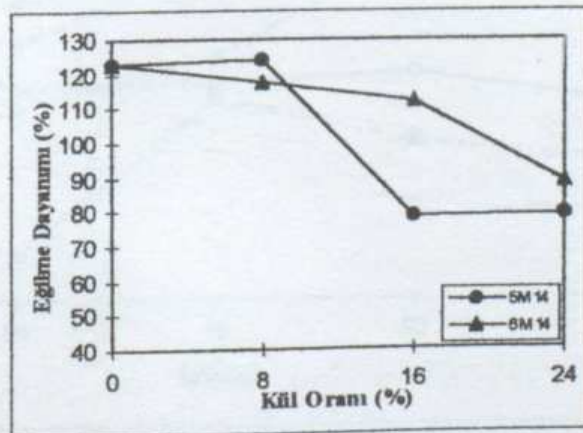
Şekil 4.17 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.18 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi

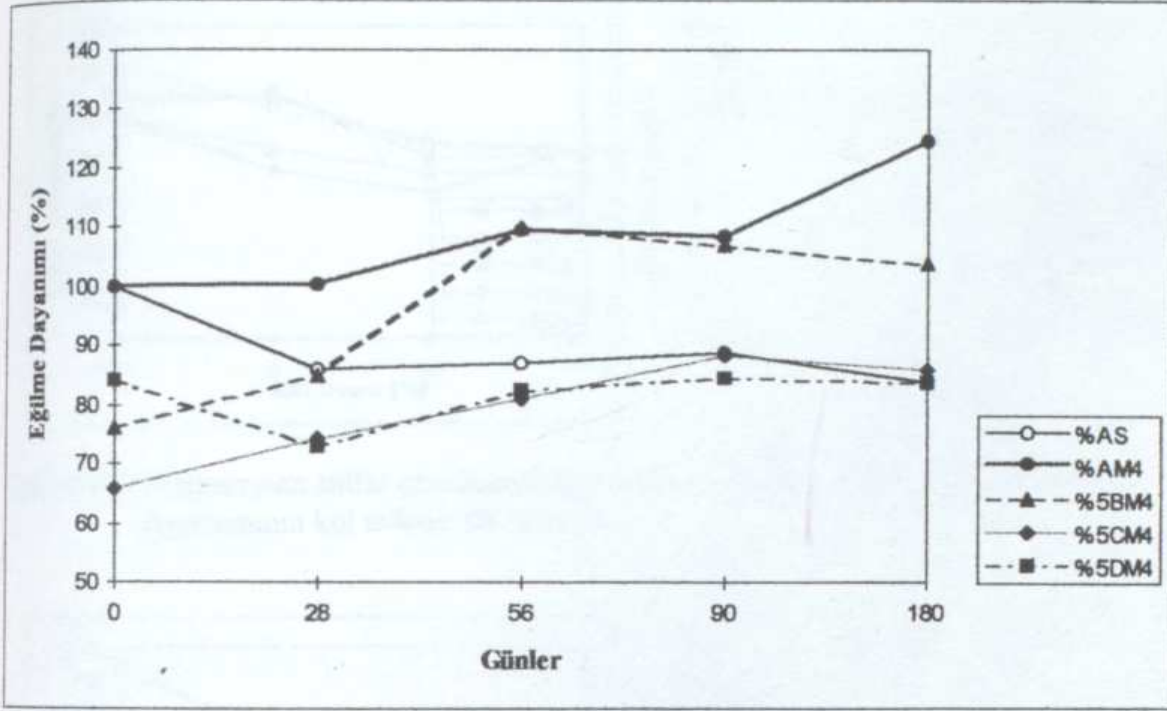


Şekil 4.19 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi

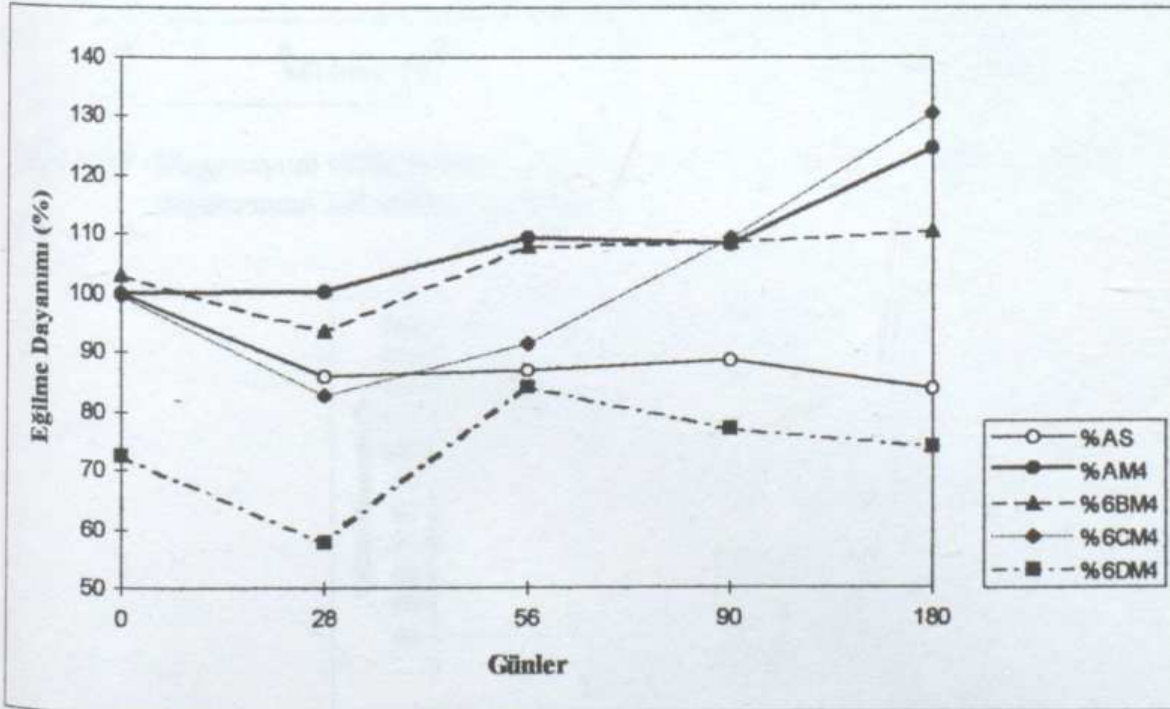


Şekil 4.20 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması



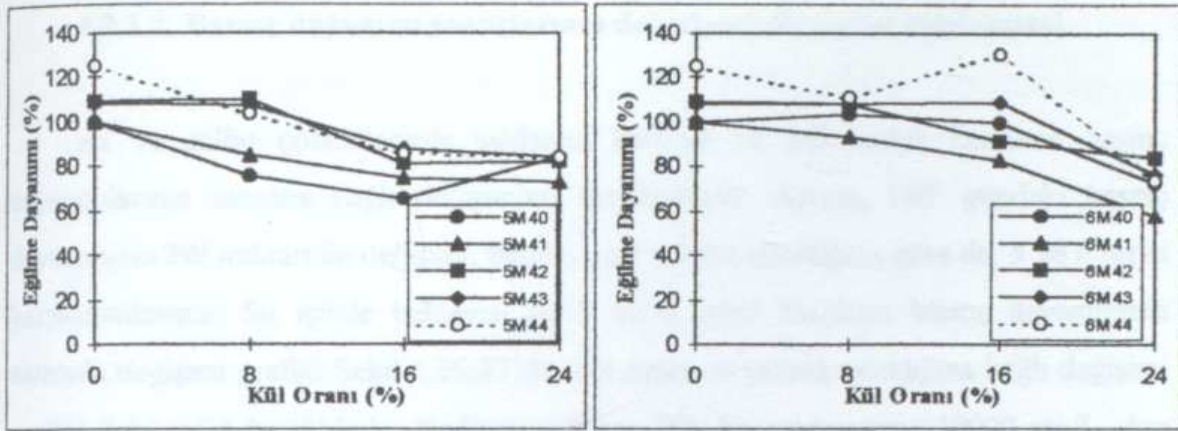


Şekil 4.21 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^{2-}$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi

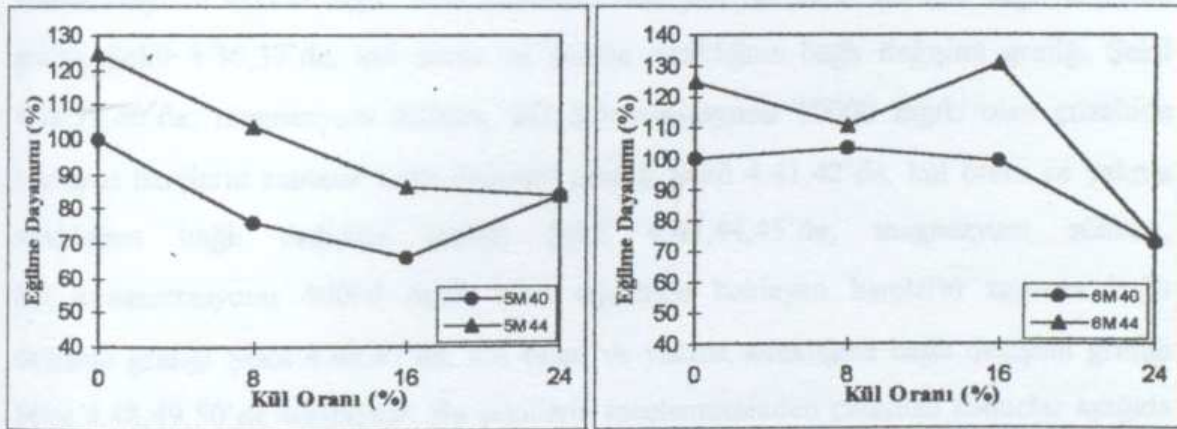


Şekil 4.22 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^{2-}$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin eğilme dayanımının zamana bağlı değişimi

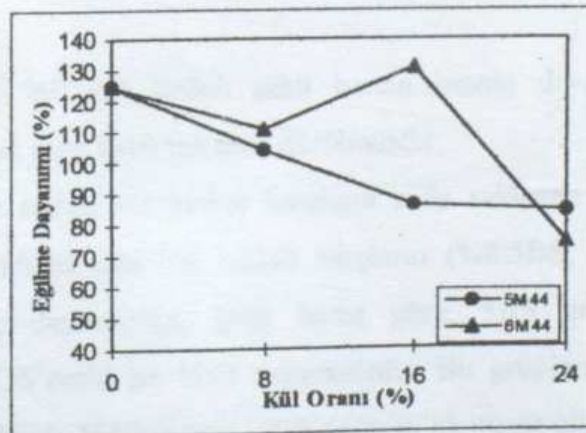




Şekil 4.23 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.24 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.25 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde eğilme dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması



#### 4.2.1.2. Basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan katkısız ve kül katkı harçların basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Ayrıca, 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi, buğday sapı yakma sıcaklığına göre de, 5 ve 6 serisi karşılaştırılmıştır. Su içinde bekleyen A, 5 ve 6 serisi harçların basınç dayanımının zamanla değişimi grafiği Şekil 4.26,27'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.28,29,30'dadır. Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.31,32'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.33,34,35'de; Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.36,37'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.38,39,40'da; magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.41,42'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.43,44,45'de; magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.46,47'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.48,49,50'de verilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir

#### Suda saklanan gruplar

Suda saklanan %0 kül katkıli şahit harcın basınç dayanımında 180. günde başlangıçtaki değerine göre %10'luk artış görülmüştür.

570°C'de elde edilen kül katkıli harçların suda saklanan grubunda, Şekil 4.26 incelendiğinde, görüldüğü gibi kül katkıli harçların (%8:5BS, %16:5CS, %24:5DS) başlangıçtaki basınç dayanımları, şahit harca göre, 5BS grubununki %84, 5CS grubununki %82, 5DS'ninki ise %75 değerindedir. Bu grupların basınç dayanımında 180. gün sonunda 5BS'de %4'lük artış, 5CS'de %26'lık düşüş olmuş, 5DS grubunda ise %16'lük artış görülmüştür.

670°C'de elde edilen kül katkılı harçların suda saklanan grubunda, Şekil 4.27 incelendiğinde, kül katkılı (%8: 6BS, %16: 6CS, %24: 6DS) harçların başlangıçtaki basınç dayanımları, şahit harca göre, 6BS grubununki %89, 6CS grubununki %80, 6DS'ninki ise %71 değerindedir. Bu grupların basınç dayanımında 180. gün sonunda, 6BS'de %19, 6CS'de %0, 6DS grubunda ise %34'lük artış olmuştur.

Suda saklanan şahit harçlarda basınç dayanımı zamanla artış göstermiştir. Kül katkılı harçların basınç dayanımı zamanla bazı kül gruplarında artış bazılarında azalma göstermiştir. Basınç dayanımı 5 ve 6 serilerinin B ve D gruplarında zamanla artmıştır. 5 serisinin 5C grubu harçlarda basınç dayanımı zamanla düşmüş, 6 serisinin 6C grubu ise başlangıç değerini korumuştur. Şahit harcın basınç dayanımı 28. güne kadar düşme bundan sonra 180. güne kadar artma göstermiştir. Küllü harçların her iki serisinin B ve D gruplarının basınç dayanımlarındaki artışlar 180. güne kadar süreklilik göstermişlerdir. Bu gruptaki harçların basınç dayanımları şahit harca göre daha yüksek değerler kazanmıştır.

5 Serisinde %16 küllüde zamanla düşme, 6 Serisi %16 küllüde zamanla bir değişme olmadığı halde her iki serisinde %8 ve %24 küllü Harçlarda basınç dayanımının zamanla sürekli arttığı görülmüştür. Bu durumda buğday sapı küllerinin puzolanik karakterini ortaya koymaktadır.

Akman et al (1992)'a göre puzolanlı çimentoda hidrasyon ısı ve hidrasyon hızı ilk anlarda yavaş olmakta ve nihai mukavemette etkin olduğu vurgulamaktadır.

Kül oranı ve yakma sıcaklığı bakımından Şekil 4.28,29 ve 30 incelendiğinde, etkin kül oranı her iki seride de %24 dür. Basınç dayanımı bakımından her iki serideki küllü harçlar benzer davranış göstermişlerdir. Ancak 6 serisi harçların 5 serisi harçlardan daha üstün dayanıma sahip olduğu görülmüştür.

#### **Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar**

SO<sub>4</sub><sup>-</sup> konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) çözeltisinde saklanan grupların basınç deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.31,32'de görüldüğü gibi, katkısız harcın başlangıç değeri %100, katkılı harçların başlangıç değerleri 5BN1 %84, 5CN1 %82, 5DN1 %75 dir. 28. günden sonra sülfatta saklanan katkısız harcın 180.



gün sonunda basınç dayanımında %6'lık artış olmuştur. Küllü harçların başlangıç değerine göre 180. günün sonunda basınç dayanımında 5BN1'de %12'lik artış, 5CN1'de %1'lik düşüş, 5DN1'de ise %3'lük düşüş olmuştur. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde başlangıç değerleri, 6BN1 de %89, 6CN1 de %80, 6DN1 de %71 dir. 180. günün sonunda bu serinin'de her üç grubunda basınç dayanımında artış görülmüştür. Artış değerleri sırayla 6BN1 grubunda %23, 6CN1 grubunda %14, 6DN1 grubunda %10 dur.

$SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen şahit harç grubunun basınç dayanımı zamanla artmaktadır. Bu artış 90.güne kadar düşüş, bundan sonra 180. güne kadar artış şeklindedir. Küllü harçlarda, 5 serisinin 5B grubunda basınç dayanımında zamanla artış, diğer iki grubunda düşüş olmuştur. Bu harçlarda değişim küçük miktarlardadır. Örneğin bu grupta başlangıç değerine göre 5B grubunda %7 artış, diğerlerinde ise %1-2 düşme görülmüştür. Şahit harçta artış 90. günden başlayıp 180. güne kadar devam etmiştir. 6 serisinin 6B grubu harçlarda basınç dayanımı zamanla artmaktadır. Diğer iki grubunda ise 90. günden itibaren düşme eğilimi gözlenmiştir.

Yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından Şekil 4.33,34 ve 35 incelendiğinde etkin kül oranı, her iki seride de %8 dir. Yakma sıcaklığı bakımından 670°C da elde edilen küllü harçların basınç dayanımlarının daha üstün olduğu görülmüştür.

$SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların basınç dayanımları incelendiğinde, Şekil 4.36,37'de görüldüğü gibi, katkısız harcın başlangıç değeri %100, kül katkılı harçların başlangıç değerleri 5BN4 %84, 5CN4 %82, 5DN4 %75 dir. 28. günden sonra sülfatta saklanan katkısız harcın 180. gün sonunda basınç dayanımında %10'luk artış olmuştur. Küllü harçların başlangıç değerine göre 180. günün sonunda basınç dayanımında, 5BN4 grubunda %0, 5CN4 grubunda %3, 5DN4 grubunda ise %14'lük azalma görülmüştür. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde başlangıç değerleri, 6BN4 de %90, 6CN4 de %80, 6DN4 de %71 dir. 180. günün sonunda ise 6BN4 grubunda %11, 6CN4 grubunda %18, 6DN4 grubunda ise %9 artış görülmüştür.

$SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde bekletilen katkısız harç grubunda basınç dayanımı zamanla artmaktadır. Kül katkılı

harçlardan 5 serisinin tüm gruplarında basınç dayanımları zamanla azalma göstermişlerdir. Değişim genelde 90. güne kadar artış daha sonra 180. güne kadar düşüş şeklindedir. 6 serisinin tüm gruplarının basınç dayanımlarında zamanla artış görülmüştür. Basınç dayanımındaki değişim, 6B grubunda 90. günden sonra 180. güne kadar artma, diğer iki grubun ise artış hızında azalma görülmüştür. 6 serisi harçların bütün gruplarında basınç dayanımı artış değerleri şahit harcın artış değerinden daha yüksek olmuştur.

Bu grupta yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.38,39 ve 40 incelendiğinde yakma sıcaklığı 670°C, etkin kül oranının ise bu seride %16 olduğu görülür.

#### **Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanan grup**

$SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların basınç deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 41,42'de görüldüğü gibi, katkısız harcın başlangıç değeri %100, kül katkılı harçların başlangıç değerleri 5BM1 %83, 5CM1 %82, 5DM1 %75 dir. 28. günden sonra sülfatta saklanan katkısız harcın 180. gün sonunda basınç dayanımında %15'lik artış olmuştur. Küllü harçların başlangıç değerine göre 180. günün sonunda basınç dayanımında, 5BM1'de %12'lik artış, 5CM1'de %15, 5DM1'de ise %9'luk düşüş olmuştur. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde başlangıç değerleri, 6BM1 de %89, 6CM1 de %80, 6DM1 de %71 dir. 180. günün sonunda bu serinin'de her üç grubunda basınç dayanımında artış görülmüştür. Artış değerleri sırayla 6BM1 grubunda %8, 6CM1 grubunda %16, 6DM1 grubunda ise %11 dir.

$SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit harcın basınç dayanımında zamanla artış olmuştur. Artışın değişimi, 28. güne kadar düşüş, daha sonra 180. güne kadar artma şeklindedir. Küllü harçlarda 5 serisinin 5B grubunun basınç dayanımında zamanla artış olmuş, diğer gruplarında basınç dayanımı değerleri zamanla azalmaktadır. 6 serisinin her üç grubunun basınç dayanımı zamanla artmaktadır. Ancak 6B grubunda 90. günden sonra basınç dayanımı artış hızında





azalma, diğer iki grubu ise başlangıçtan itibaren 180. güne kadar artış eğilimi göstermiştir.

Bu grupta yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından Şekil 4.43,44 ve 45 incelendiğinde etkin yakma sıcaklığı 670°C, etkin kül oranı 5 serisinde %8, 6 serisinde ise %16 olduğu görülür.

SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat (MgSO<sub>4</sub>) çözeltisinde saklanan grupların basınç dayanımları incelendiğinde, Şekil 4.46,47'de görüldüğü gibi, katkısız harcın başlangıç değeri %100, kül katkılı harçların başlangıç değerleri 5BM4 %83, 5CM4 %81, 5DM4 %75 dir. 28. günden sonra sülfatta saklanan katkısız harcın 180. gün sonunda basınç dayanımında %1'lik artış olmuştur. Küllü harçların başlangıç değerine göre 180. günün sonunda basınç dayanımında, 5BM4 grubunda %0, 5CM4 grubunda %9, 5DM4 grubunda ise %15'lik düşüş görülmüştür. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde başlangıç değerleri, 6BM4 de %89, 6CM4 de %80, 6DM4 de %71 dir. 180. günün sonunda ise 6BM4 grubunda %14, 6CM4 grubunda %9'luk artış, 6DM4 grubunda ise %2'lik düşüş görülmüştür.

SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat (MgSO<sub>4</sub>) çözeltisinde bekletilen katkısız şahit harcın basınç dayanımında zamanla 180. güne kadar bir değişme olmadığı görülmüştür. Küllü harçlardan 5 serisinin 5B grubunda 90. güne kadar artış, daha sonra 180. güne kadar artış hızında düşme göstererek başlangıç değerini koruduğu görülmüş, diğer iki grubunda (5Cve 5D) basınç dayanımında zamanla azalma olmuştur. 6 serisinin 6B ve 6C grubunun basınç dayanımında 180. güne kadar artış, 6D grubunda ise düşüş görülmüştür. Bu artışın değişimi 6B grubunda 180. güne kadar artış şeklinde olmuştur. 6C grubu harçlar 90. güne kadar artmış daha sonra 180. güne kadar artma hızında düşme eğilimine girmiştir. Bu değişim başlangıç değerine göre 90. günde %17 artı iken, 180. günde artı % 9'dur. Yani 180. günde basınç dayanımı halen pozitif bölgededir. Bu grupta yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından Şekil 4.48,49 ve 50 incelendiğinde etkin yakma sıcaklığı 670°C, etkin kül oranı 6 serisinde %16 olduğu görülür.

Horvath, Mehta (1981), Mehta (1981) Puzolan katkılı çimentolardan elde edilen pastalarda geçirgenlik ile sülfat dirençli karakteristیکler,, dayanım ve gözenek büyüklüğü



ve gözenek dağılımıdır. Puzolan katkılı çimento pastasındaki dayanımı ve kimyasal dirençteki artışı gözeneklerin hacimlerindeki küçülme ile izah etmektedirler.

Akman (1987) Harç ve betonda dayanıklılık ve durabilite için, boşluk oranı düşük dolu beton üretmenin gereğini vurgulamaktadır.

Cohen, Bentur (1988), Bonen (1993) magnezyum sülfat eriyiğinin etkisi ile numunelerdeki kütle ve mukavemet kaybına bağlı olarak C-S-H'ın yumuşadığını görmüş, magnezyum sülfat etkisinde silis dumanı'nın negatif etkisini işaret etmiştir.

Montgomery et al (1981) Uçucu küllü portland çimento pastalarının dayanımının artması ile ilgili mekanizmayı, su geçirmezlik ve yüksek kimyasal direnç gibi pastaların farklı yapı ve özellikleri ile izah edilebileceğini, uçucu kül partiküllerinin pastada çimento hidrasyon ürünlerinin hızlı ve kolay nükleasyonunu kolaylaştıran noktaları sağladığı varsayılırsa, bu ürünler tek tek uçucu kül senosferlerini tıkayıp örtebileceğini ifade etmişlerdir.

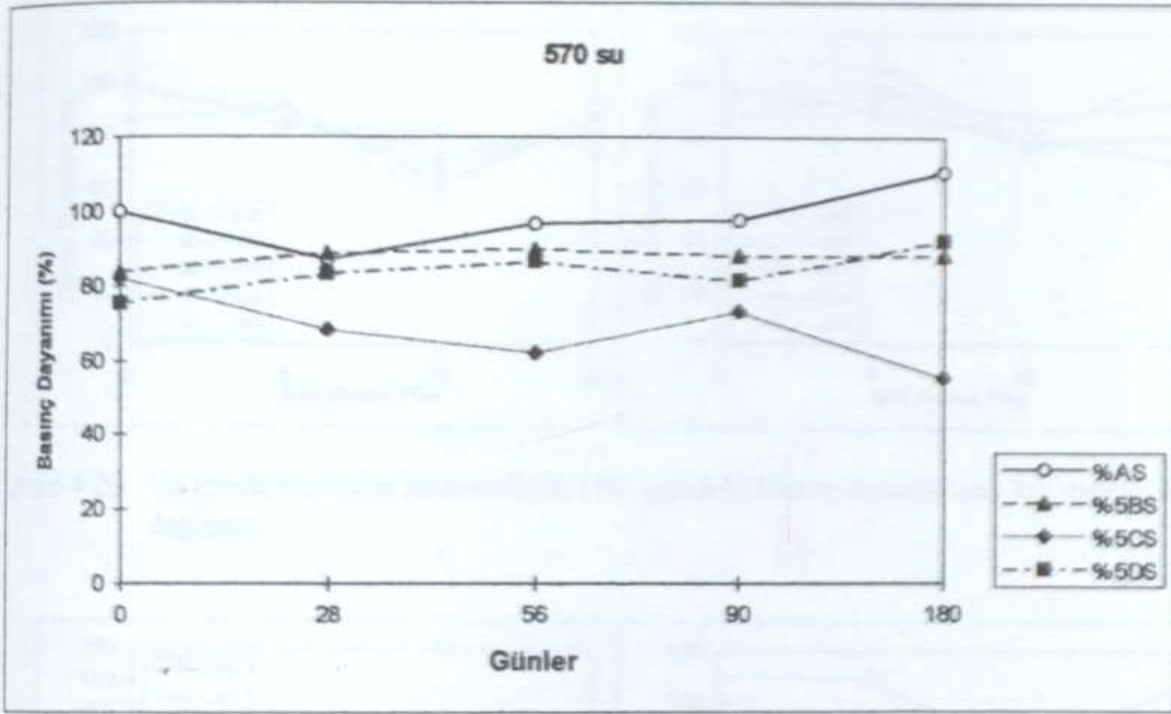
Tablo 4.1 180. Gündeki mekanik deneylerin sonuçlarına göre harçların özet olarak değişimi (\*)

Numune Adı	Mekanik Değerler									
	Suda		10000 (mg/L) Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		40000 (mg/L) Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		10000 (mg/L) MgSO <sub>4</sub>		40000 (mg/L) MgSO <sub>4</sub>	
	f <sub>e</sub>	f <sub>b</sub>	f <sub>e</sub>	f <sub>b</sub>	f <sub>e</sub>	f <sub>b</sub>	f <sub>e</sub>	f <sub>b</sub>	f <sub>e</sub>	f <sub>b</sub>
AS	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5B	+	+	+	+	+	0	+	+	+	0
5C	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
5D	-	+	+	-	-	-	-	-	0	-
6B	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+
6C	-	0	+	+	-	+	+	+	+	+
6D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-

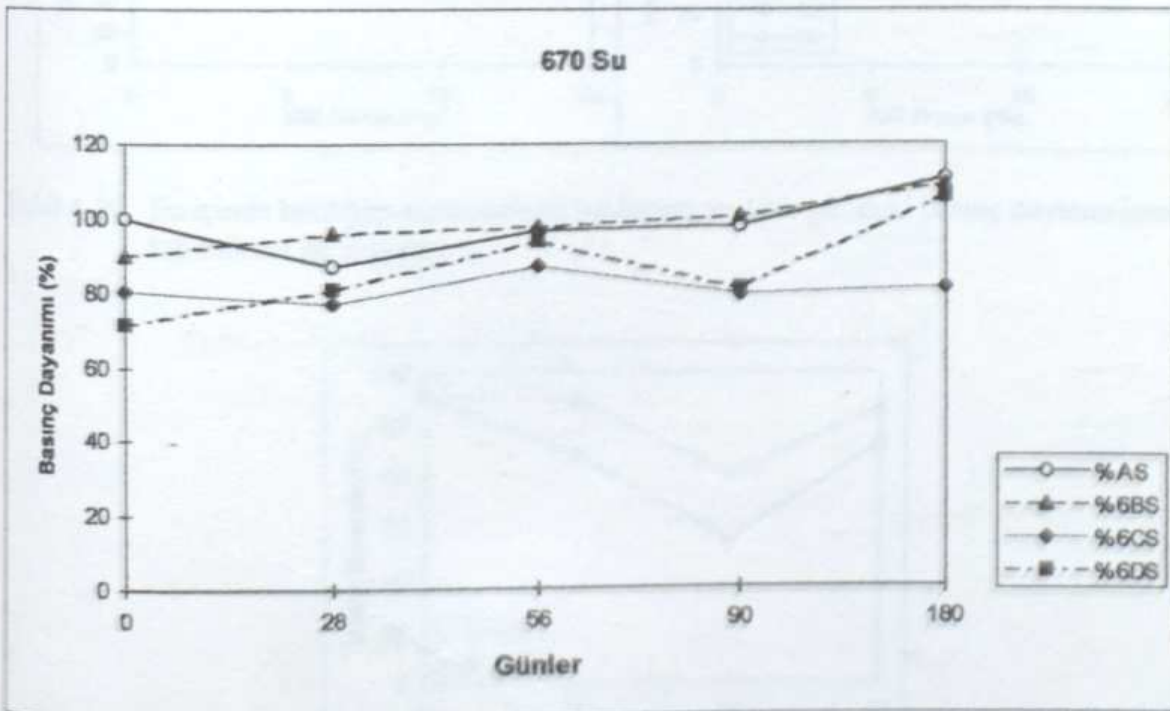
(\*) Bu Tabloda (+) ile artış, (-) ile azalma, (0) ile değişmeyen etkiler gösterilmiştir.

f<sub>e</sub> ile eğilme dayanımı, f<sub>b</sub> ile basınç dayanımı gösterilmiştir.



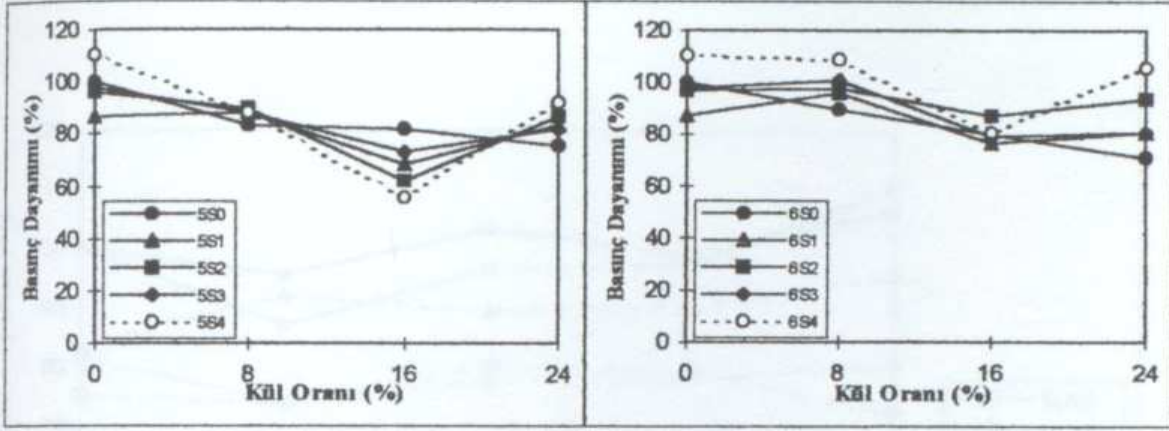


Şekil 4.26 Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi

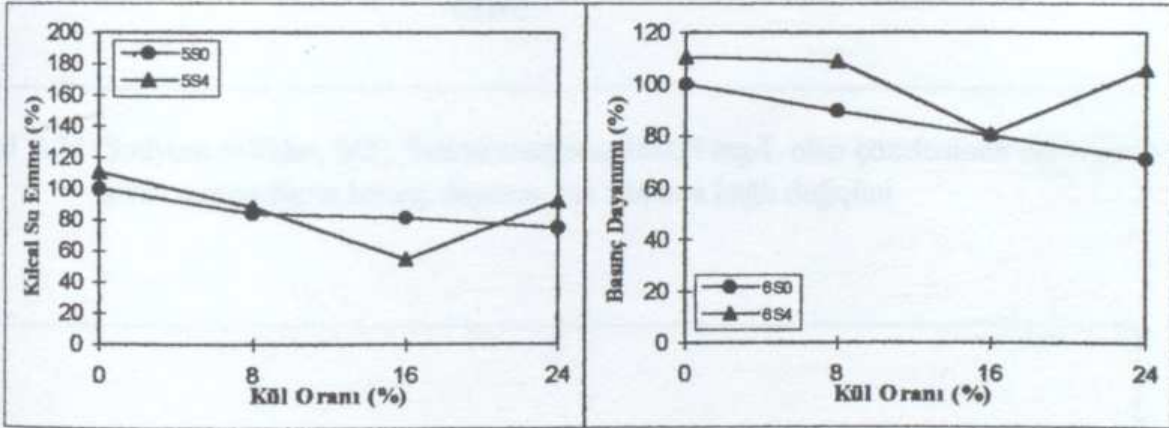


Şekil 4.27 Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi

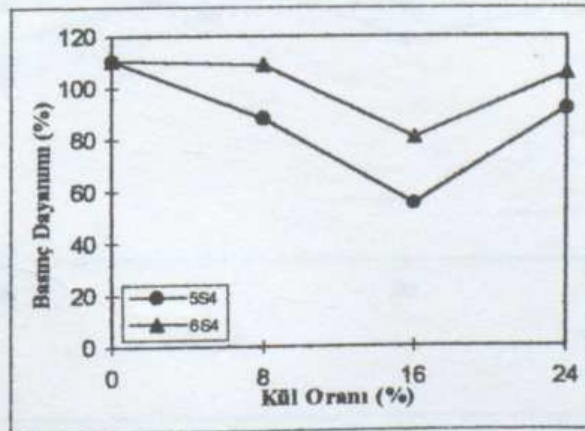




Şekil 4.28 Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi

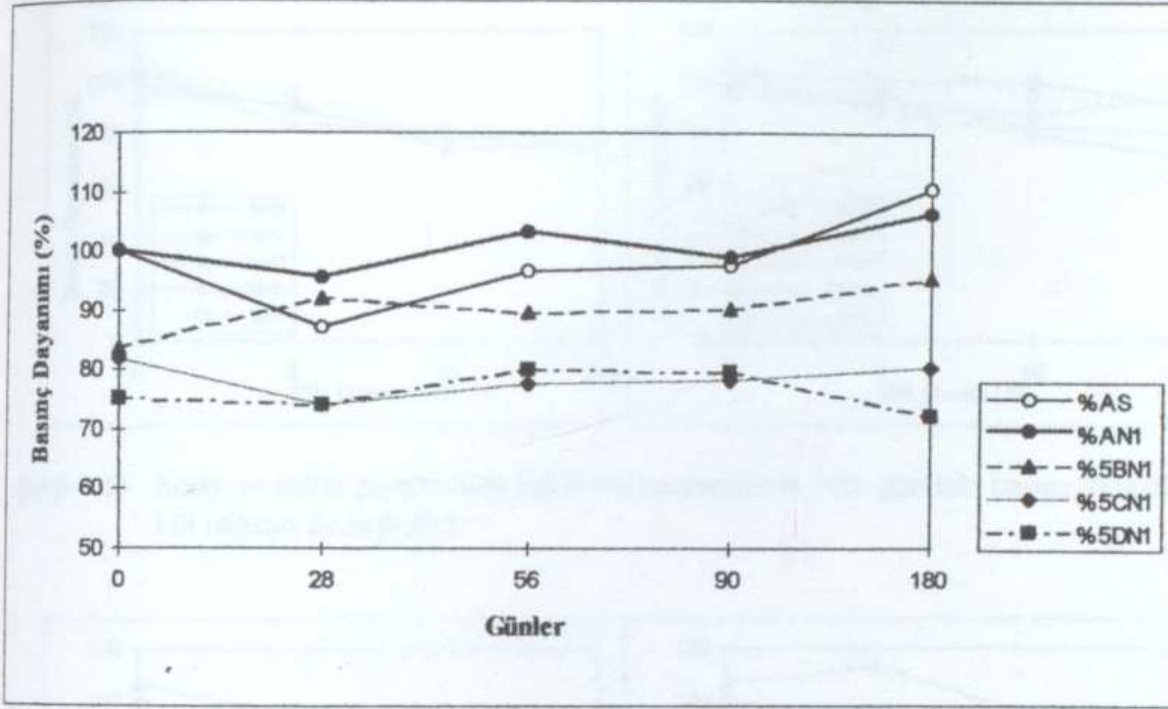


Şekil 4.29 Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki basınç dayanımlarının kül miktarı ile değişimi

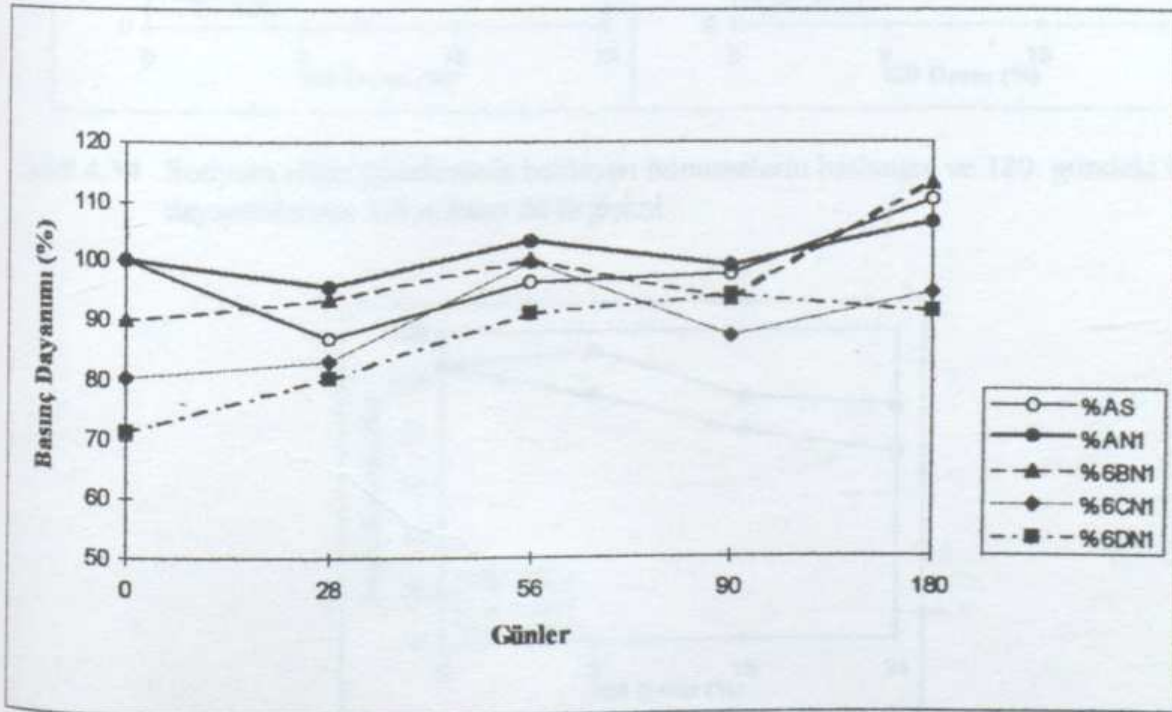


Şekil 4.30 Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

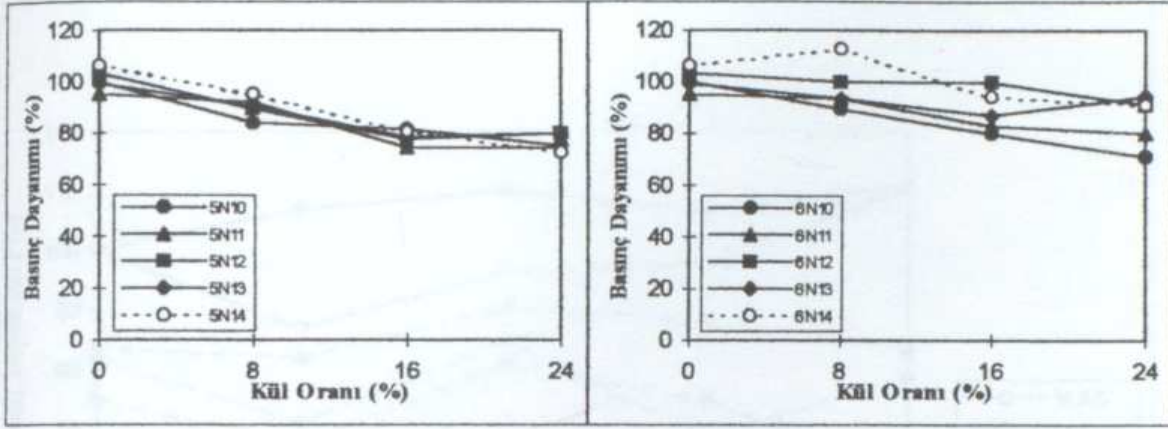




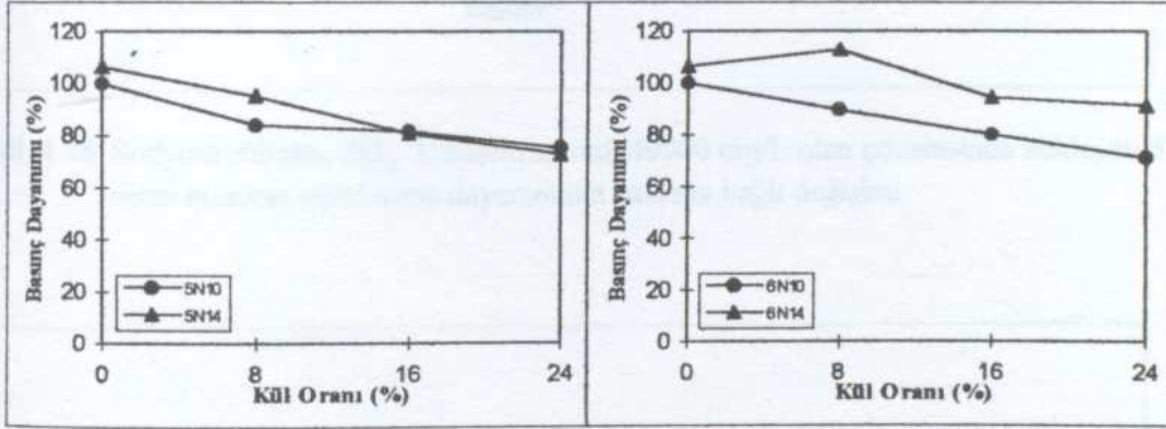
Şekil 4.31 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi



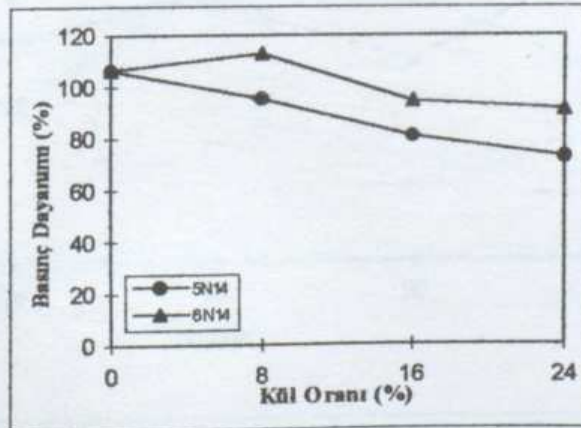
Şekil 4.32 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.33 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi

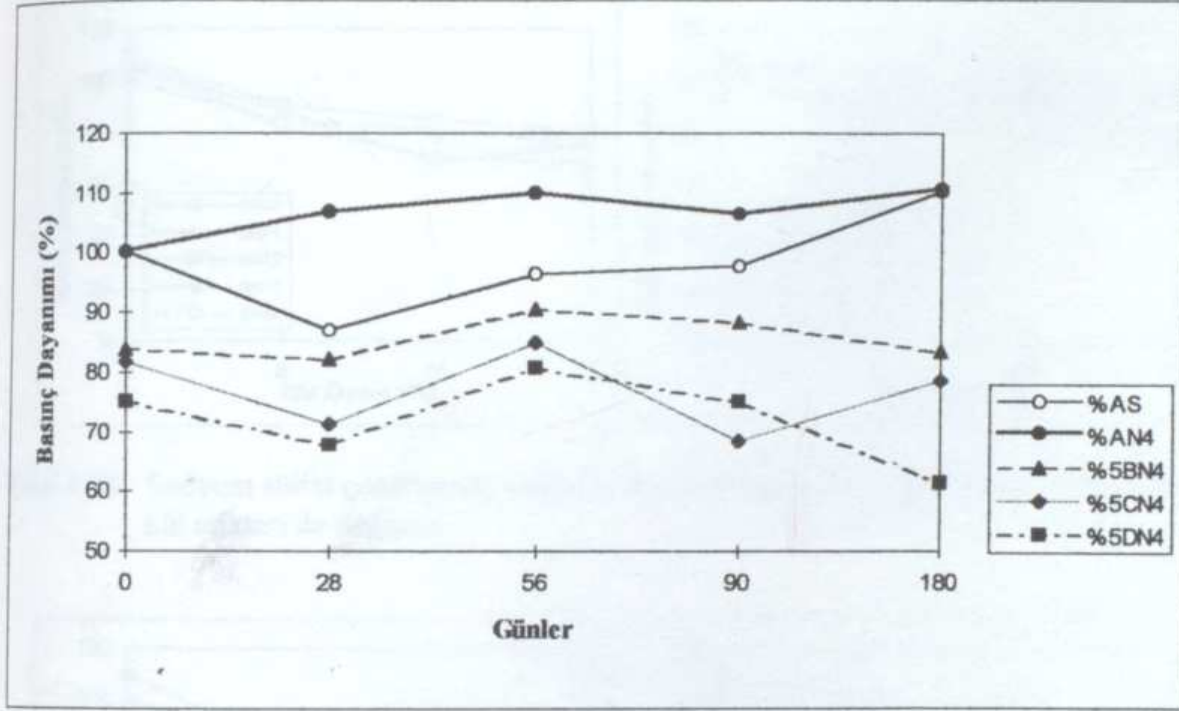


Şekil 4.34 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki basınç dayanımlarının kül miktarı ile değişimi

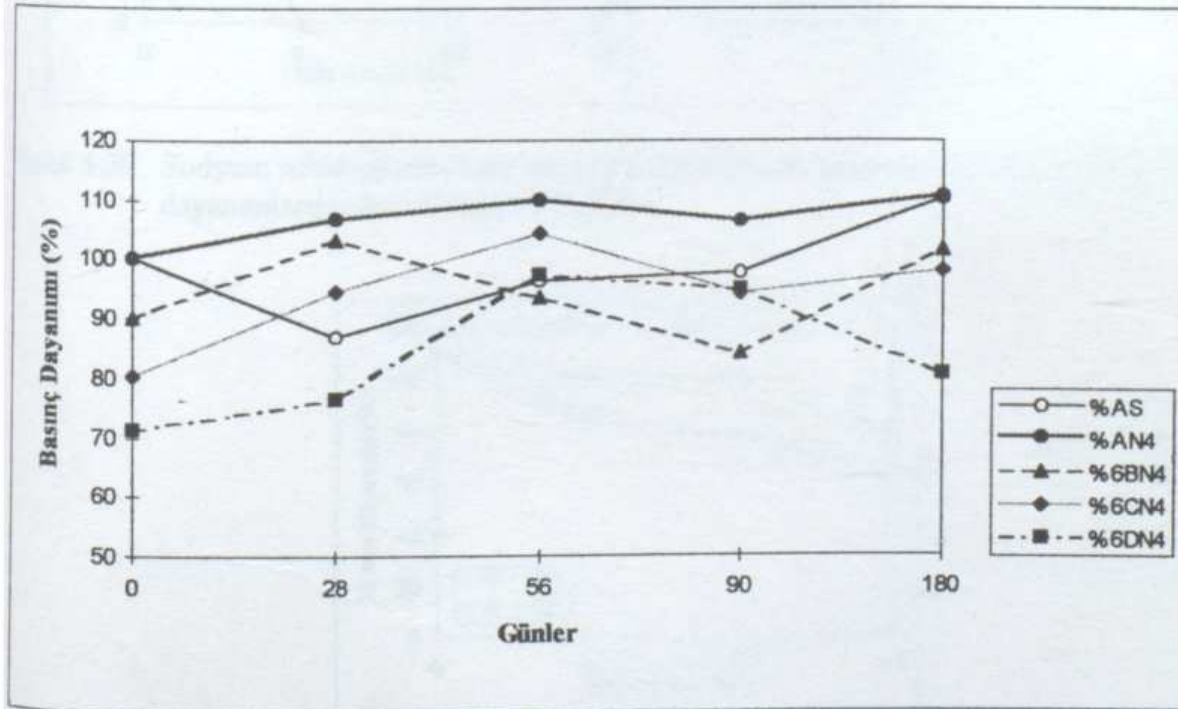


Şekil 4.35 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

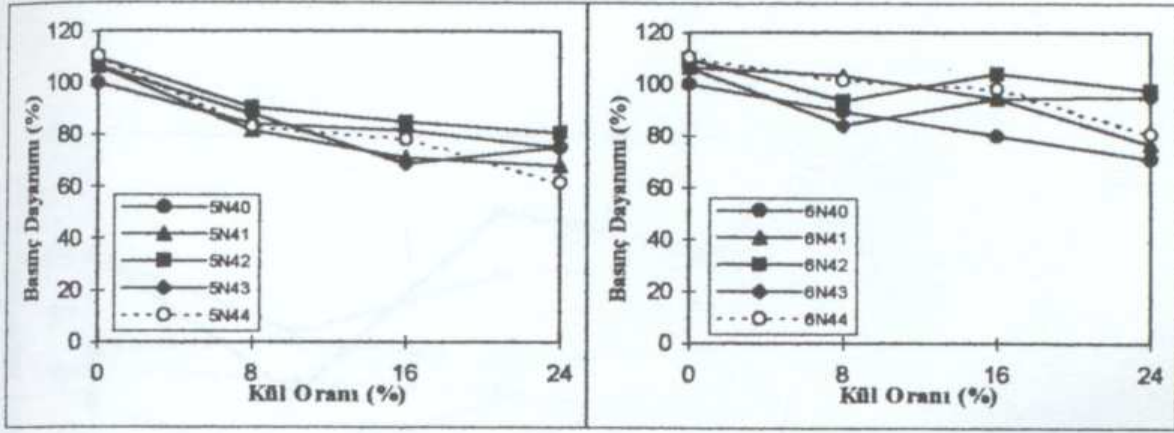




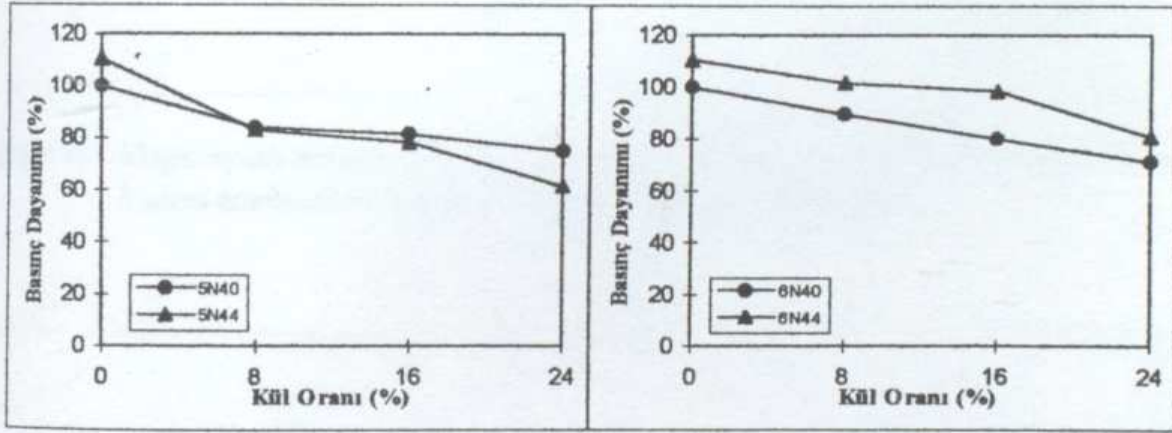
Şekil 4.36 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi



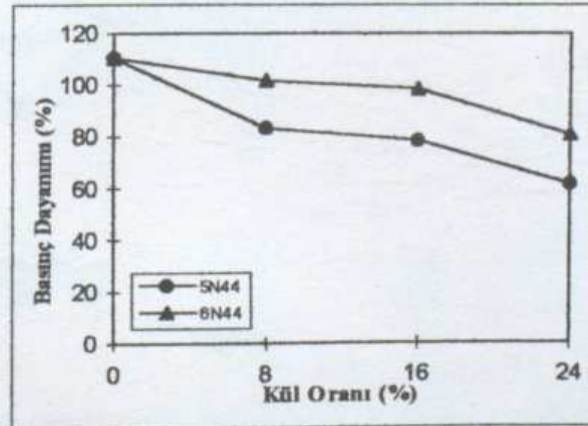
Şekil 4.37 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.38 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi

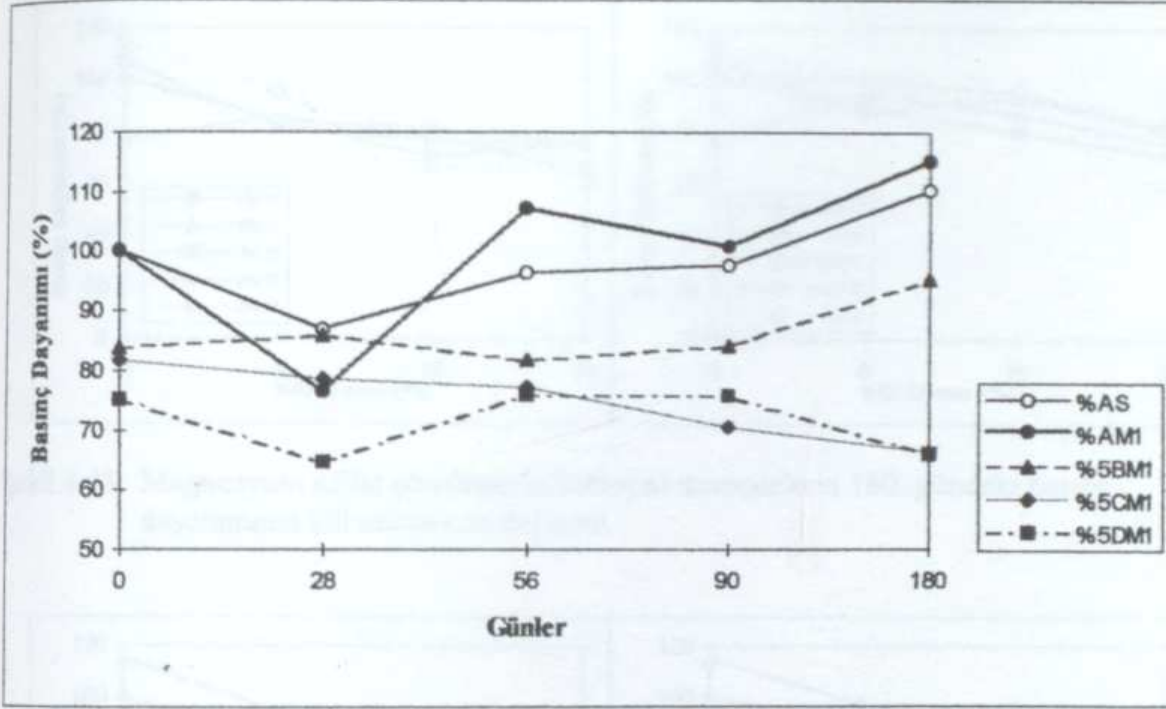


Şekil 4.39 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. günde basınç dayanımlarının kül miktarı ile değişimi

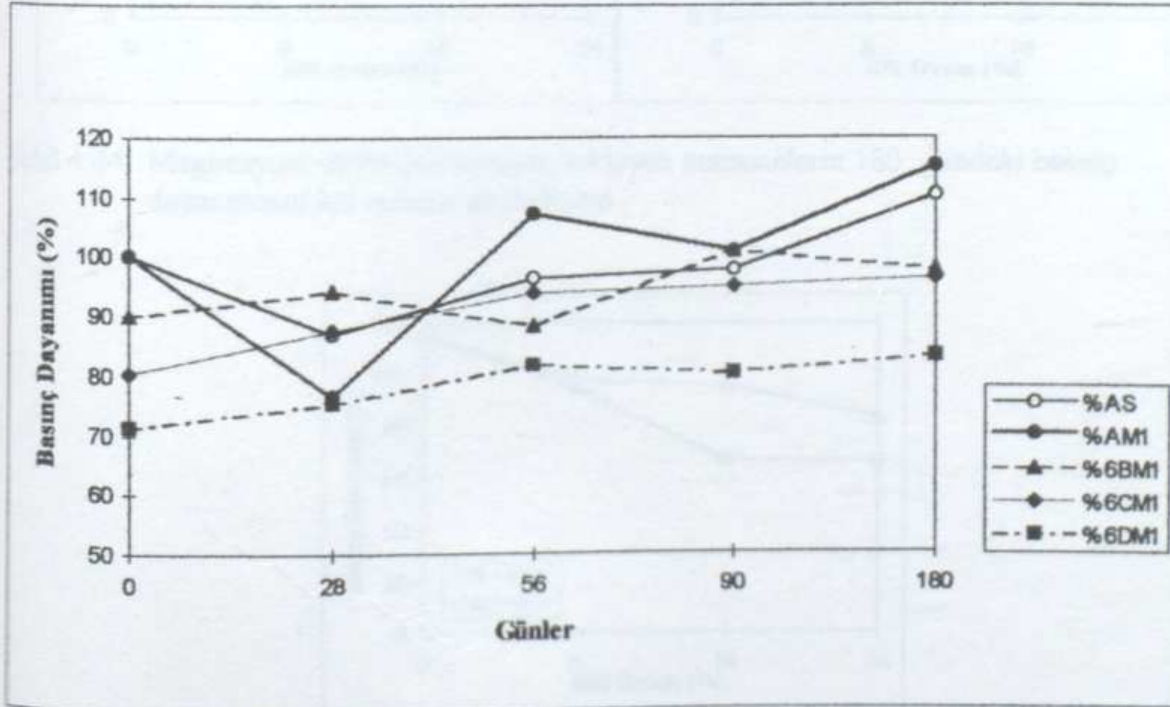


Şekil 4.40 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

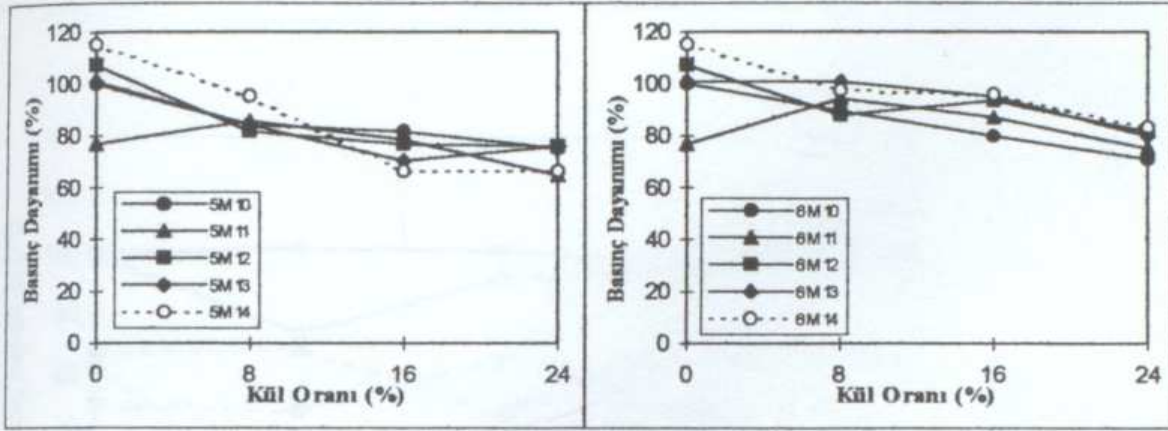




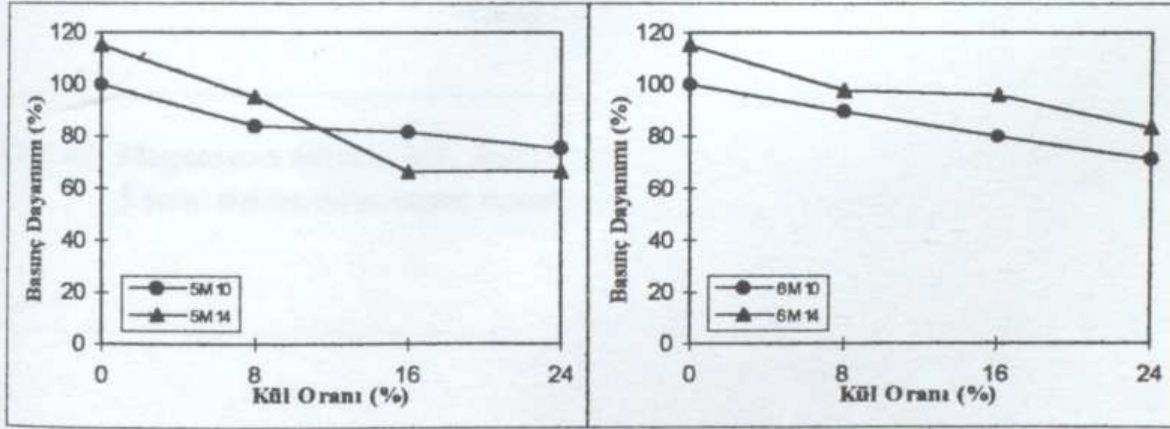
Şekil 4.41 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi



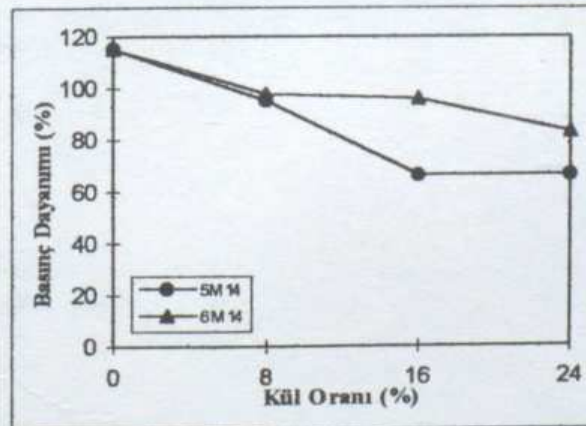
Şekil 4.42 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.43 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi

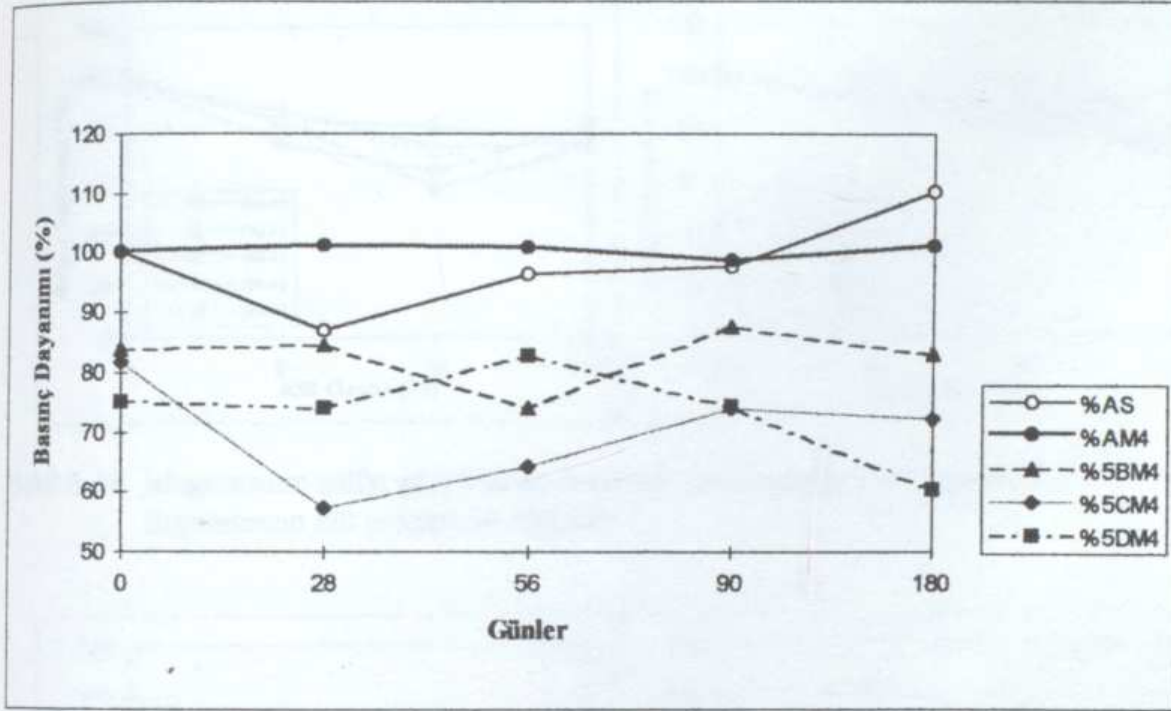


Şekil 4.44 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi

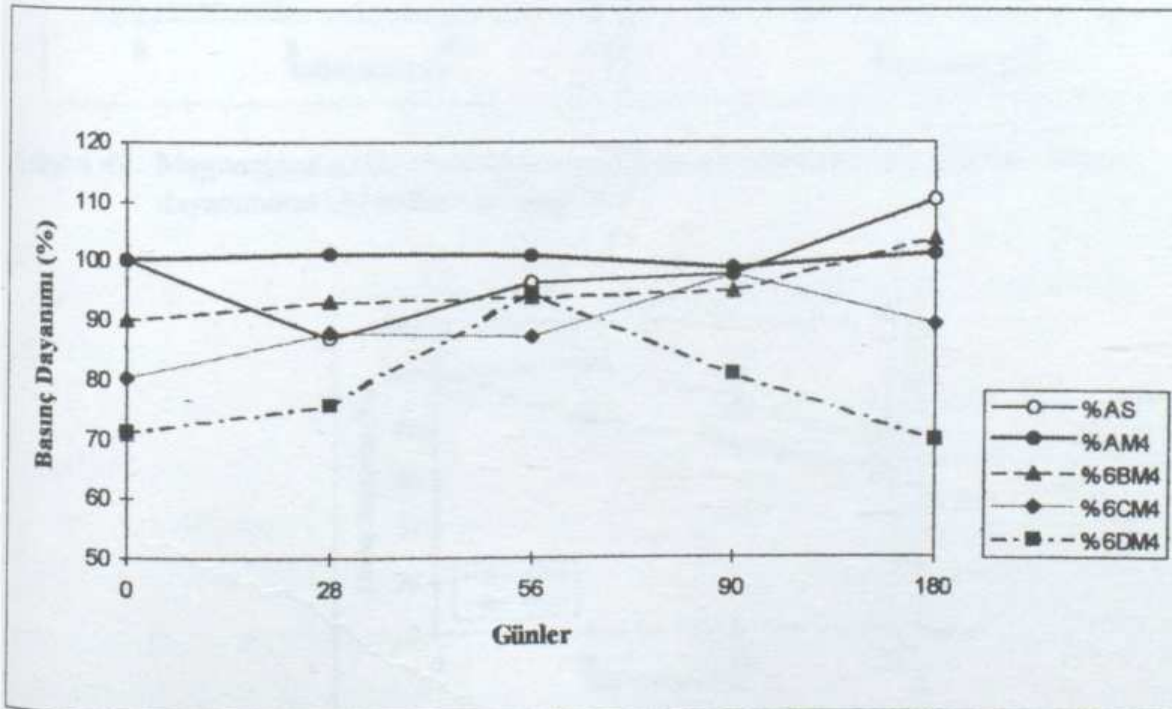


Şekil 4.45 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

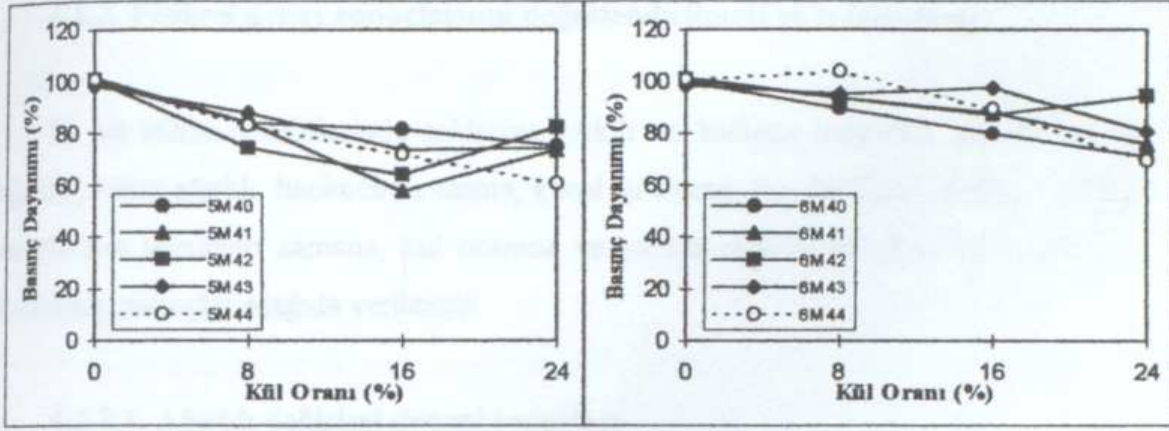




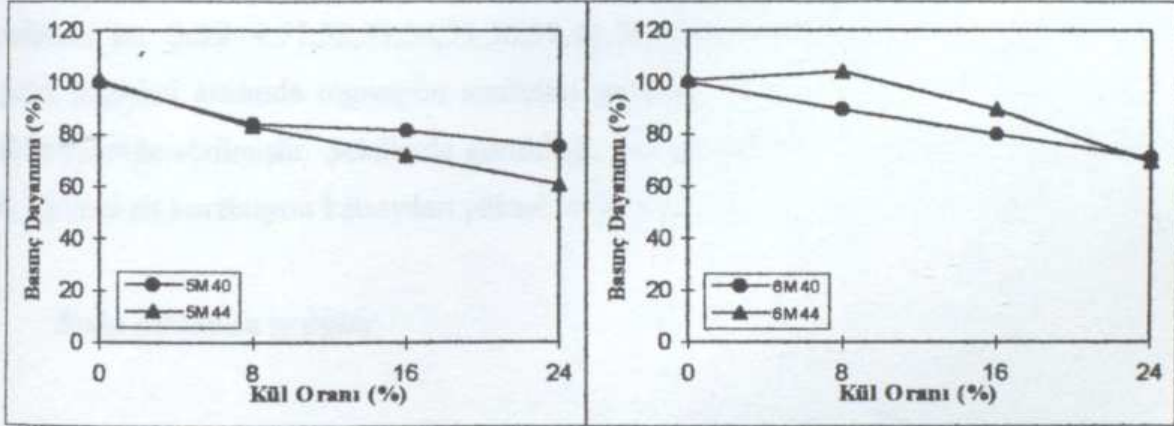
Şekil 4.46 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi



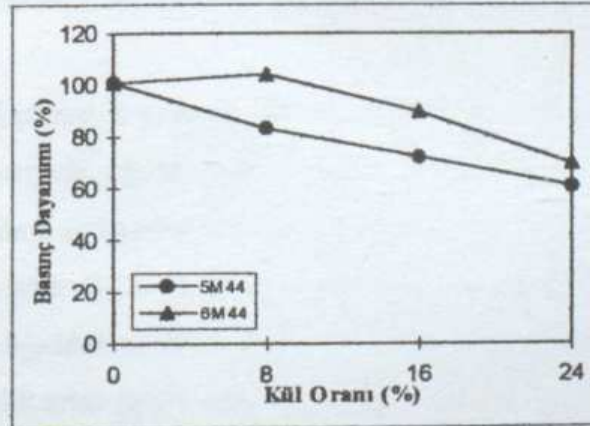
Şekil 4.47 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin basınç dayanımının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.48 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.49 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki basınç dayanımının kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.50 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde basınç dayanımının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması



#### 4.2.2. Fiziksel deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan katkılı ve katkısız harçlarda yapılan ağırlık değişimi, birim ağırlık, hacimce su emme, kılcal su emme, boy değişimi, X-Ray ve SEM deneylerinin sonuçları zamana, kül oranına ve yakma sıcaklığına göre her ortam için incelenmiş, sonuçlar aşağıda verilmiştir.

##### 4.2.2.1. Ağırlık değişimi deneyi sonuçları

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan kül katkılı ve katkısız (şahit) numunelere ait ağırlık değişimi ortalama değerleri, Tablo 3.24,25,26,27,28'de, bağıl değerleri ile çizilen grafikleri ise Şekil 4.51,52,53,54,55,56,57,58,59,60'da verilmiştir. Ayrıca zaman ve ağırlık değişimi arasında regresyon analizleri yapılmış, elde edilen eğri denklemleri de şeklin yanında verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi eğriler 2. dereceden artan eğrilerdir. Bu eğrilere ait korelasyon katsayıları yüksek değerdedir. Bu veriler incelendiğinde;

#### Suda saklanan gruplar

Kül katkısız ve kül katkılı harçların suda saklanan grubunda, Şekil 4.51,52 incelendiğinde, şahit harcın suda saklanan grubunda 180. günde %0.64 artış, 5 serisi harçların 5BS grubunda %1.02, 5CS grubunda %1.46, 5DS de %0.59 artış olmuştur. 6 serisi harçların 6BS grubunda %1.19, 6CS grubunda %0.47, 6DS grubunda %0.48 artış görülmüştür.

Kül katkılı ve katkısız harçlarda ağırlık değişimi zamanla artmaktadır. Küllü harçlarda, kül oranı arttıkça ağırlık artış yüzdesi azalmaktadır. Bu değişim, 5 serisi harçlardan 5BS grubu ile 6 serisinden B grubunda ağırlık artışı, diğer her iki serinin kalan gruplarında şahit harca göre ağırlık azalması şeklindedir. 6 serisinin C grubu harçları suya konduğu ilk 14. günde ağırlık kaybetmiş, daha sonra 84. günden itibaren 180. güne kadar D grubu ile benzer ağırlık artışı göstermiştir.



Harçlarda kül miktarının artması ile ağırlık artış yüzdesinin şahite göre zamanla azalmasını, Cohen, Bentur, (1988) ve Jennings, (1988) küllü harçların hidrasyon ürünlerinin özgül ağırlığına bağlı olarak değiştiği şeklinde açıklamaktadır.

Cook et al,(1983) ağırlık artışını küllü harçların su tutma yeteneğinden ileri geldiği şeklinde izah etmektedirler. Oysa burada kül oranı arttıkça ağırlığın başlangıca göre fazla artmadığı görülmüştür.

Genel olarak su içinde tüm harçlarda, 150 günden sonra ağırlık artış hızında bir azalma başlamış ve bazı harç gruplarında sabitleşme eğilimi görülmüştür.

Bu davranış ise harçlarda zamanla meydana gelen hidrasyon ürünlerinin kararlı duruma geçmesi şeklinde düşünülebilir.

Montgomery et al (1981) ağırlık değişimini uçucu küllü harçlarda, uçucu kül parçacıklarının çekirdek noktalar olarak hareket ettiği ve belki mikro çatlakları azaltma eğiliminde olan mekanizmalara yardım ettiği şeklinde yorum getirmiştir.

Yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından her iki seride benzerdir, etkin kül oranının ise %24 olduğu görülür.

### **Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar**

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.53,54'de görüldüğü gibi, katkısız harcın 180. günde %0.12 artış olmuştur. 5 serisinin 5BN1 grubunda %1.06, 5CN1 grubunda %0.98, 5DN1 grubunda %0.44 artış görülmüştür. Aynı çözeltideki 6 serisinde ise 6BN1 de %1.00, 6CN1 de %0.52, 6DN1 de %0.03 lük artış olmuştur.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde saklanan tüm harçlarda zamanla ağırlık artışı olmuştur.

Küllü harçların 5 serisinin B, C ve 6 serisinin B gruplarında ağırlık artmış, diğer gruplarda şahit harca göre düşme görülmüştür. Bu ortamda 150. günden sonra ağırlık artışında bir sabitleşme olmuştur. Bu ortamda da görüldüğü gibi % 24 küllü harçlarda şahit harca göre ağırlıklarda düşme görülmüştür.



Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.53,54 incelendiğinde yakma sıcaklığı yönünden her iki seride benzerdir. Etkin kül oranı ise her iki seride de %24 olduğu görülür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.55,56'da görüldüğü gibi, katkısız harcın 180. gündeki artışı %0.72'dir. 5BN4 grubunda %1.05, 5CN4 grubunda %1.48, 5DN4 grubunda %0.30'luk artış görülmüştür. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde ise 6BN4 de %1.51, 6CN4'de %0.39, 6DN4'de %0.44 artış görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde saklanan tüm harç gruplarında zamanla ağırlık artışı görülmüştür. Ağırlık değişimi şahit harca göre başlangıçtan itibaren 5 serisinin B ve C gruplarında daha yüksek, D grubu harçlarda daha düşüktür. 6 serisinin B grubu şahide göre daha yüksek, C ve D grubu harçların ağırlıkları daha düşük değerler almıştır.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfatta şahit harcın 180. gündeki ağırlık artışı %0.12 iken, bu ortamda %0.7 dir. 6BN1 %1 iken burada 6BN4 %1.51dir. Ayrıca 6DN1 %0.03 iken, 6DN4 %0.44 dür. Görüldüğü gibi ağırlık değişimleri 180. güne kadar vardır fakat büyük değerlerde değildir.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.55,56 incelendiğinde yakma sıcaklığı yönünden her iki seride benzerdir. Etkin kül oranı ise her iki seride de %24 olduğu görülür.

#### **Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanan grup**

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.57,58'de görüldüğü gibi, katkısız harcın 180. günde %0.64 artış, 5BM1 grubunda %1.14, 5CM1 grubunda %1.53, 5DM1 grubunda %0.50'lik artış görülmüştür. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde ise 6BM1'de %1.22, 6CM1'de %0.57, 6DM1'de %0.91 artış olmuştur.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan harçlarda zamanla ağırlık artışı olmuştur. Küllü harçlarda ağırlık değişimi, 90.

günden itibaren azalma ve sabitleşme eğilimi göstermişlerdir. 5 serinin B ve C grubu harçların ağırlıkları şahit harca göre 180. günde daha yüksek, D grubu ise daha düşüktür. 6 serisinin B ve D grubu şahide göre yüksek, C grubunun ağırlığı daha düşüktür.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.57,58 incelendiğinde yakma sıcaklığı yönünden her iki seride benzerdir. Etkin kül oranı ise her iki seride de %24 olduğu görülür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.59,60'da görüldüğü gibi, katkısız harcın 180. günde %0.59 artış olmuştur. 5 serisinin 5BM4 grubunda %1.04, 5CM4 grubunda % 0.50, 5DM4 grubunda %0.41 artış görülmüştür. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde ise 6BM4'de %1.15, 6CM4'de %0.14, 6DM4'de %0.05 artış olmuştur.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan harçlarda başlangıca göre zamanla ağırlık artışı olmuştur.  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit harcın 180. gündeki ağırlık değişimi değeri %0.642 iken, bu ortamda şahit harcın değeri %0.586 dır. Küllü harçlarda ağırlık değişimi 90. günden itibaren azalma ve sabitleşme eğilimi göstermişlerdir. 5 serisinin BM1 grubu 180. günde %1.14 iken, 5BM4 %1.04; 5CM1 %0.53 iken, 5CM4 %0.50; 5DM1 %0.50 iken, 5DM4 %0.41'dir. 6 serisinin 10000 ve 40000 mg/L olan konsantrasyondaki değişimi ise, 6BM1 %1.22 iken, 6BM4 %1.15'dir, 6DM1 0.91 iken 6DM4 %0.05dir. Her iki seride ve her iki ortamda da %24 küllü harçların ağırlıkları şahit harca göre 180. günde daha düşük değerler almıştır.

Cohen, Bentur (1988) magnezyum sülfat eriyiğinin etkisi ile numunelerdeki kütle ve mukavemet kaybına bağlı olarak C-S-H'ın yumuşadığını görmüş, magnezyum sülfat etkisi için silis dumanı'nın negatif etkisine işaret etmiştir.

Buğday sapı küllü harçlarda 180. günde magnezyum sülfat etkisi pek belirgin değildir. Ayrıca 180. günde numunelerde gözle görülür parçalanma, çatlama dökülme ve yumuşama gibi değişimler görülmemiştir. Mukavemet artış değerleri bakımından Tablo 4.1 incelendiğinde  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisindeki davranışların diğer çözeltilerden pek farkı olmadığı görülür.

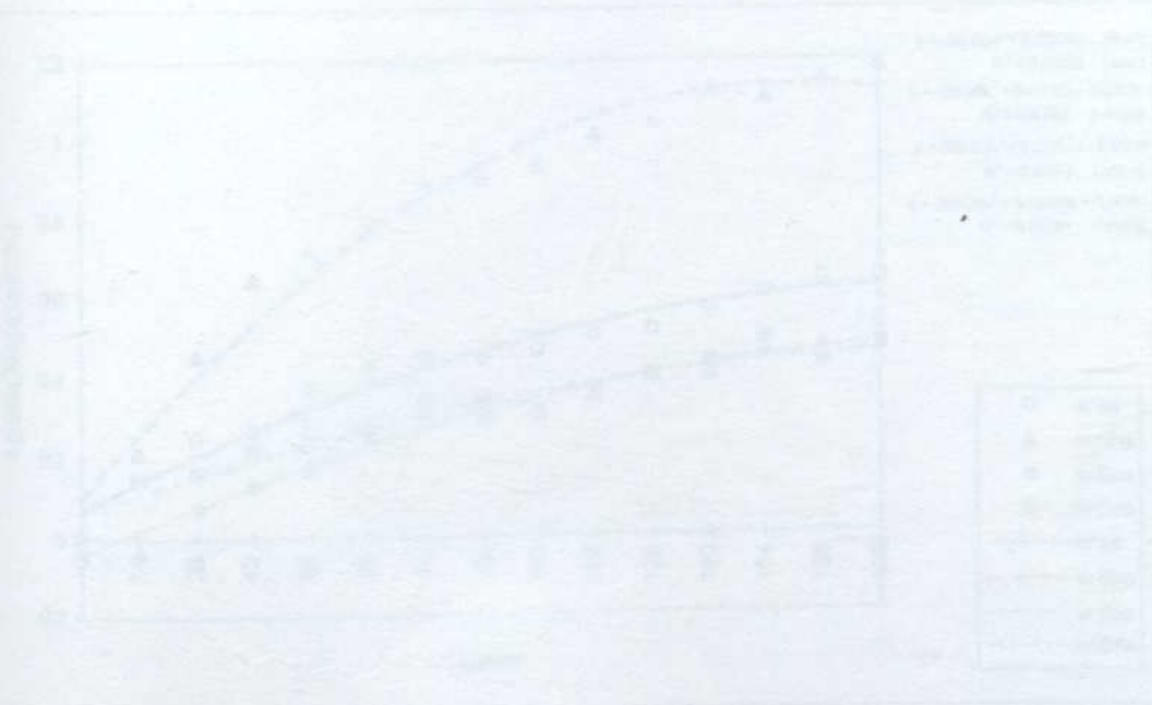




Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.59,60 incelendiğinde, 180. güne kadar gerek suda gerekse sülfat konsantrasyonlarında tüm kül grupları benzerdir. Ancak ağırlık değişimi en az olan kül grubu ise %24 olduğu şeklindedir.

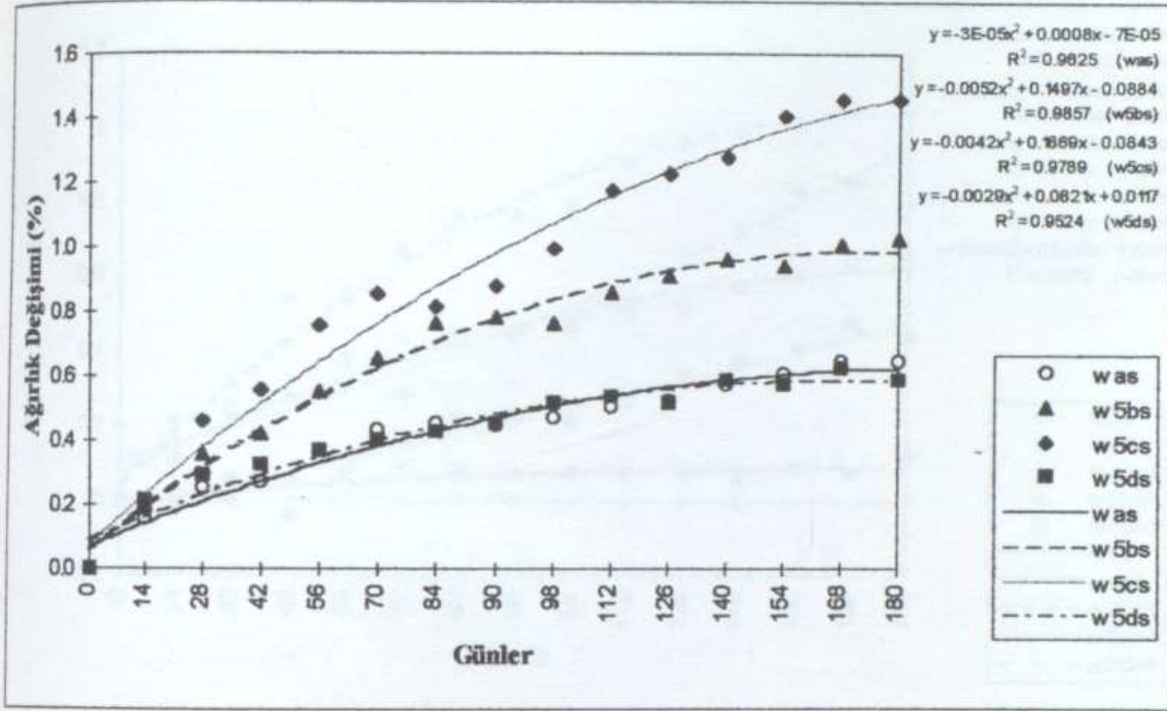


Şekil 4.59. Bu sıcaklık bakımından 3 farklı yakma sıcaklığında yakma süresi 180 güne kadar ağırlık değişimi

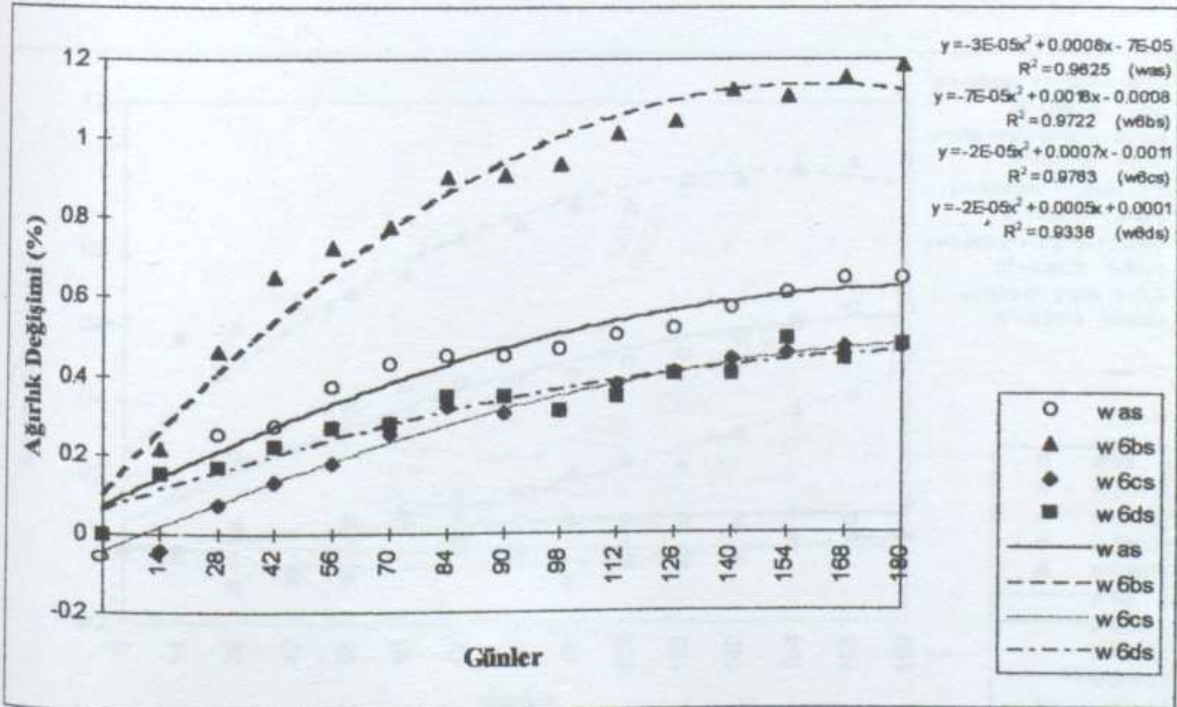


Şekil 4.60. Bu sıcaklık bakımından 3 farklı yakma sıcaklığında yakma süresi 180 güne kadar ağırlık değişimi





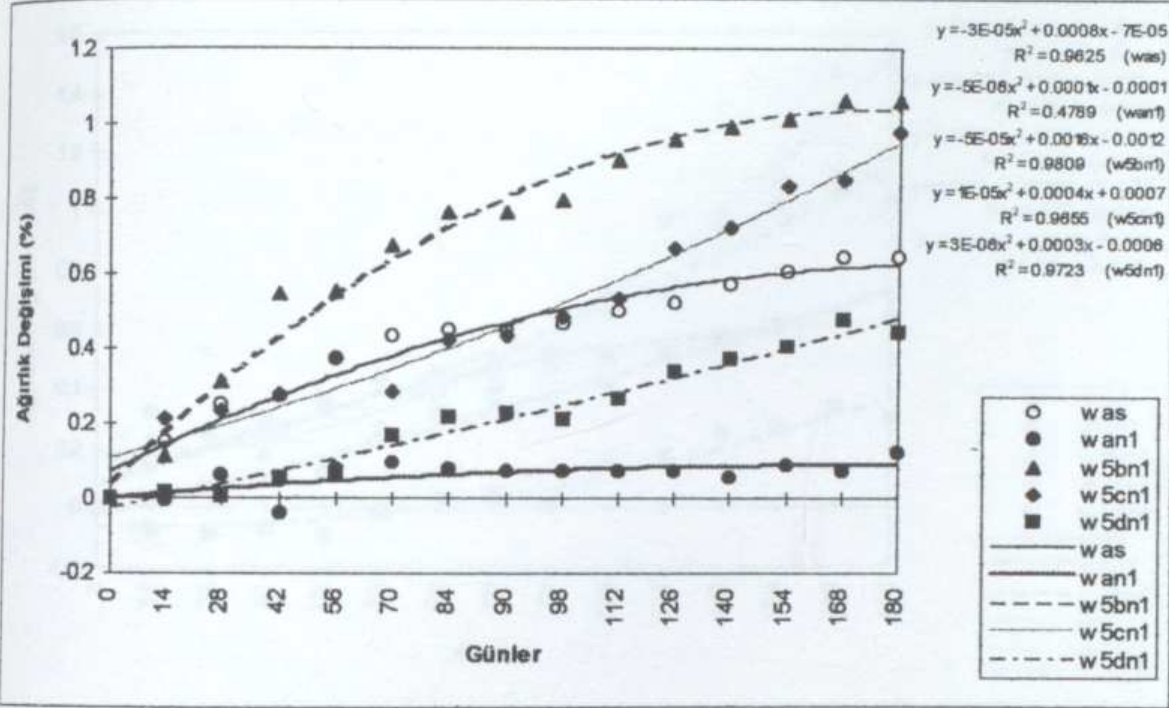
Şekil 4.51 Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi



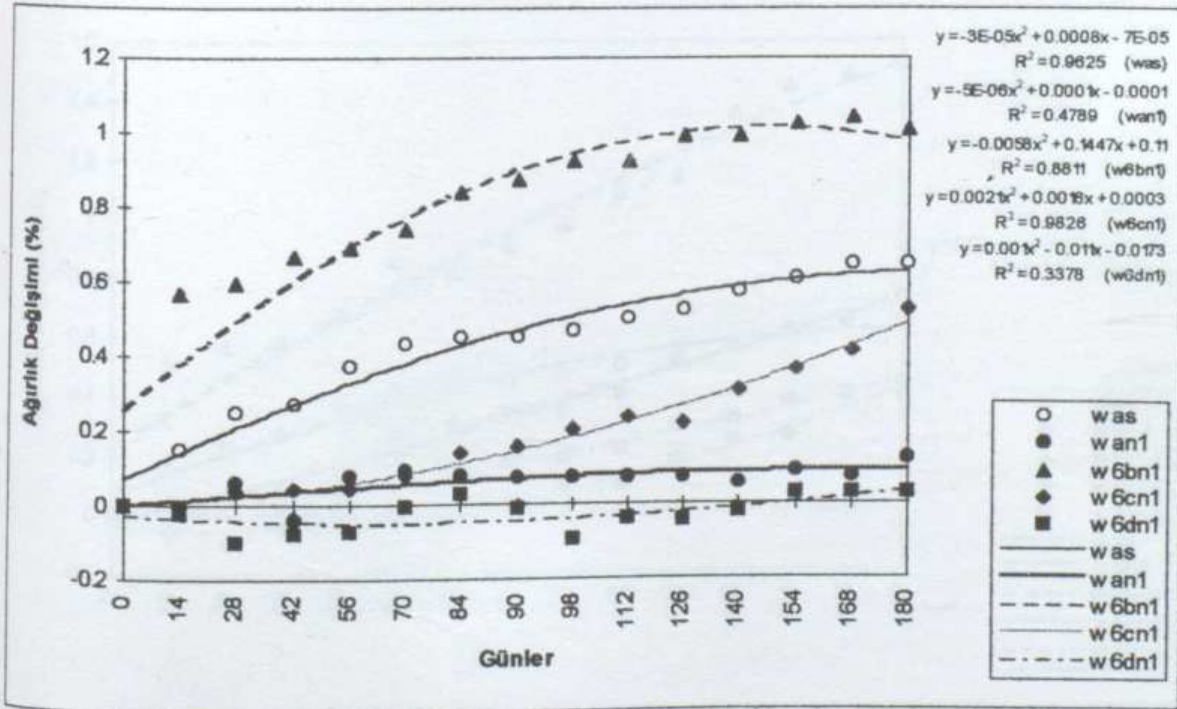
Şekil 4.52 Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi





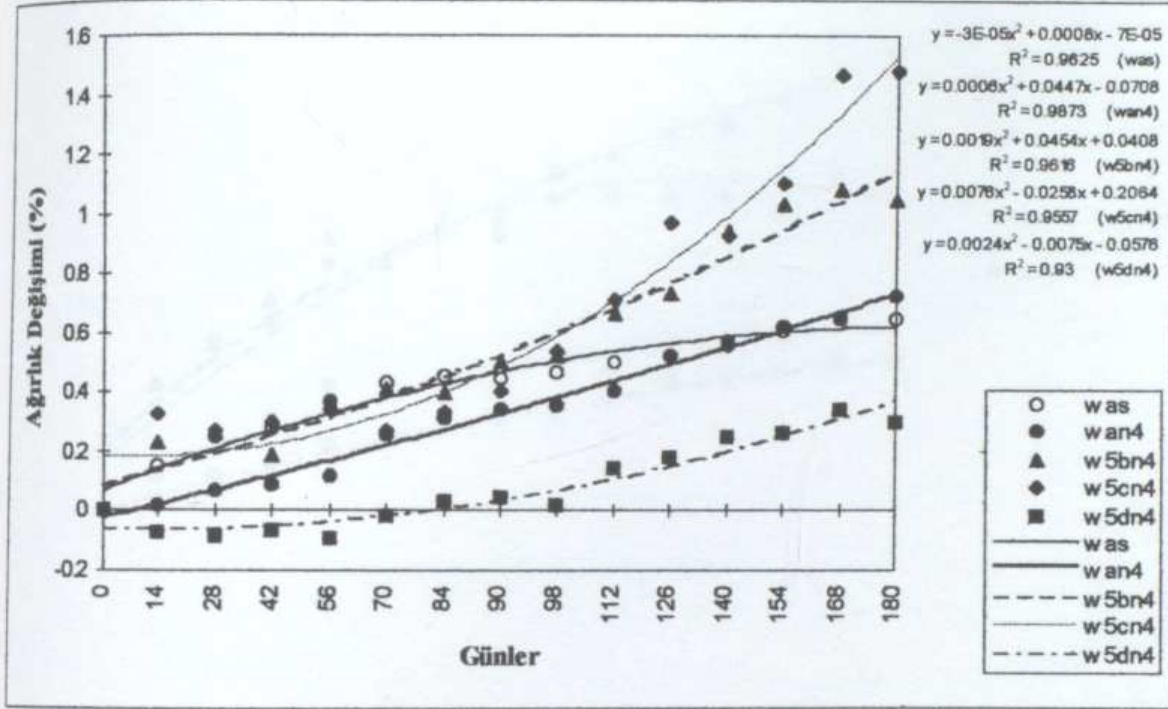


Şekil 4.53 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi

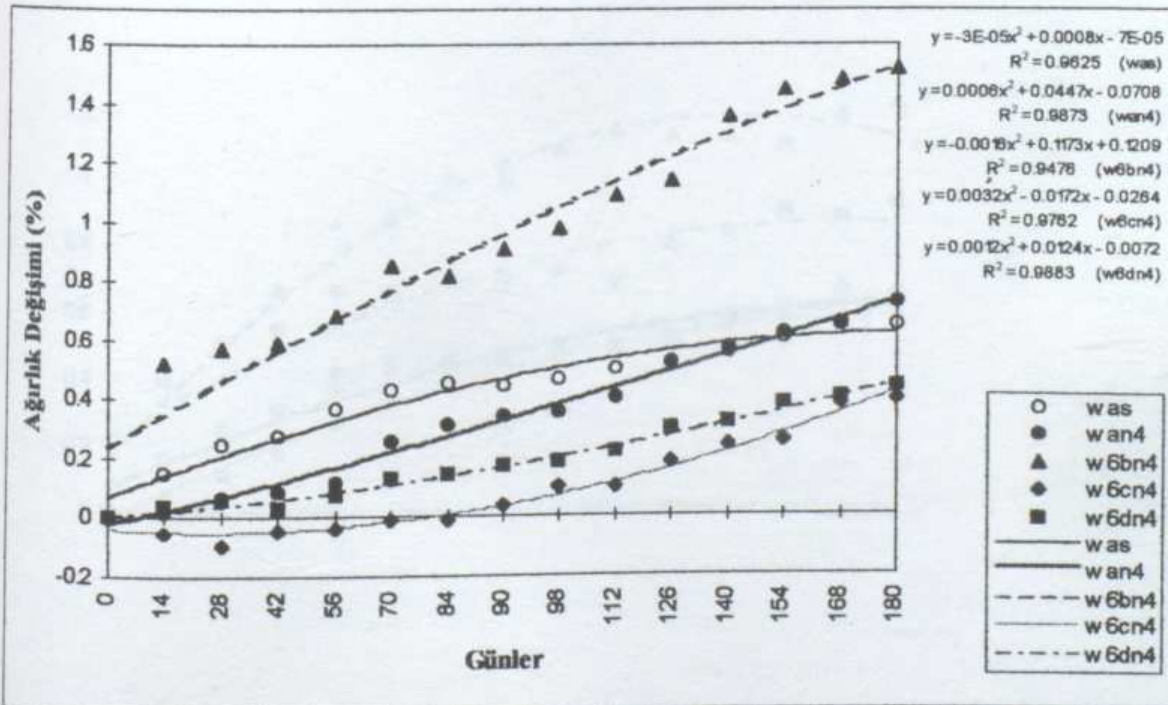


Şekil 4.54 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi



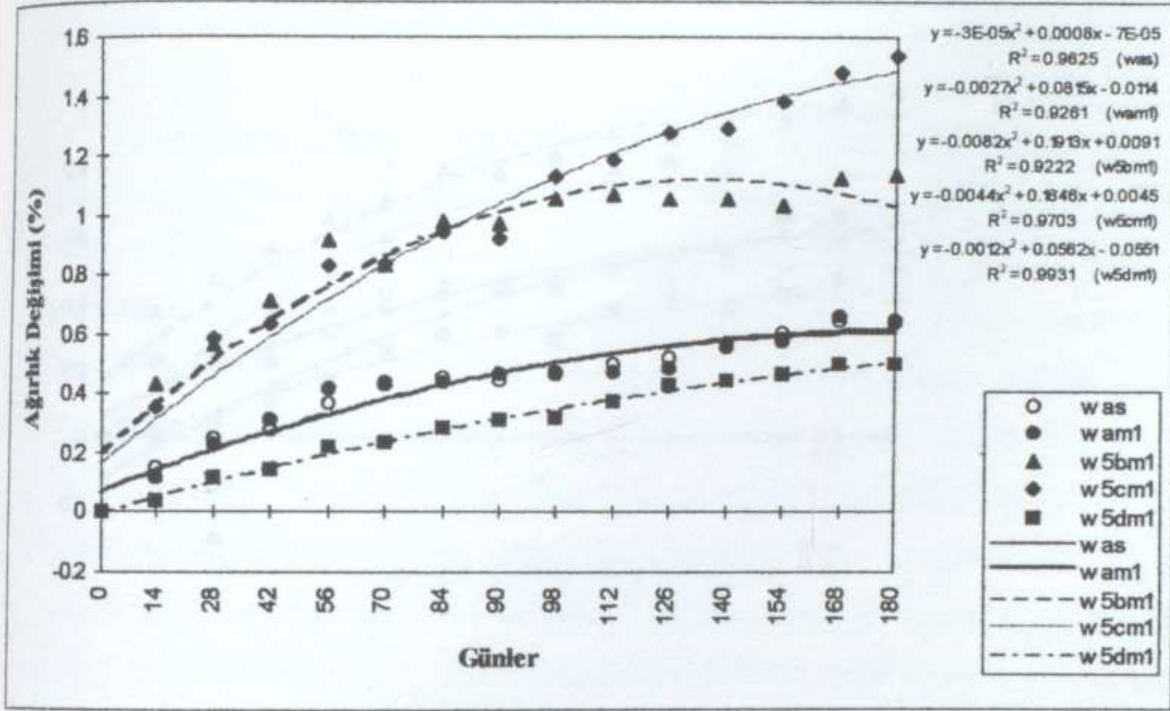


Şekil 4.55 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi

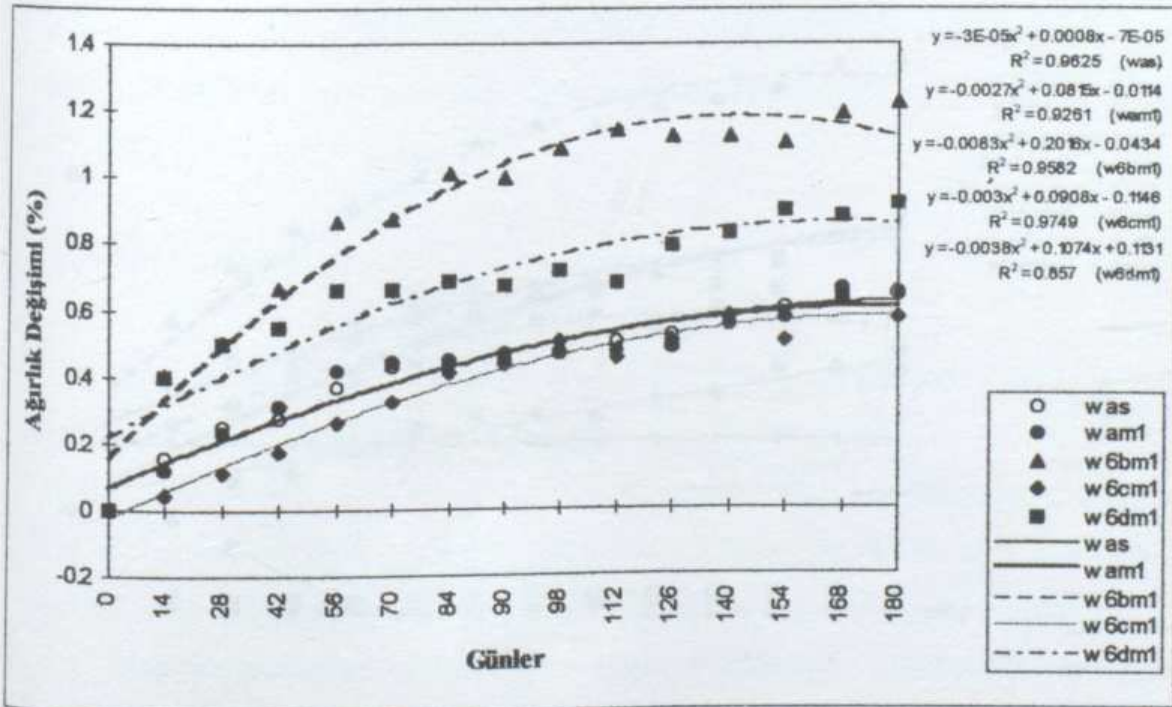


Şekil 4.56 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi

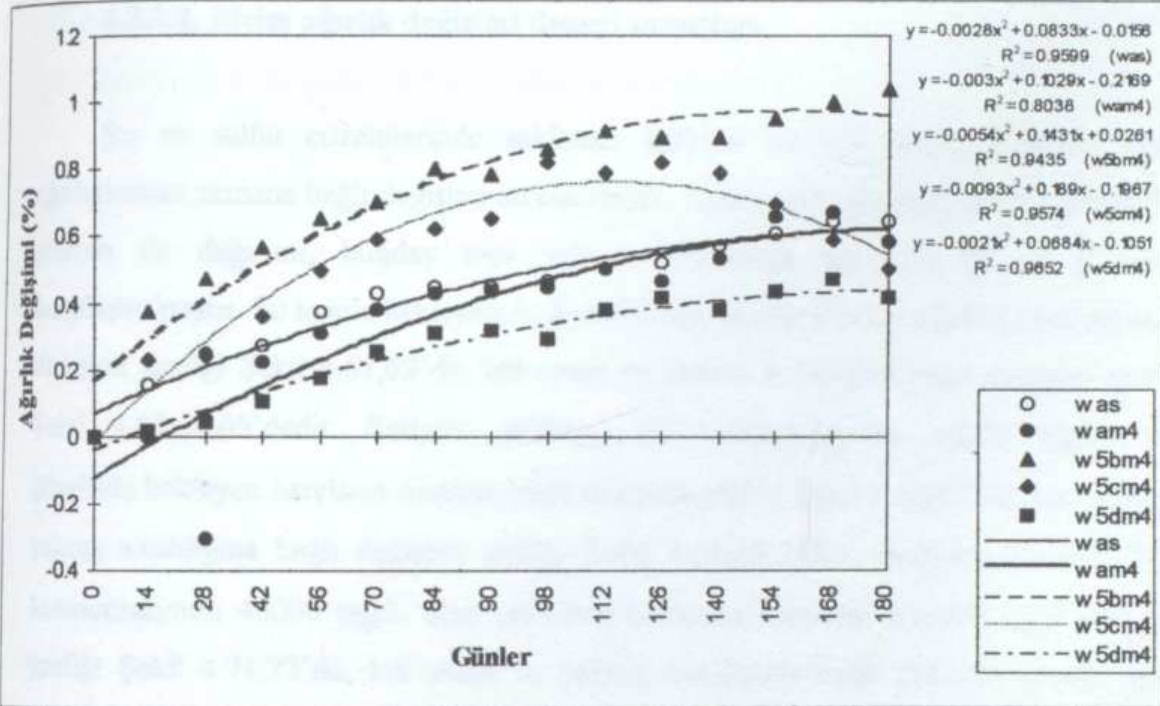




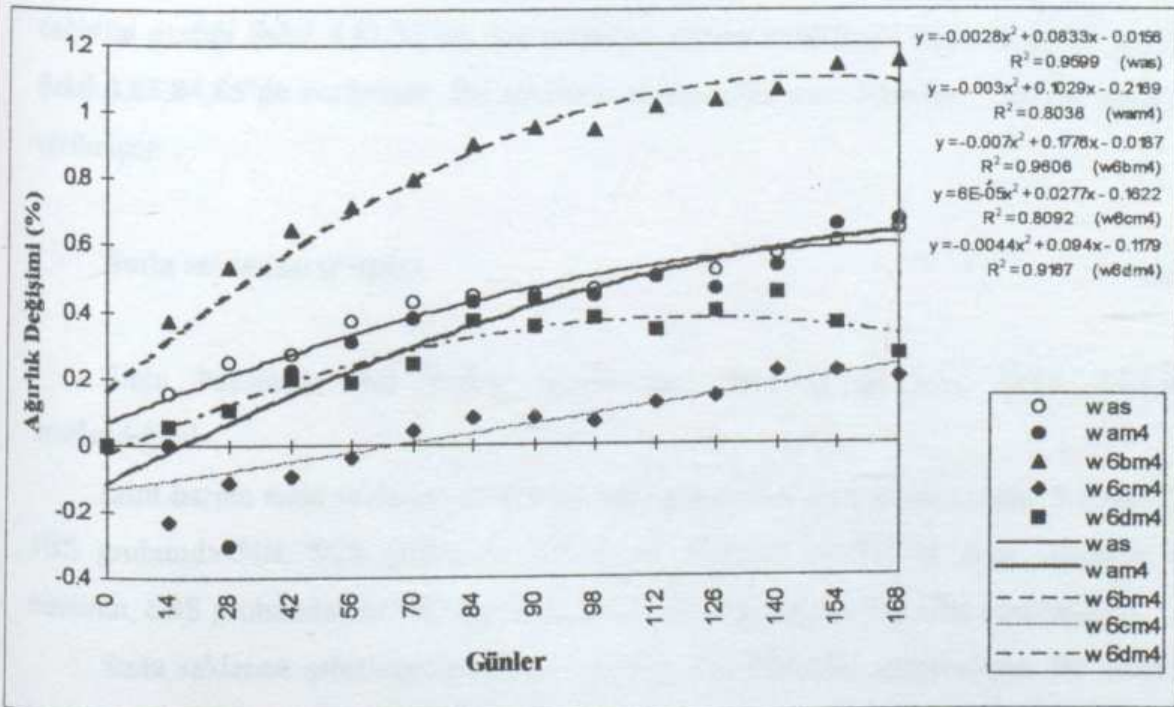
Şekil 4.57 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi



Şekil 4.58 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi



Şekil 4.59 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi



Şekil 4.60 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı ağırlık değişimi



#### 4.2.2.2. Birim ağırlık değişimi deneyi sonuçları

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan katkısız ve kül katkıli harçların birim ağırlıklarının zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Ayrıca 180. gündeki birim ağırlığın kül miktarı ile değişimi, buğday sapı yakma sıcaklığına göre de (5 ve 6 serisi) karşılaştırılmıştır. Su içinde bekleyen A, 5 ve 6 serisi harçların birim ağırlıklarının zamanla değişimi grafiği Şekil 4.61,62'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.63,64,65'dedir. Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.66,67'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.68,69,70'de; Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.71,72'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.73,74,75'de; magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.76,77'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.78,79,80'de; magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.81,82'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.83,84,85'de verilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir

#### Suda saklanan gruplar

Suda bekletilen kül katkıli ve katkısız harç gruplarında, Şekil 4.61,62 incelendiğinde,

şahit harcın suda saklanan grubunda 180. günde %1 artış gözlenmiştir. 5 serisinin, 5BS grubunda %0, 5CS grubunda %2 düşüş, 5DS'de ise %1'lik artış olmuştur. 6 serisinin, 6BS grubunda %1, 6CS grubunda %3, 6DS grubunda %0 artış görülmüştür.

Suda saklanan şahit harçlarda birim ağırlık zamanla artış göstermiştir. Bu artışlar bütün gruplarda çok küçük miktarlardadır. Birim ağırlık değişimi, 5 serisinin 5B ve 5D grubu harçlarında artış, 5C grubu harçlarında ise başlangıç değerine göre 180. günde

düşme şeklindedir. 6 serisinin her üç harç grubunun birim ağırlığı zamanla artış göstermiştir. Her iki serinin küllü grupları şahit harçla benzer davranış göstermişlerdir.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.63,64,65 incelendiğinde, her iki seri harç grubu da benzerdir.

### **Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar**

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilinde saklanan grupların birim ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.66,67'de görüldüğü gibi, şahit harç başlangıç değerine göre 180. günün sonunda % 3'lük bir artış göstermiştir. 5 serisinde, 5BN1 grubu %2, 5CN1 grubu %1, 5DN1 grubu %0'lik artış olmuştur. 6 serisinde, 6BN1 grubunda %2, 6CN1 grubunda %2, 6DN1 grubunda %0 artış görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilinde saklanan şahit ve küllü harçlarda birim ağırlık zamanla artmıştır. Birim ağırlık değişimi şahit ve küllü harçlarda benzerdir. Bu ortamda da sudaki benzer davranış görülmektedir. Şahit harcın birim ağırlığı tüm küllü harçlardan daha yüksektir. Zamanla artışlar her grup için başlangıç değerine göre 180. günde de aynıdır.

Yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından Şekil 4.68,69,70 incelendiğinde, etkin yakma sıcaklığı  $670^\circ C$ , etkin kül oranı her iki seride de %24 olduğu görülür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilinde saklanan grupların birim ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.71,72'de görüldüğü gibi, şahit harç, başlangıç değerine göre 180. günün sonunda %3'lük bir artış göstermiştir. 5 serisinin 5BN4 grubunda %2 artış, 5CN4 grubunda %0, 5DN4 grubunda %1'lik düşüş görülmüştür. 6 serisinin 6BN4 grubunda %2 artış, 6CN4 grubunda %0, 6DN4 grubunda %1'lik düşüş görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilinde saklanan şahit harçta birim ağırlık zamanla artış göstermiştir. Küllü harçlarda her iki serinin bazı gruplarında birim ağırlık zamanla artarken, bazı gruplarında azalma



görülmüştür. Bu değişim 5 serisinin 5B ve 5C gruplarında 180. günde artış, 5D grubunda 56. günden sonra 180. güne kadar düşme şeklindedir. 6 Serisinin 6B ve 6C gruplarında 180. güne kadar artış, 6D grubunda başlangıçtan itibaren 56. güne kadar düşme, 90. güne kadar artış, daha sonra 180. güne kadar düşme şeklindedir. Değişimdeki artma ve azalma değerleri çok küçük mertebededir. Örneğin şahit harçta başlangıça göre %3'lük artış olmuştur. 5D grubunun 90. günden sonra 180. güne kadarki düşme oranı %0.2'dir.

Bu verilerin tümüne bakıldığında, ağırlık değişiminde olduğu gibi kül oranı artıkça birim ağırlık azalmaktadır. Tablo 3.12 de taze harçların birim ağırlığında da bu durum gözlenmiştir. Küllü harçların birim ağırlıklarının şahit harca göre düşük oluşu külün özgül ağırlığının çimentodan küçük olması şeklinde açıklanmıştır.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.73,74,75 incelendiğinde, her iki serinin de benzer olduğu görülür. Etkin kül oranı ise her iki seride de %16'dır.

#### **Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanan grup**

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların birim ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.76,77'de görüldüğü gibi, şahit harç başlangıç değerine göre 180. günün sonunda %3'lük bir artış göstermiştir. 5 serisinin 5BM1 grubunda %1, 5CM1 ve 5DM1 grubunda %0'lık artış olmuştur. 6 serisinin 6BM1 grubunda %1, 6CM1 grubunda %2, 6DM1 grubunda %0 artış görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan şahit ve kül katkılı harçların birim ağırlıkları, genel olarak zamanla artmaktadır. Bu değişim 5 serisinin B grubunda artış, C ve D grubunda azalma şeklindedir. 6 Serisinin 6B ve 6C grubu harçlarda birim ağırlık artmış, 6D grubunda ise düşmüştür.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.78,79,80 incelendiğinde, her iki serinin de benzer olduğu görülür. Etkin kül oranı ise her iki seride de %24 dür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların birim ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.81,82'de şahit harç başlangıç değerine göre 180. günün sonunda %1'lik bir artış göstermiştir. 5 serisinin

5BM4 grubunda %1, 5CM4 ve 5DM4 grubunda %0'lık artış olmuştur. 6 serisinde, 6BM4 grubunda %0, 6CM4 grubunda %1'lik artış, 6DM4 grubunda %1'lik düşüş görülmüştür.

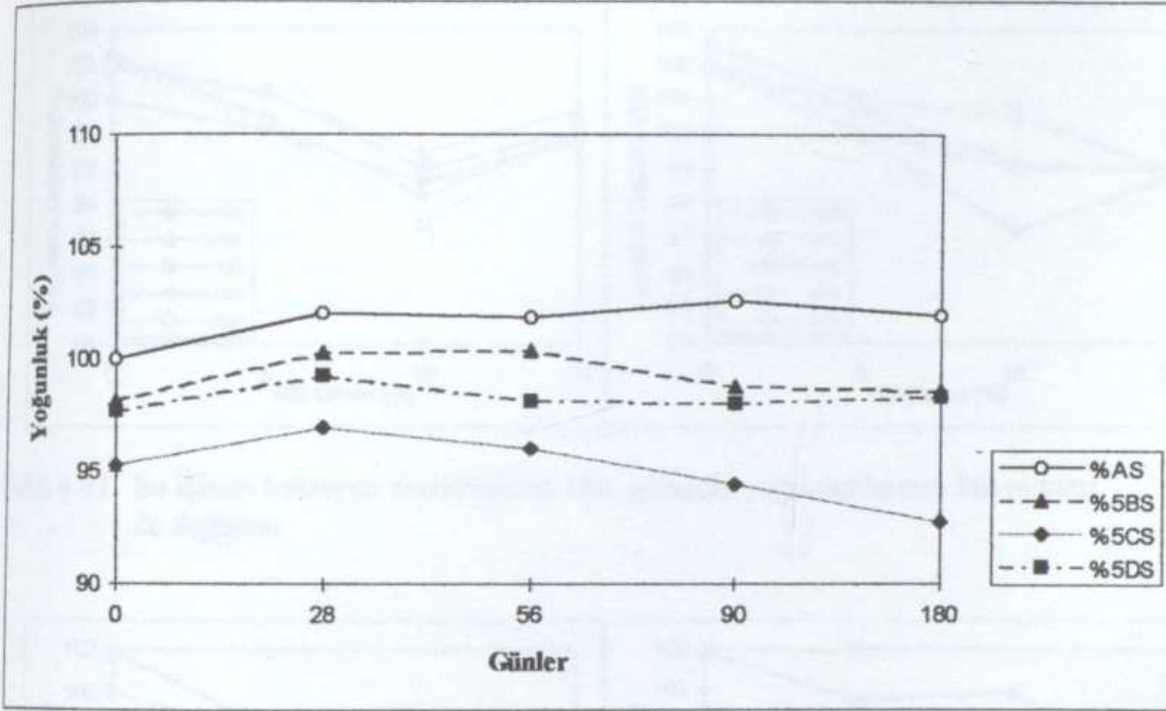
$SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde görüldüğü gibi, şahit harcın birim ağırlığı zamanla artmıştır. Küllü harçların birim ağırlıkları bazı harç gruplarında artarken bazı gruplarda düşmüş, bazılarında değişmemiştir. Küllü harçlarda birim ağırlık, 5 serisinin B grubunda zamanla artmış, C ve D grubunda değişmemiştir. 6 Serisinin 6B grubunda değişme olmamış, 6C grubu harçlarda artış, 6D grubu harçlarda düşme görülmüştür. Bu değişim farkları çok küçük değerlerde olup, her iki seride benzerdir.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından, Şekil 4.83,84,85 incelendiğinde, her iki seride benzerdir. Yakma sıcaklığı bakımından bütün çözelti ortamlarında, kül oranına bağlı olarak birim ağırlığın zamanla değişimi, 5 serisinin C grubu hariç, her iki seride benzer davranış göstermişlerdir.

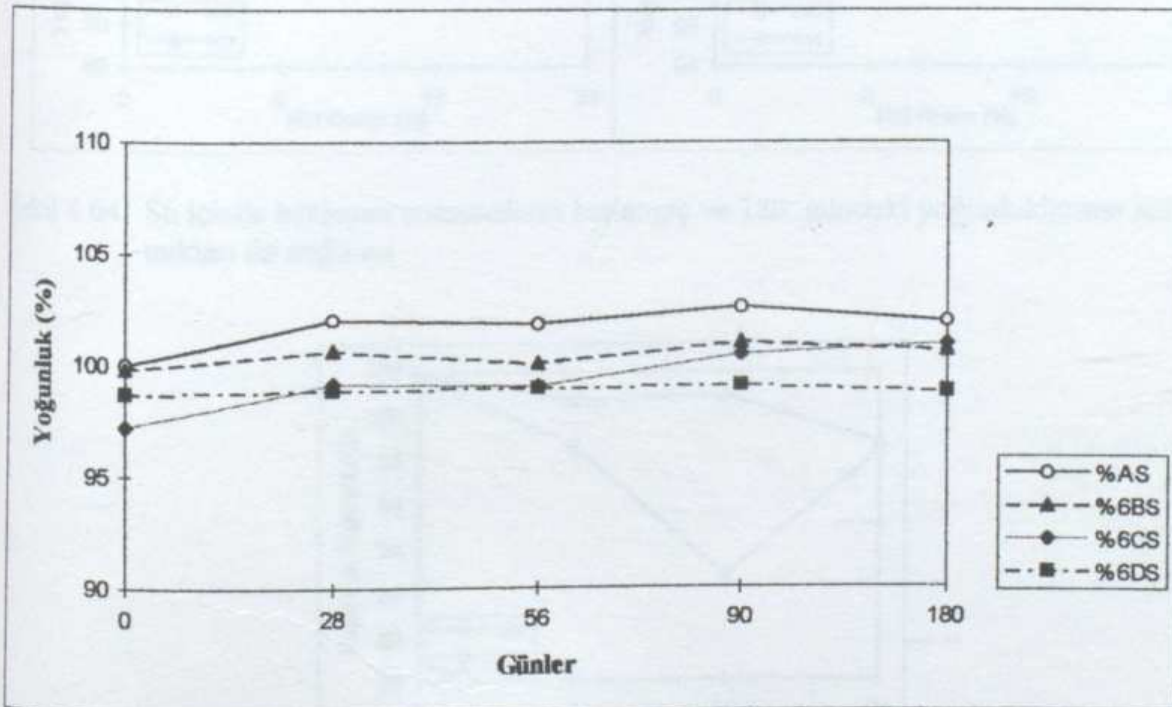
Birim ağırlık, kül oranına bağlı olarak azalmıştır. Bununda külün özgül ağırlığının, çimento özgül ağırlığından düşük olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yukarıdaki tablo ve şekillerin incelenmesinden, kül miktarının artmasıyla birim ağırlığın şahit harca göre azaldığı görülür. Su ve sülfattaki küllü harçların, birim ağırlığının şahite göre değişim değeri çok küçük mertebede olup, 180. günde küllü harçlarda sülfat etkisi pek belirgin değildir. Ayrıca su ve sülfat çözeltisinde saklanan harçlarda, kül miktarına bağlı değişikliğin birbirine benzediği görülmüştür.



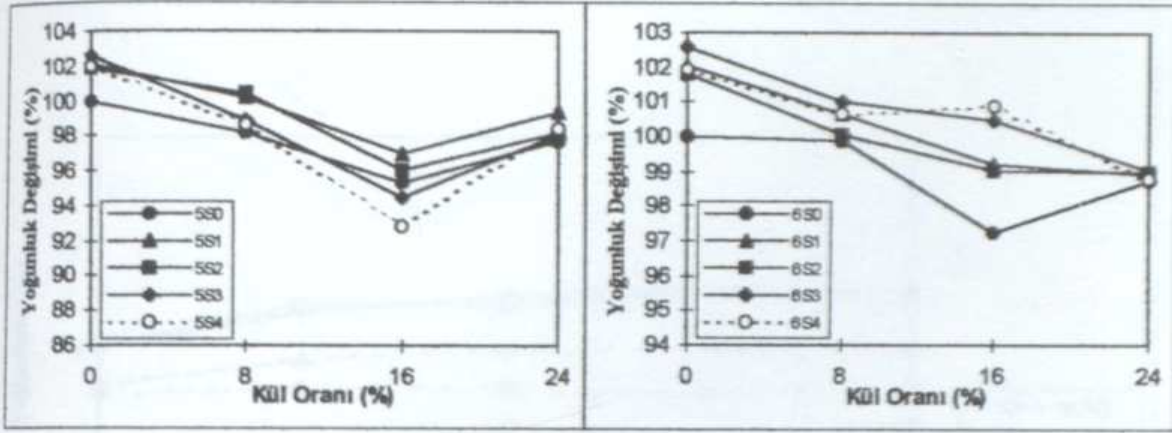


Şekil 4.61 Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi

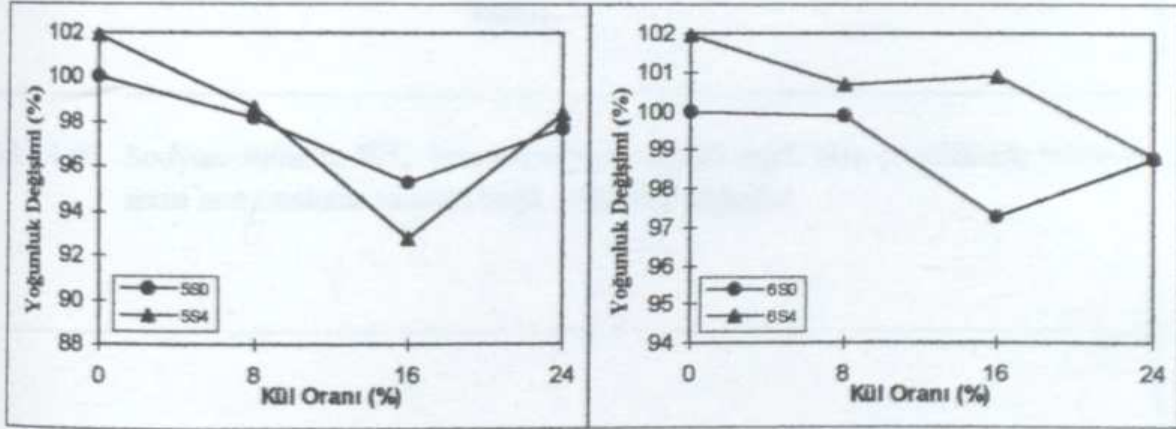


Şekil 4.62 Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi

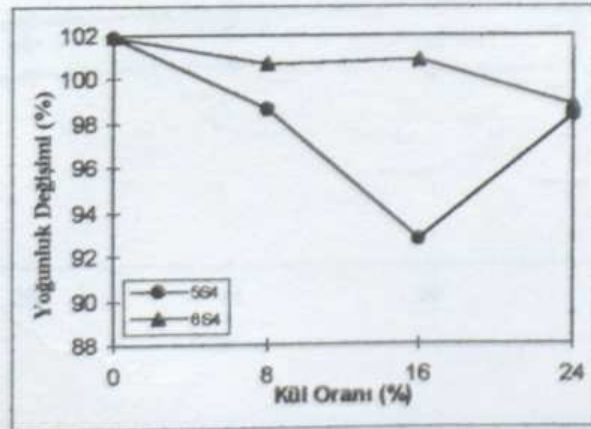




Şekil 4.63 Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi

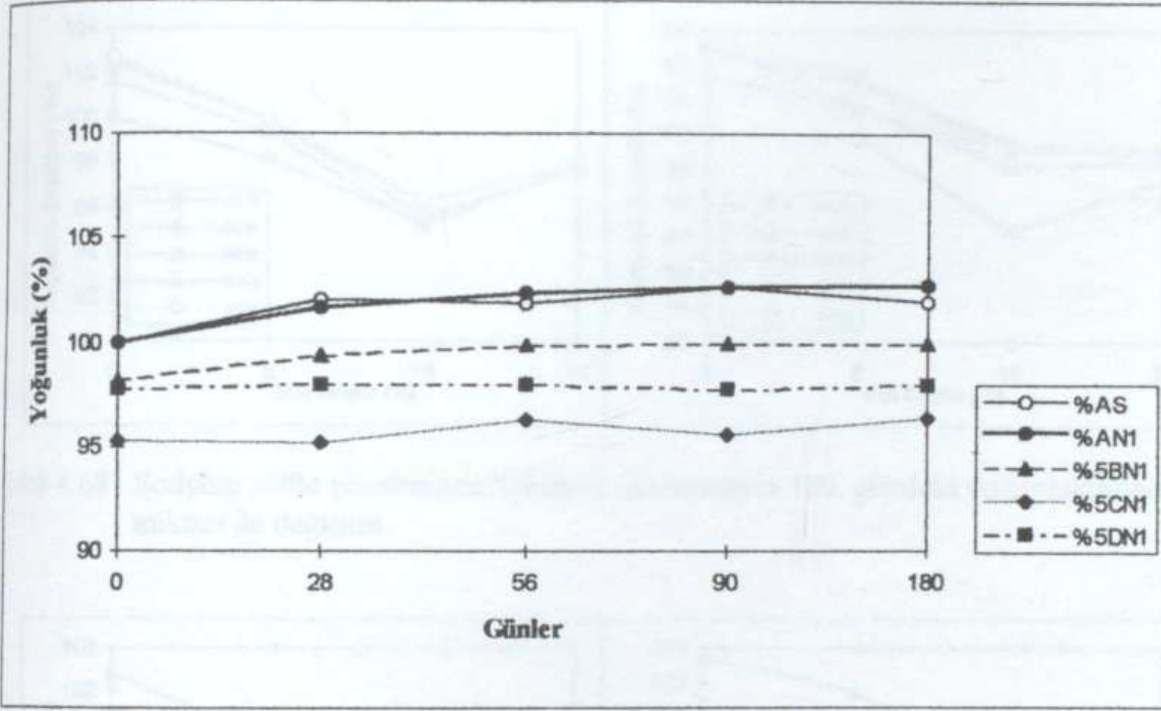


Şekil 4.64 Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi

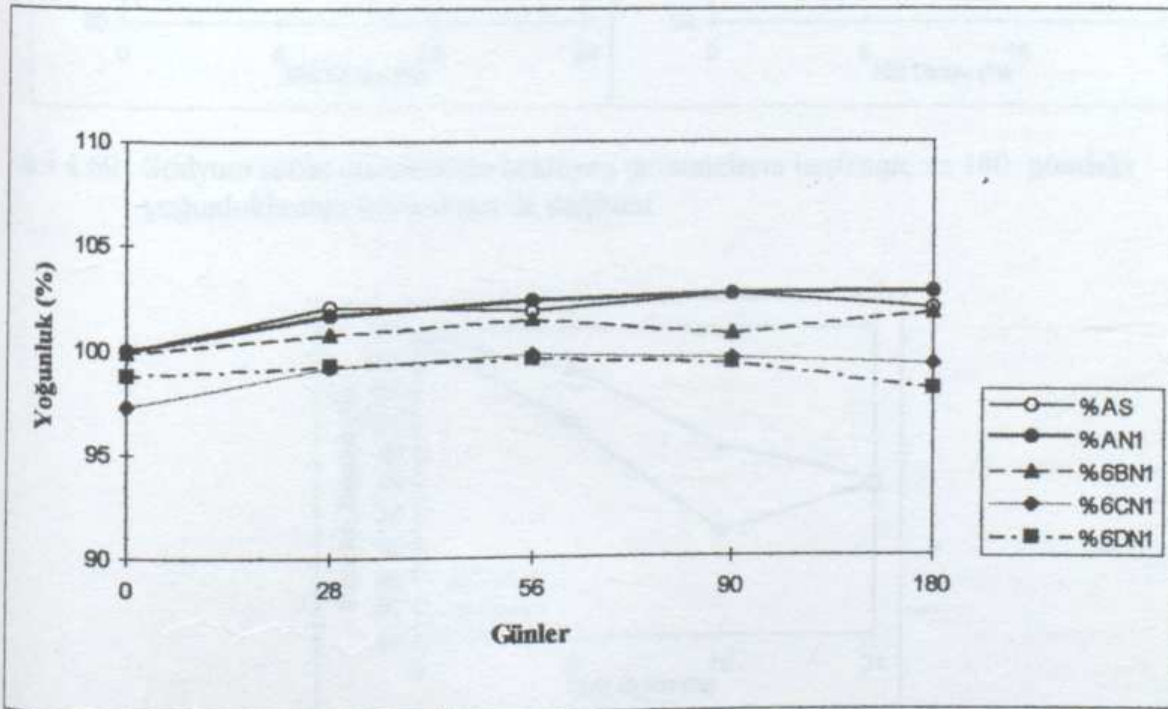


Şekil 4.65 Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde kül miktarı ile yoğunluklarının değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

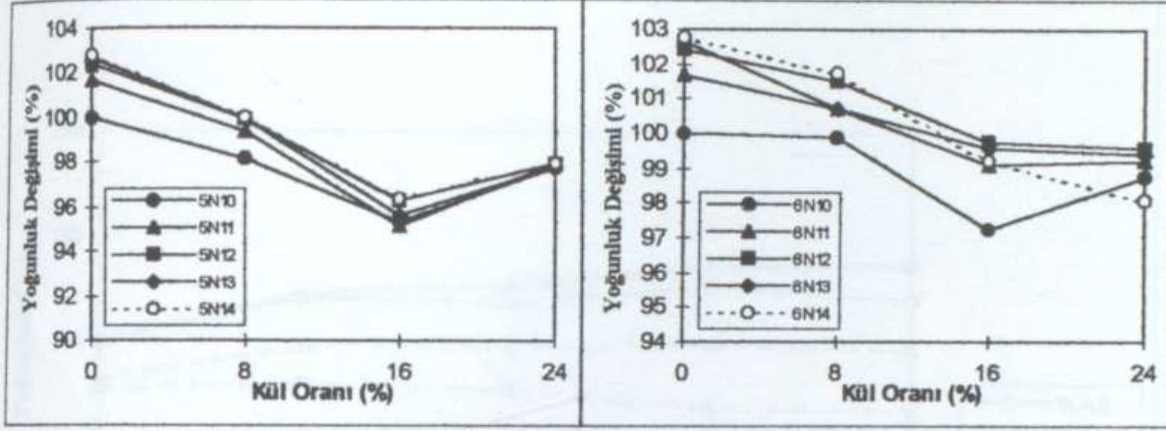




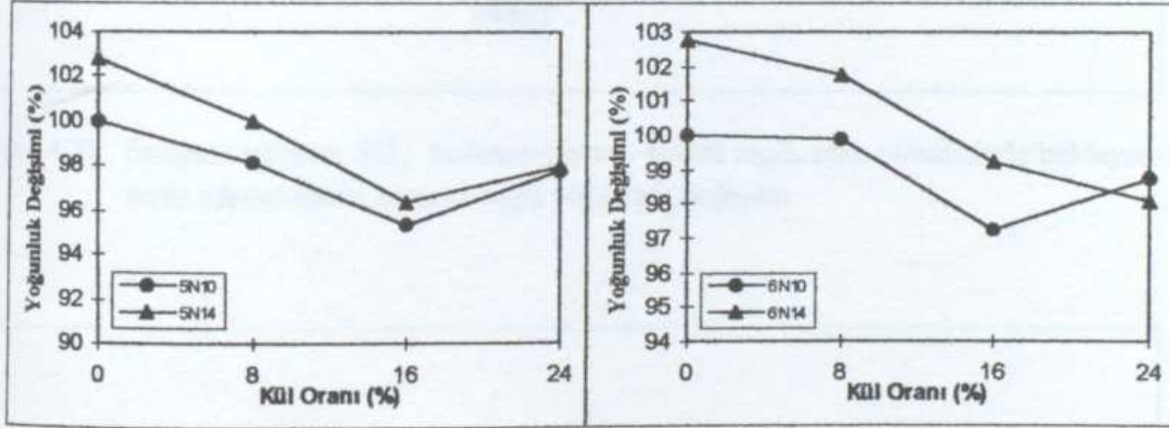
Şekil 4.66 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi



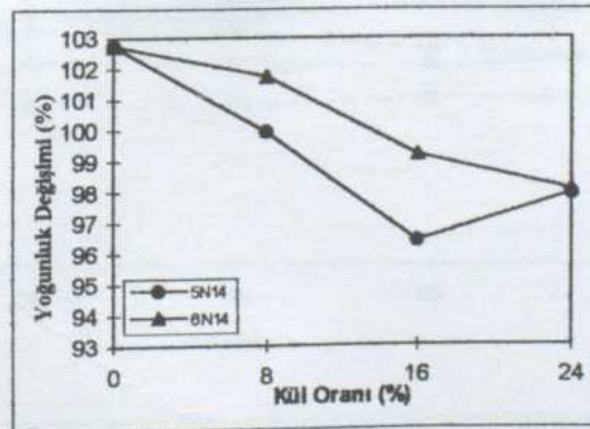
Şekil 4.67 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi



Şekil 4.68 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi

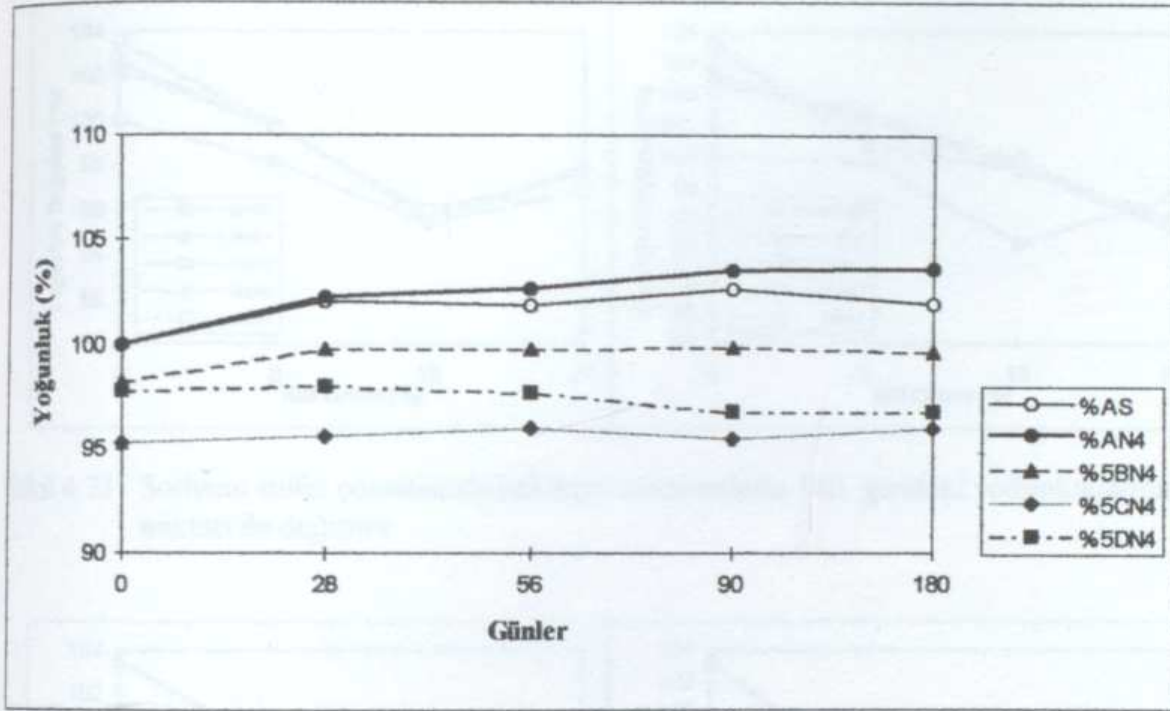


Şekil 4.69 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi

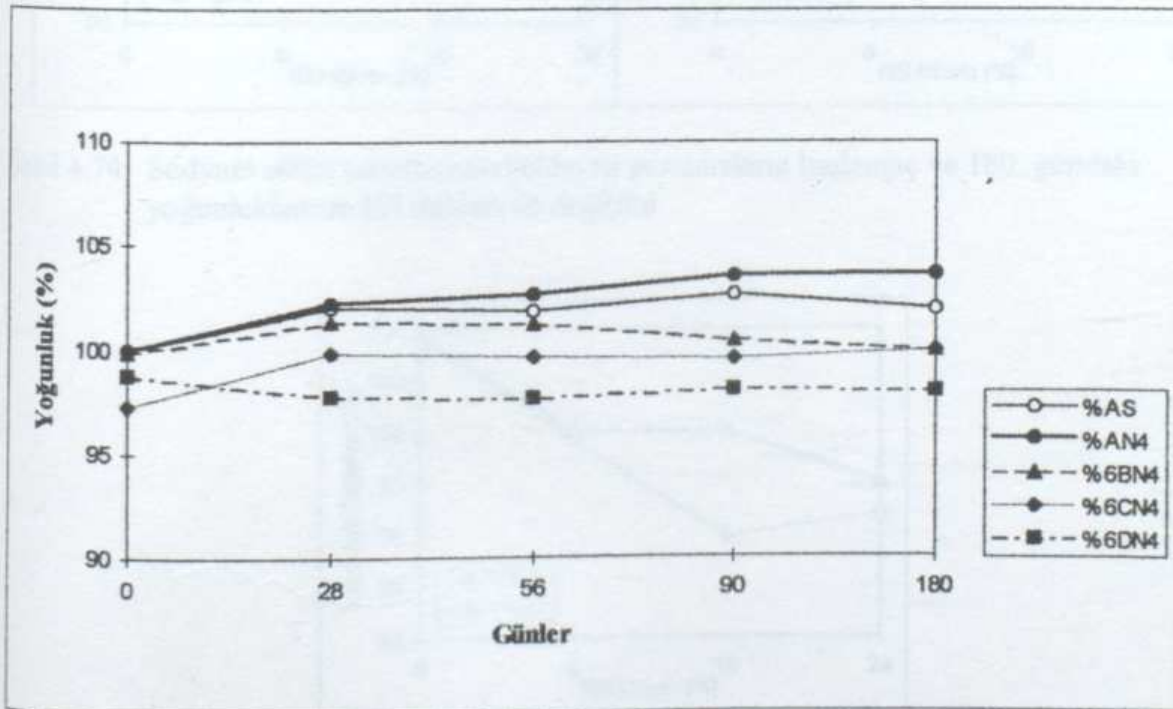


Şekil 4.70 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

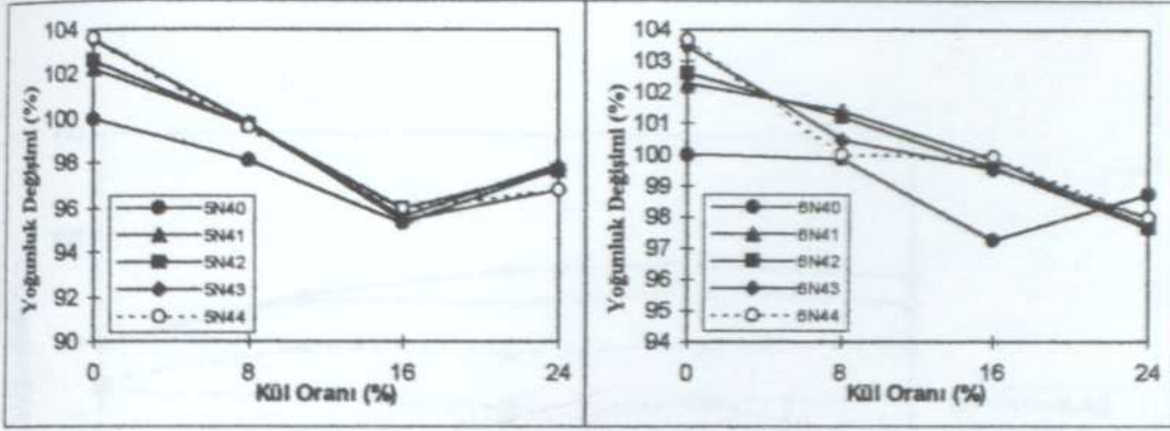




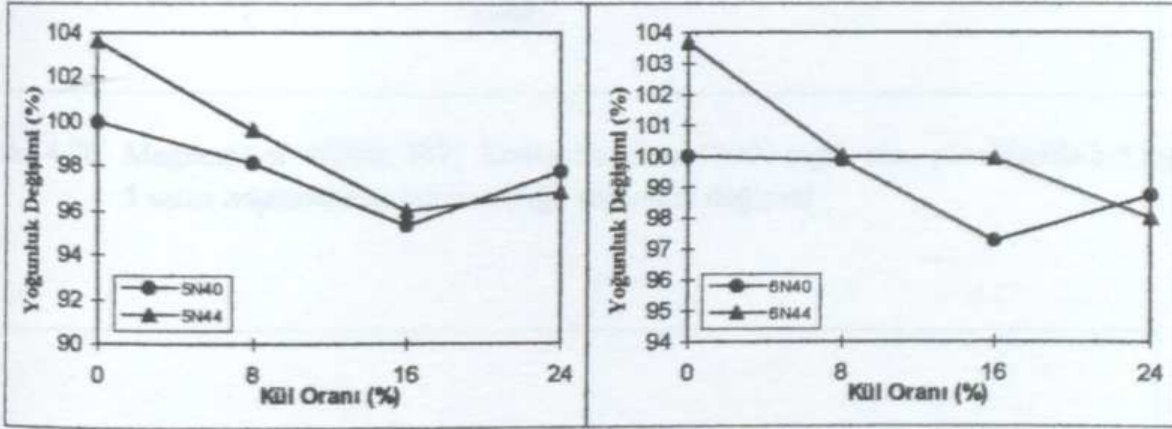
Şekil 4.71 Sodyum sülfatın,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi



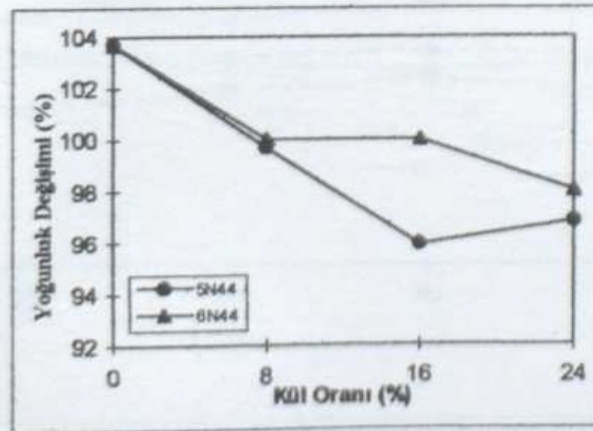
Şekil 4.72 Sodyum sülfatın,  $\text{SO}_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi



Şekil 4.73 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi

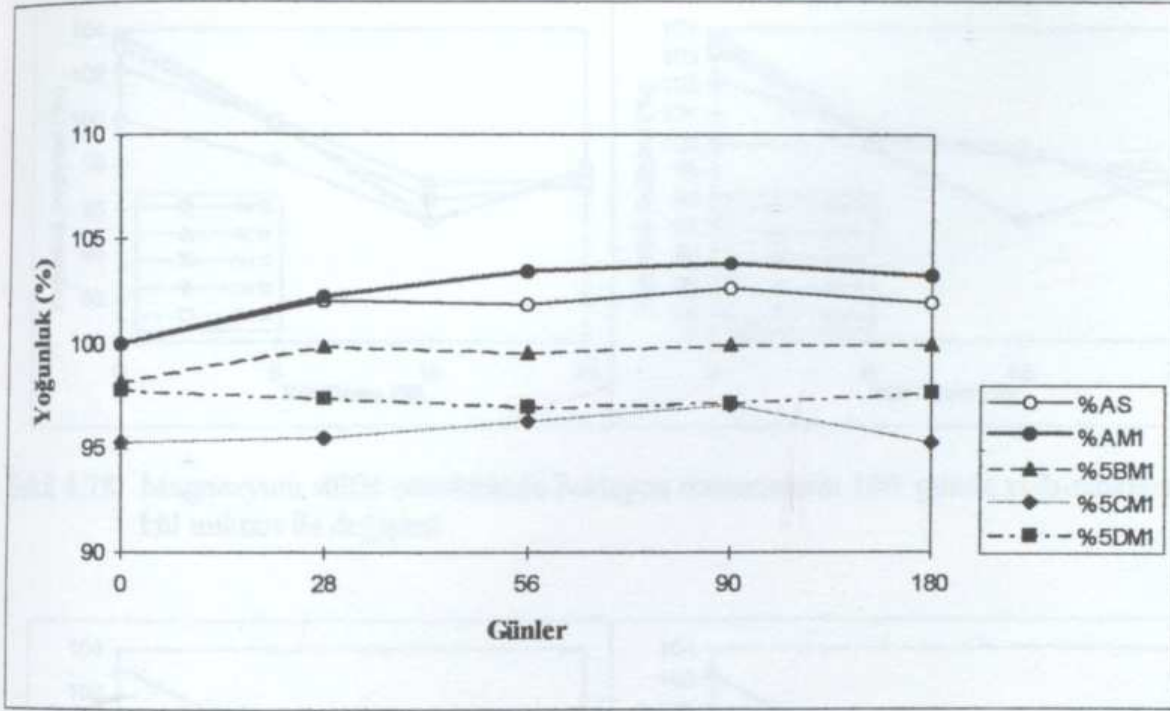


Şekil 4.74 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi

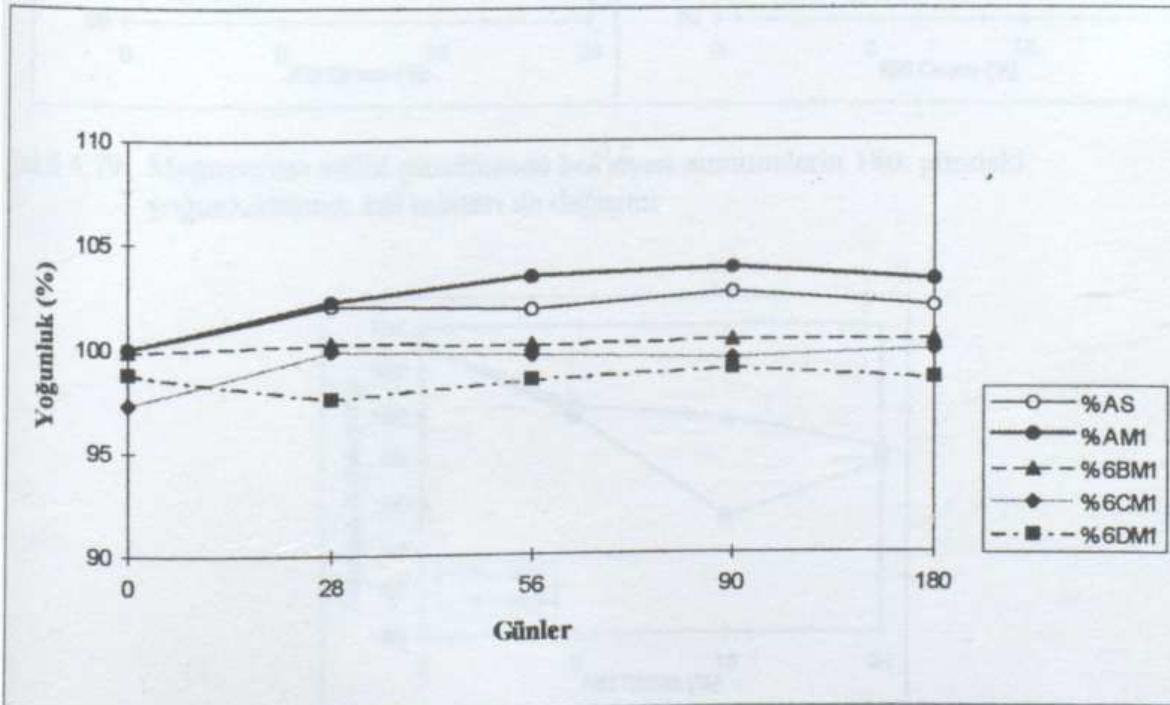


Şekil 4.75 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

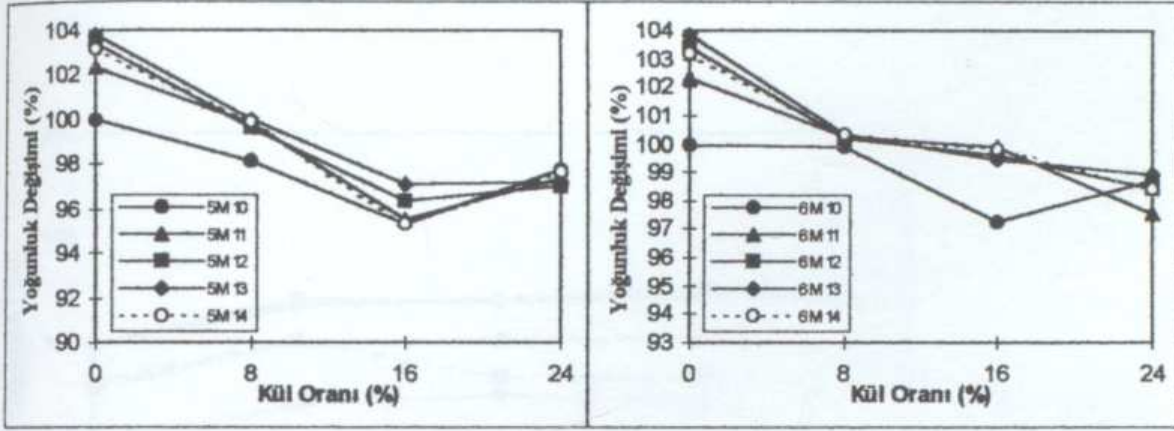




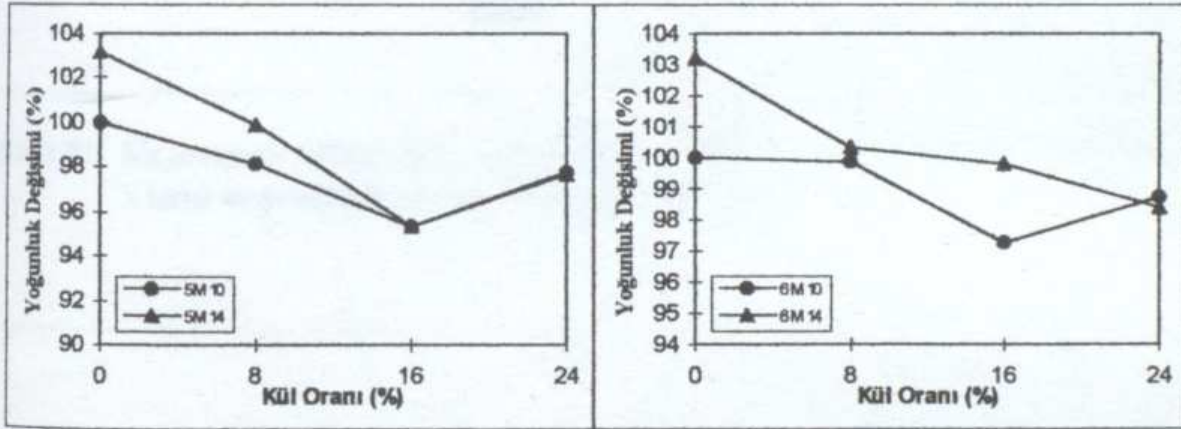
Şekil 4.76 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi



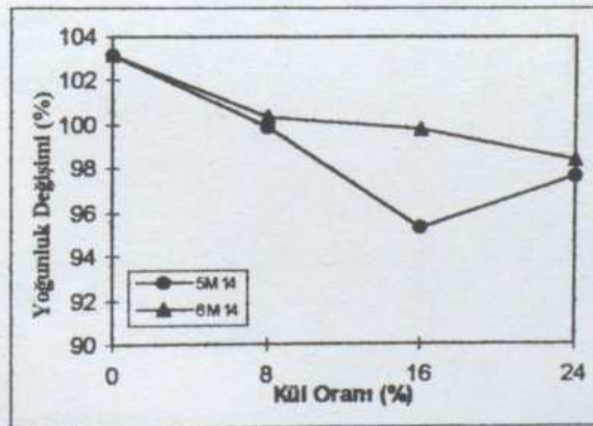
Şekil 4.77 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi



Şekil 4.78 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi

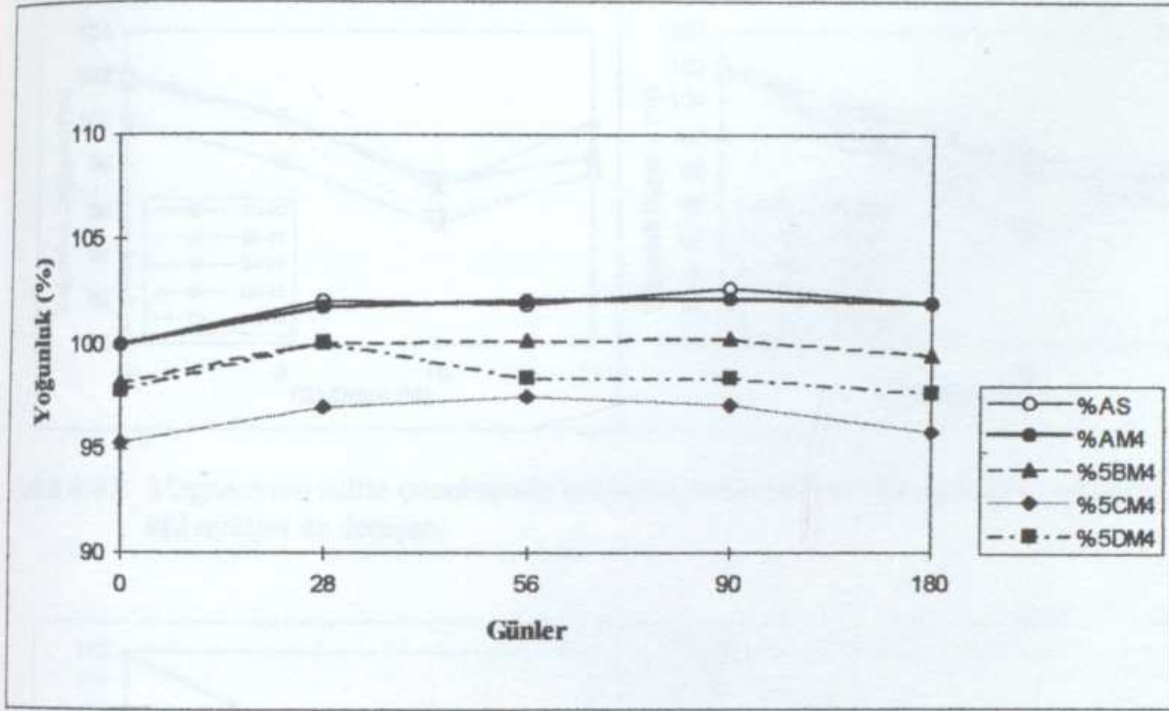


Şekil 4.79 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi

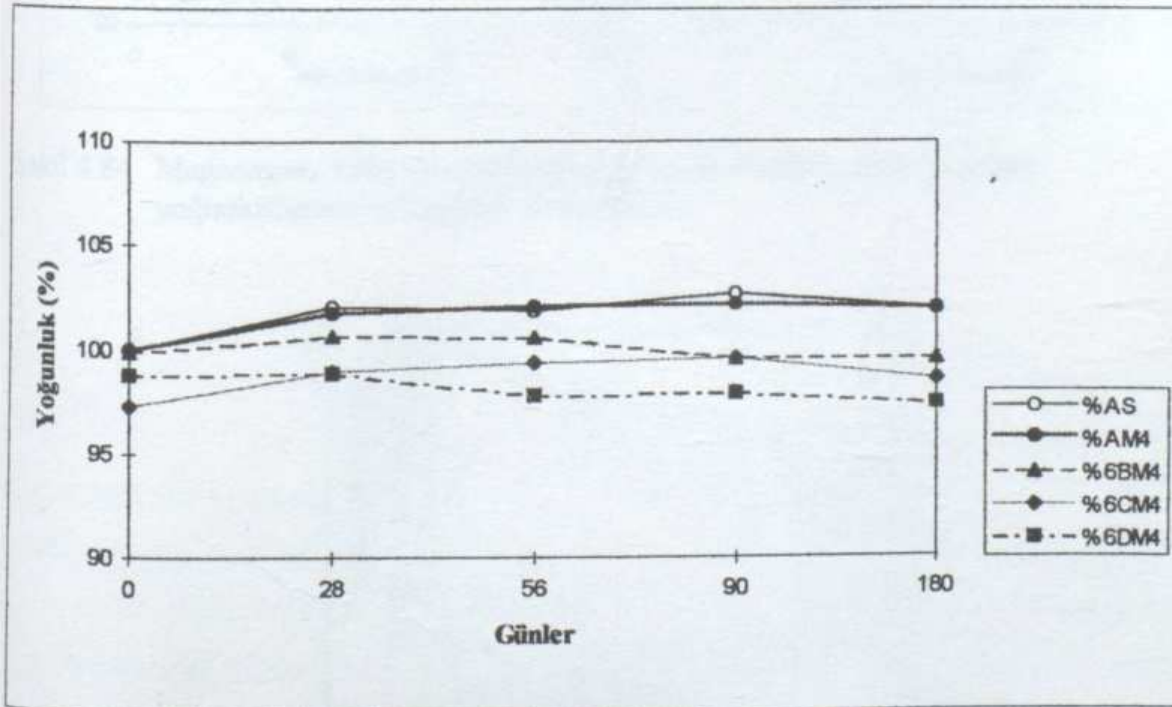


Şekil 4.80 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde yoğunluklarının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

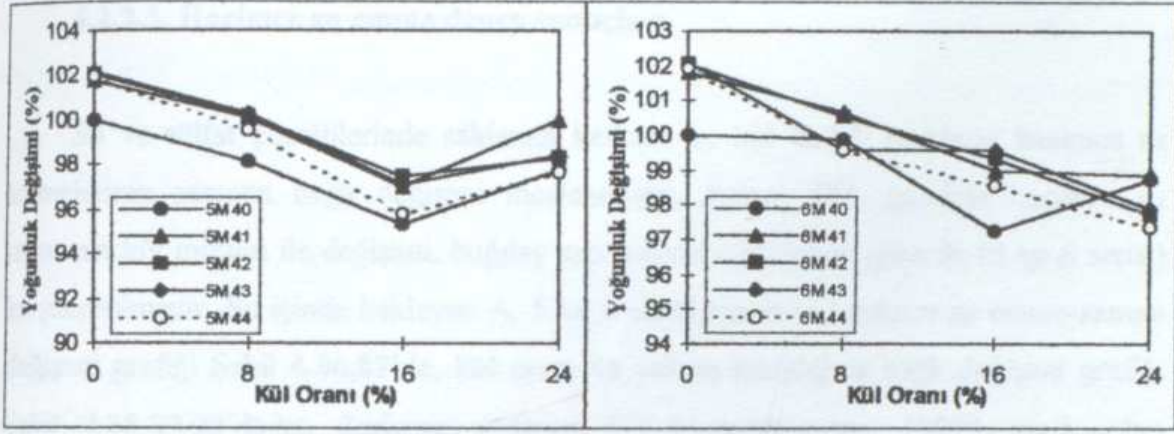




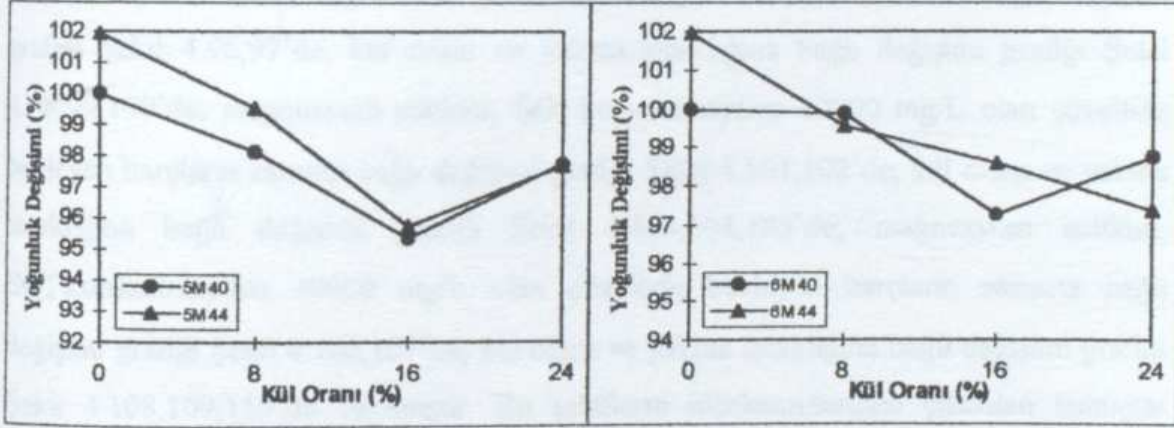
Şekil 4.81 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi



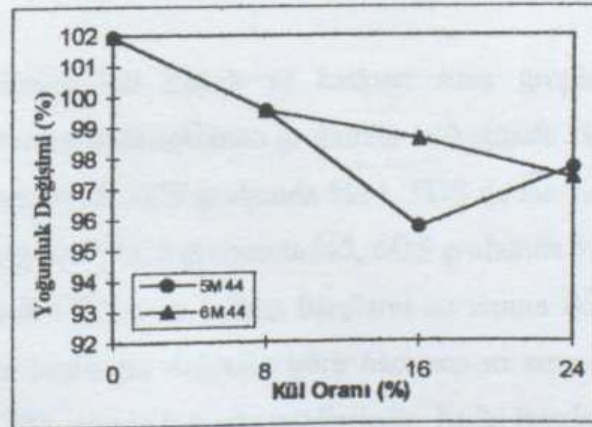
Şekil 4.82 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı yoğunluk değişimi



Şekil 4.83 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde Yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.84 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde Yoğunluklarının kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.85 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde Yoğunluklarının kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması



### 4.2.2.3. Hacimce su emme deney sonuçları

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan katkısız ve kül katkıli harçların hacimce su emmelerinin zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Ayrıca 180. günde hacimce su emmenin kül miktarı ile değişimi, buğday sapı yakma sıcaklığına göre de (5 ve 6 serisi) karşılaştırılmıştır. Su içinde bekleyen A, 5 ve 6 serisi harçların hacimce su emme-zaman değişimi grafiği Şekil 4.86,87'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.88,89,90'dadır. Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.91,92'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.93,94,95'de; Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.96,97'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.98,99,100'de; magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.101,102'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.103,104,105'de; magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.106,107'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.108,109,110'da verilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir

### Suda saklanan gruplar

Su içinde bekletilen kül katkıli ve katkısız harç gruplarında, Şekil 4.86,87 incelendiğinde, şahit harcın suda saklanan grubunda 180. günde %8 artış gözlenmiştir. 5 serisinin, 5BS grubunda %15, 5CS grubunda %14, 5DS de ise %7'lik artış olmuştur. 6 serisinin, 6BS grubunda %12, 6CS grubunda %3, 6DS grubunda %18 artış görülmüştür.

Su içinde bekletilen küllü ve külsüz harçların su emme değerinde zamanla artış olmuştur. Şahit harcın başlangıç değerine göre hacimce su emme değişimi, 56. günde %8, 90.günde %4 ve 180. günde %8 artış şeklindedir. Küllü harçlarda hacimce su emme değişimi, 5 serisinin B grubu harçlarında artış 180. güne kadar devam etmiştir.

C grubunun hacimce su emme deęiřimi 28. günde %0, 56.günde %44, 90. günde %50 ve 180. günde %14 artıř řeklindedir. D grubunun hacimce su emme deęiřimi, 28. günde % 12 dūřūř, bundan sonra 180. güne kadar artarak % 7'lik artıř gōstermiřtir. 6 serisinin tūm grupları bařlangıçtan itibaren hacimce su emmede dūzenli denecek řekilde artıř gōstermiřlerdir. 5 serisindeki deęiřiklięin nedeni hidrate ūrūnlerin kararsızlıęı ya da oluřumlarındaki deęiřimlerden kaynaklandıęı řeklinde dūřūnūlebilir.

Yakma sıcaklıęı ve kūl oranı bakımından Őekil 4.88,89,90 incelendięinde, etkin yakma sıcaklıęının 670°C, etkin kūl oranının bu seride % 16 olduęu gōrūlūr.

### **Sodyum sūlfat cōzeltilerinde saklanan gruplar**

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sūlfat ( $Na_2SO_4$ ) cōzeltisinde saklanan grupların hacimce su emme deneyi sonuçları incelendięinde, Őekil 4.91,92'de řahit harcın, bařlangıç deęerine gōre 180. gūnūn sonunda hacimce su emme deęerinde bir deęiřme olmadıęı gōzlenmiřtir. 5 serisinin 5BN1 grubunda %5, 5CN1 grubunda %3, 5DN1 grubu %7'lik artıř olmuřtur. 6 serisinin 6BN1 grubunda %0, 6CN1 grubunda %0, 6DN1 grubunda %16 artıř gōrūlmūřtur.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sūlfat ( $Na_2SO_4$ ) cōzeltisinde bekletilen řahit ve kūllū harçlarda hacimce su emme zamanla artmaktadır. Artıř deęiřimi řahit harçlarda ve kūl katkılı harçların her iki serisinin tūm gruplarında benzer olup, artıřlar kūçūk deęerlerdedir. Őrneęin řahit harçta artıř bařlangıç deęerine gōre %0.7'dir.

Yakma sıcaklıęı ve kūl oranı bakımından Őekil 4.93,94,95 incelendięinde, etkin yakma sıcaklıęının 670°C, etkin kūl oranının 6 serisinde %8 ve % 16 olduęu gōrūlūr.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sūlfat ( $Na_2SO_4$ ) cōzeltisinde saklanan grupların hacimce su emme deneyi sonuçları incelendięinde, Őekil 4.96,97'de řahit harç bařlangıç deęerine gōre 180. gūnūn sonunda %2'lik bir dūřūř gōstermiřtir. 5 serisinin 5BN4 grubunda %7 artıř, 5CN4 grubunda %18 dūřūř, 5DN4 grubunda %5 artıř gōrūlmūřtur. 6 serisinin 6BN4 grubunda %8'lik artıř, 6CN4 grubunda %4'lūk dūřūř, 6DN4 grubunda %13'lūk artıř gōrūlmūřtur.



$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit harcın hacimce su emme değerinde zamanla azalma görülmüştür. Değişim 28. günde artma şeklinde, daha sonra 180. güne kadar düşme eğilimindedir. Küllü harçların su emme değişimi, 5 serisinin 5B ve 5D grubunda zamanla artış, D grubunda ise azalma şeklindedir. 6 serisinin, 6B ve 6D grubunda zamanla artış, 6C grubunda düşme görülmüştür.

Yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından Şekil 4.98,99,100 incelendiğinde, etkin yakma sıcaklığı  $670^\circ C$ , etkin kül oranının ise 6 serisinde % 16 olduğu görülür.

#### **Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanan grup**

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların hacimce su emme deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.101,102'de şahit harcın başlangıç değerine göre 180. günün sonunda hacimce su emme değerinde %0.5'lik artış olmuştur. 5 serisinin 5BM1 grubunda %7, 5CM1 grubunda %0, 5DM1 grubunda %7'lik artış olmuştur. 6 serisinin 6BM1 grubunda %7, 6CM1 grubunda %1, 6DM1 grubunda %14 artış görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit ve küllü harçların tüm gruplarının hacimce su emme değerinde zamanla artış olmuştur. Artışın değişimi şahit harçta, başlangıç değerine göre %0.5 iken 5 serisinde en büyük artış %7, 6 serisinde ise %14'tür.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından Şekil 4.103,104,105 incelendiğinde,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde bekletilen her iki serinin harç grupları benzerdir. Etkin kül oranı her iki seride de %16'dır.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların hacimce su emme deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.106,107'de şahit harç, başlangıç değerine göre 180. günün sonunda %3'lük bir artış göstermiştir 5



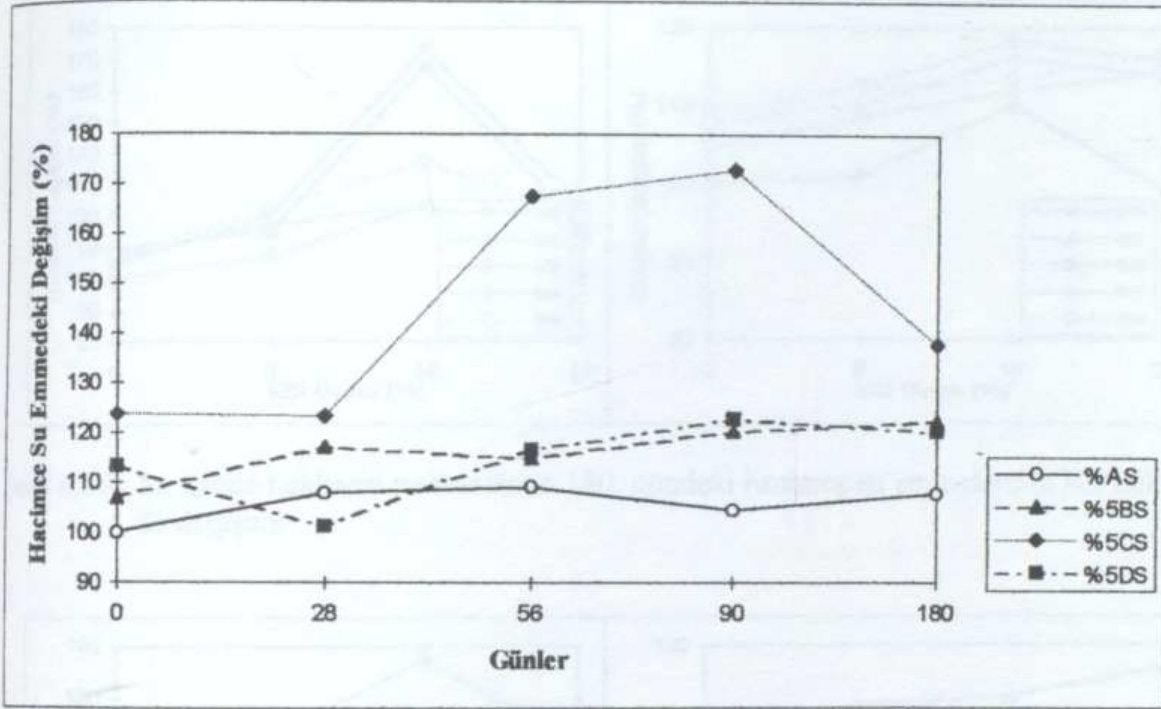
serisinde 5BM4 grubu %9, 5CM4 grubu %4, 5DM4 grubu %0 artmıştır. 6 serisinin 6BM4 grubunda %9, 6CM4 grubunda %4, 6DM4 grubunda %19'luk artış görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit ve küllü harçlarda su emme değeri zamanla artmaktadır. Artışın değişimi şahit harçta başlangıca göre 180. günde %3'lük artış, 5 serisinin 5B ve 6 serisinin 6B gruplarında %9, 5C ve 6C gruplarında ise %4'tür. 5D grubu 90. günde düşüş göstermiş, daha sonra 180. günde artarak başlangıç değerini korumuştur. 6 D grubu ise %9'luk artış göstermiştir.

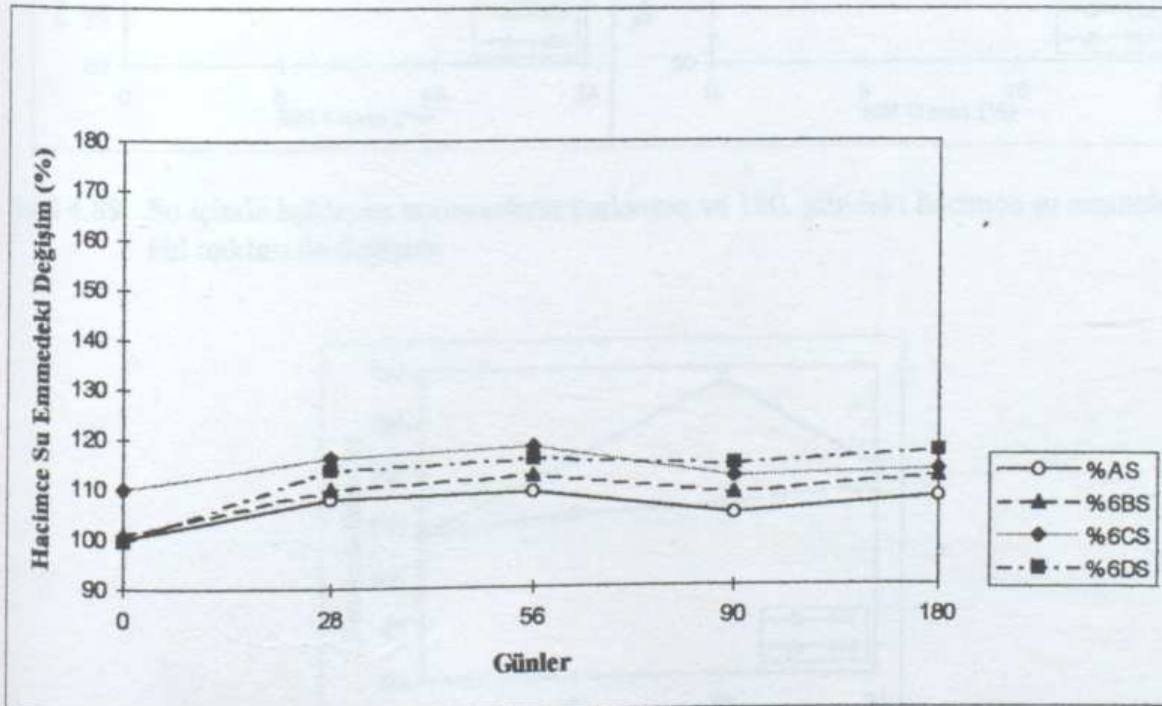
Yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından Şekil 4.108,109,110 incelendiğinde, her iki serinin benzer davranış gösterdiği ve etkin kül oranının her iki seride de %16 olduğu görülür.

Powers (1979) beton dayanıklılığında geçirgenliğin karar verici bir faktör olduğunu belirtmekte ve pastanın geçirgenlik katsayısında yalnız porositenin değil aynı zamanda hidratlı ürünlerin yüzey alanlarının da etkili olduğunu ifade etmektedir.

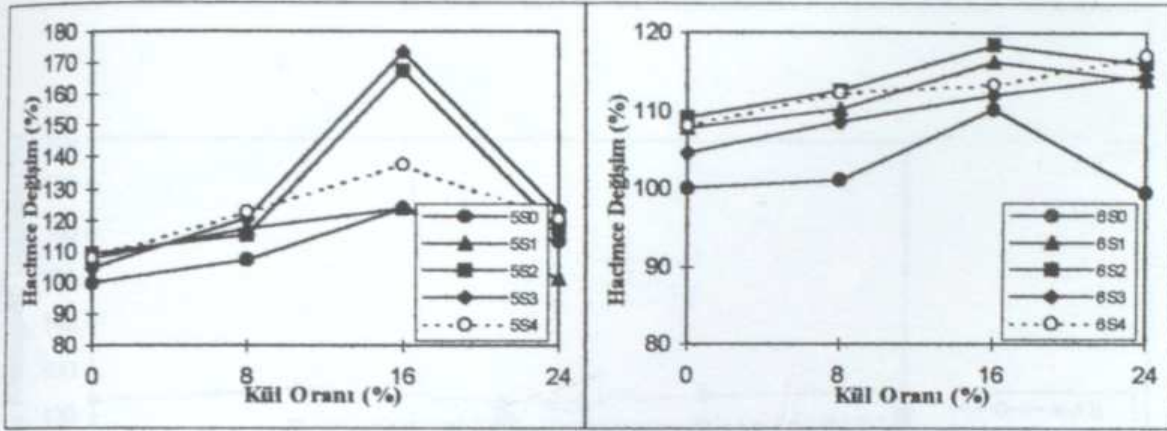




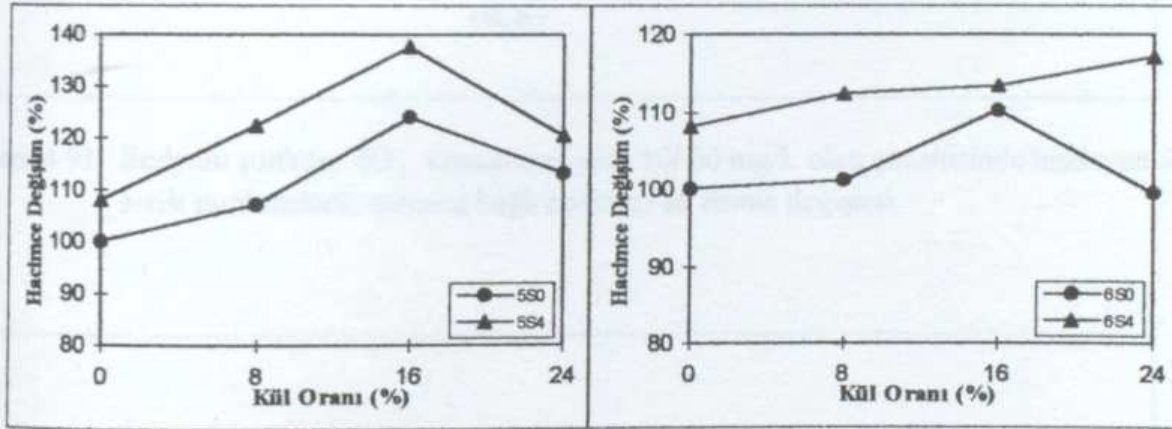
Şekil 4.86 Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



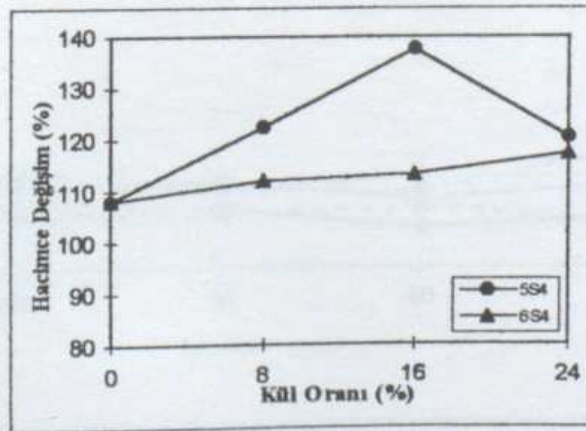
Şekil 4.87 Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



Şekil 4.88 Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi

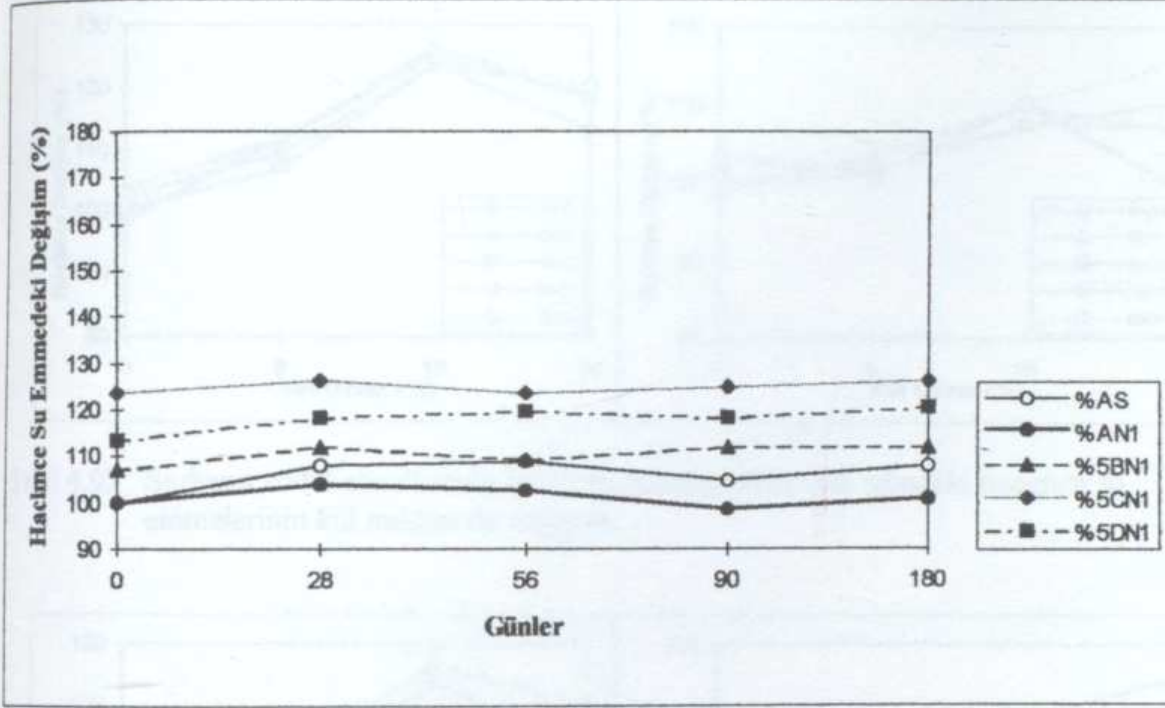


Şekil 4.89 Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi

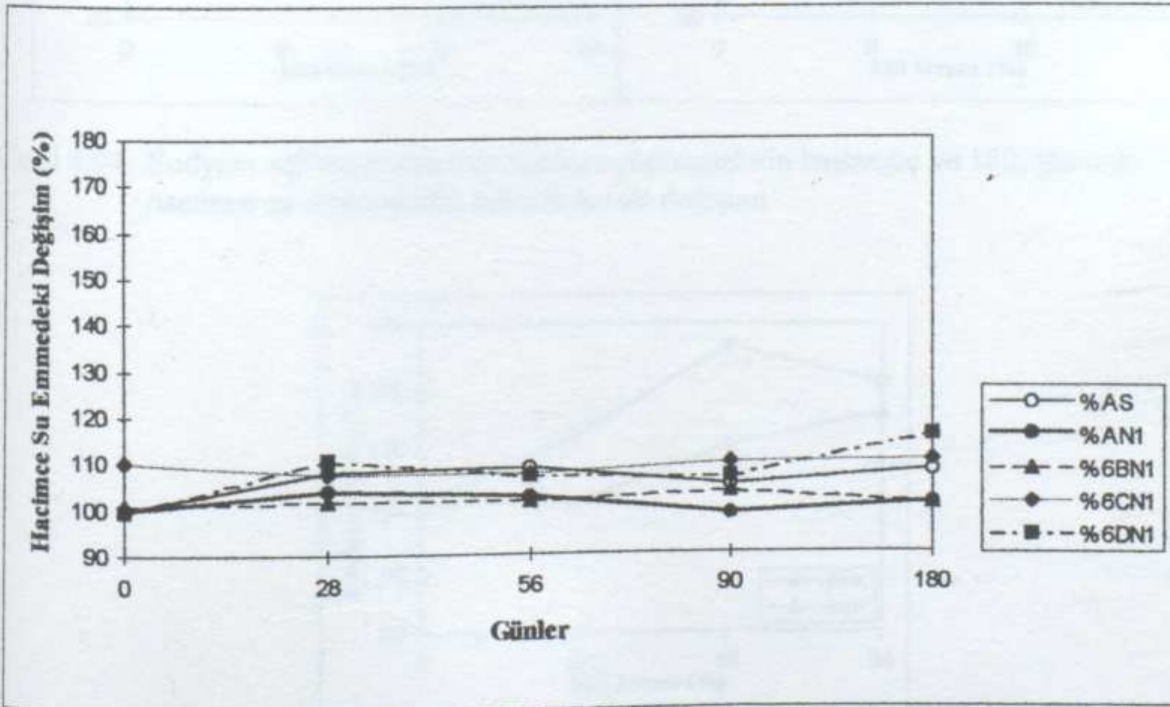


Şekil 4.90 Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde kül miktarı ile hacimce su emmelerinin değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

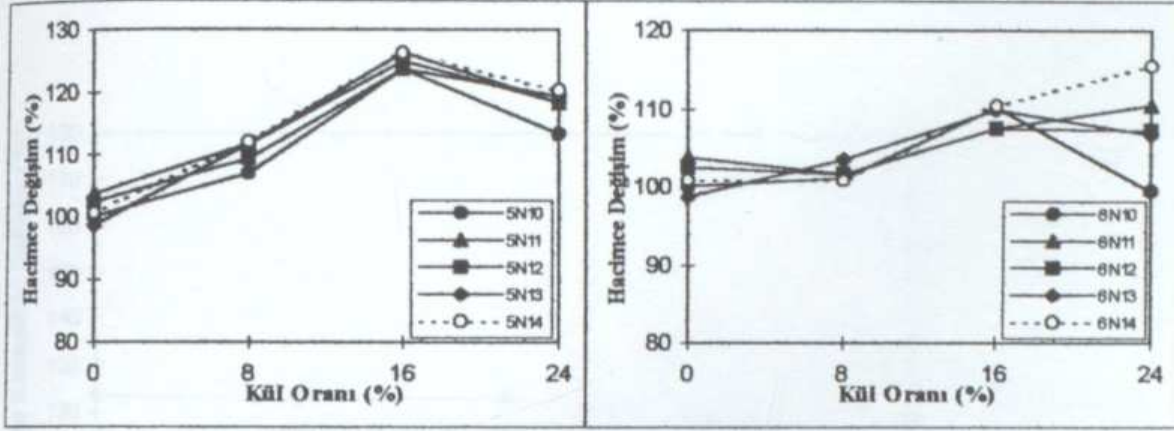




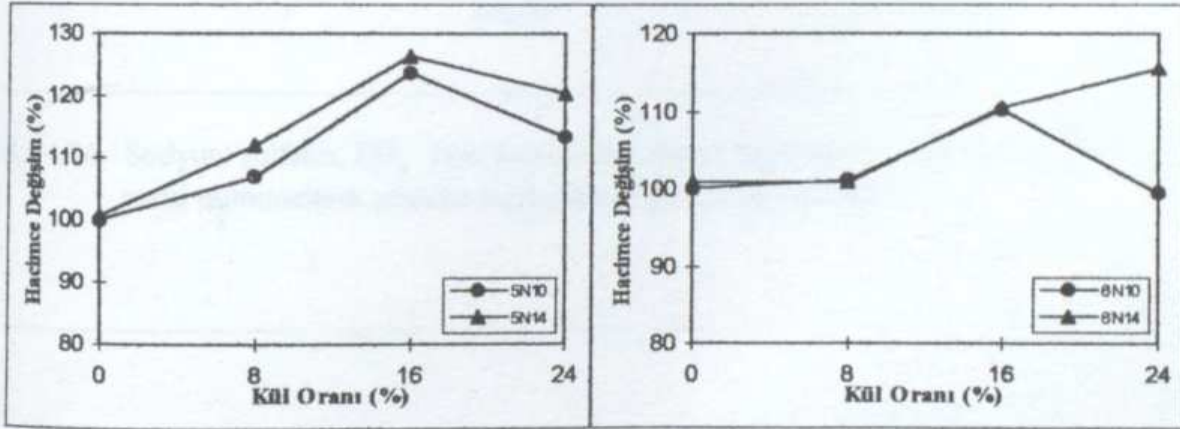
Şekil 4.91 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



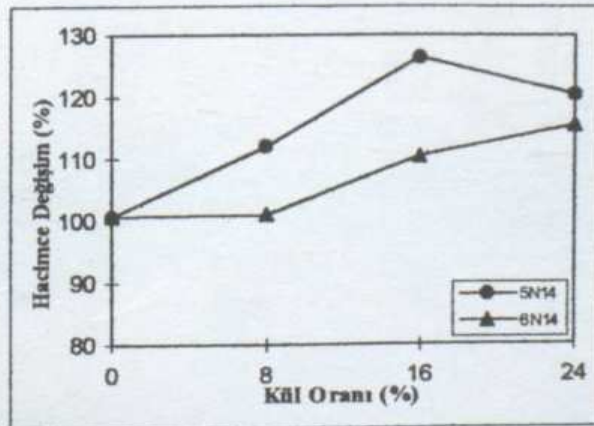
Şekil 4.92 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



Şekil 4.93 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi

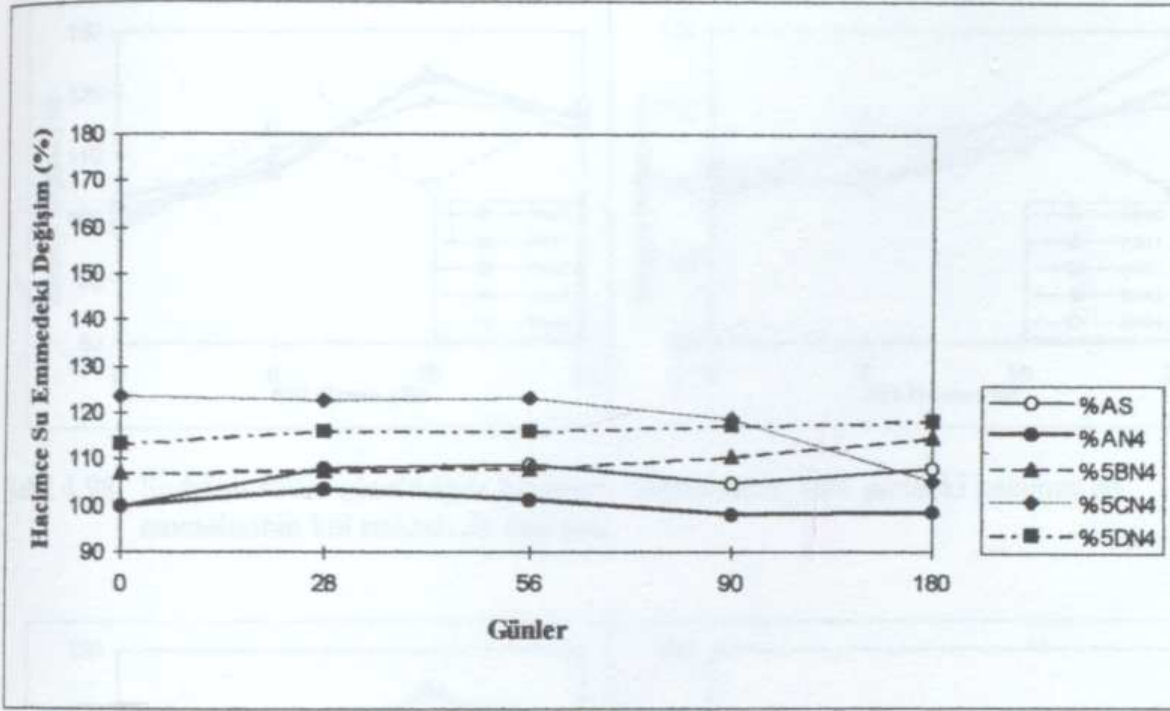


Şekil 4.94 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi

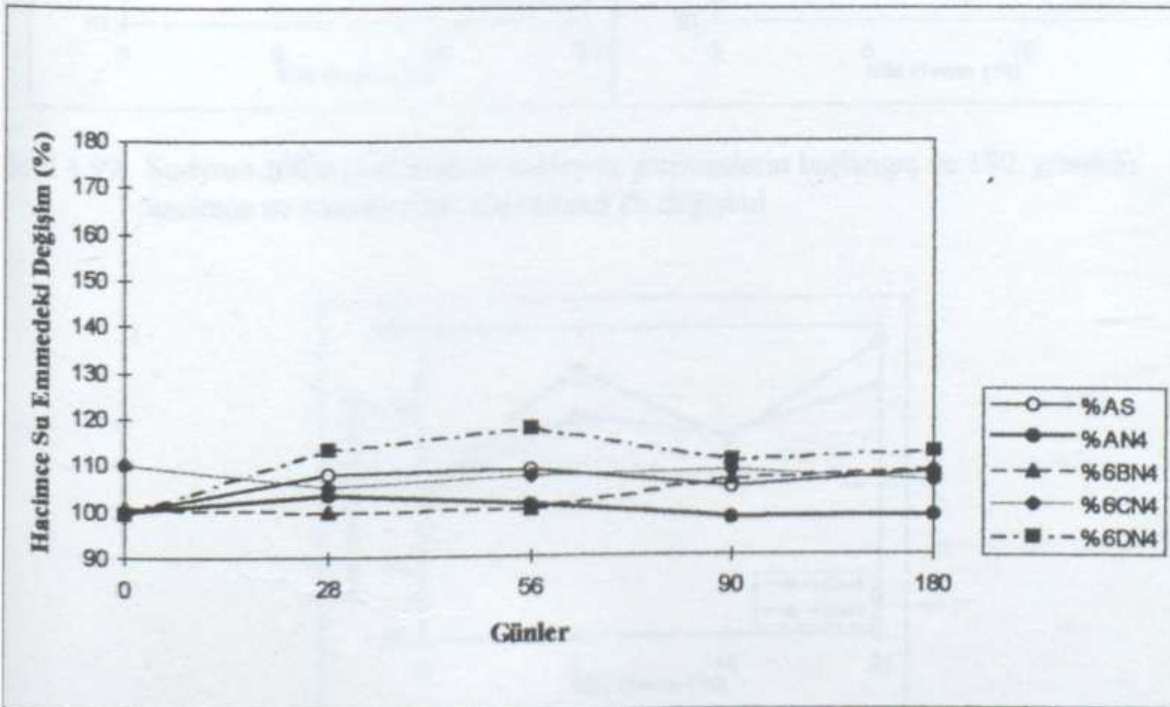


Şekil 4.95 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

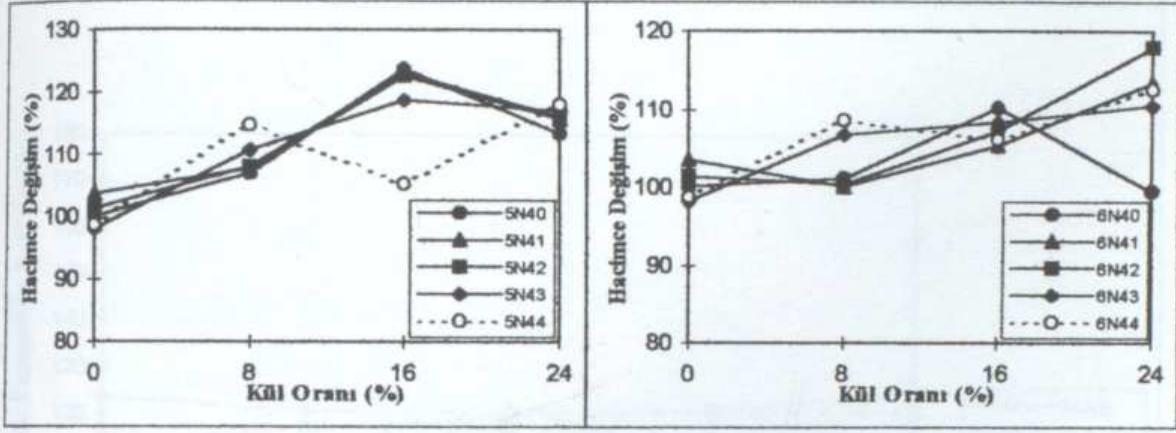




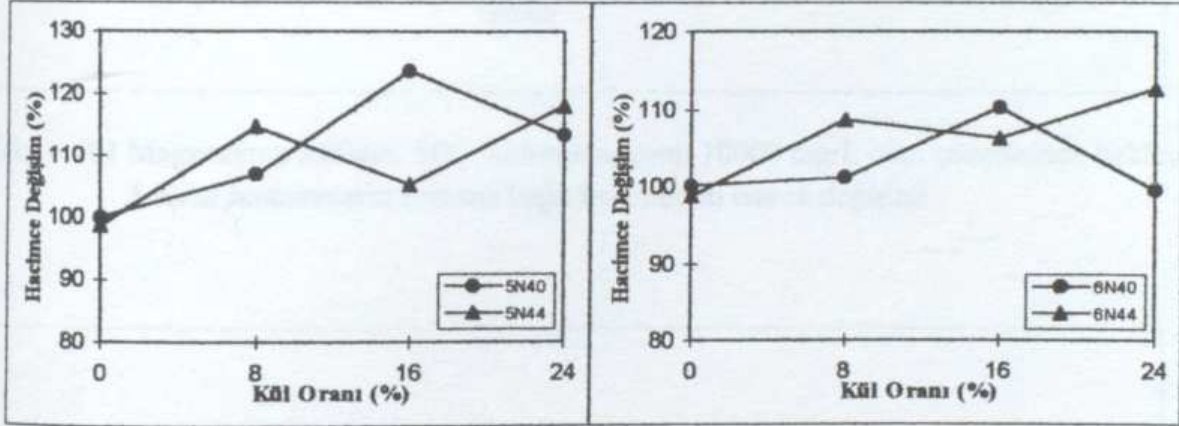
Şekil 4.96 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



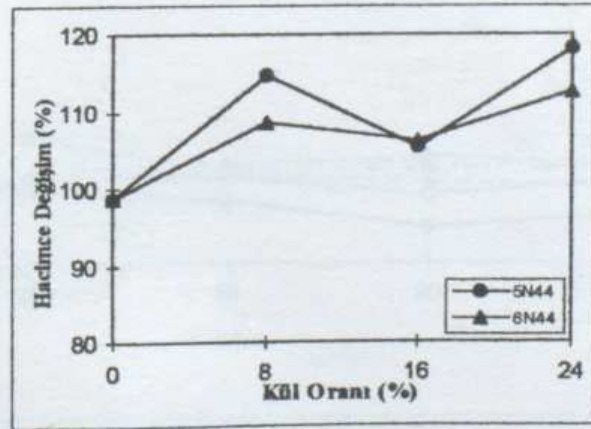
Şekil 4.97 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



Şekil 4.98 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi

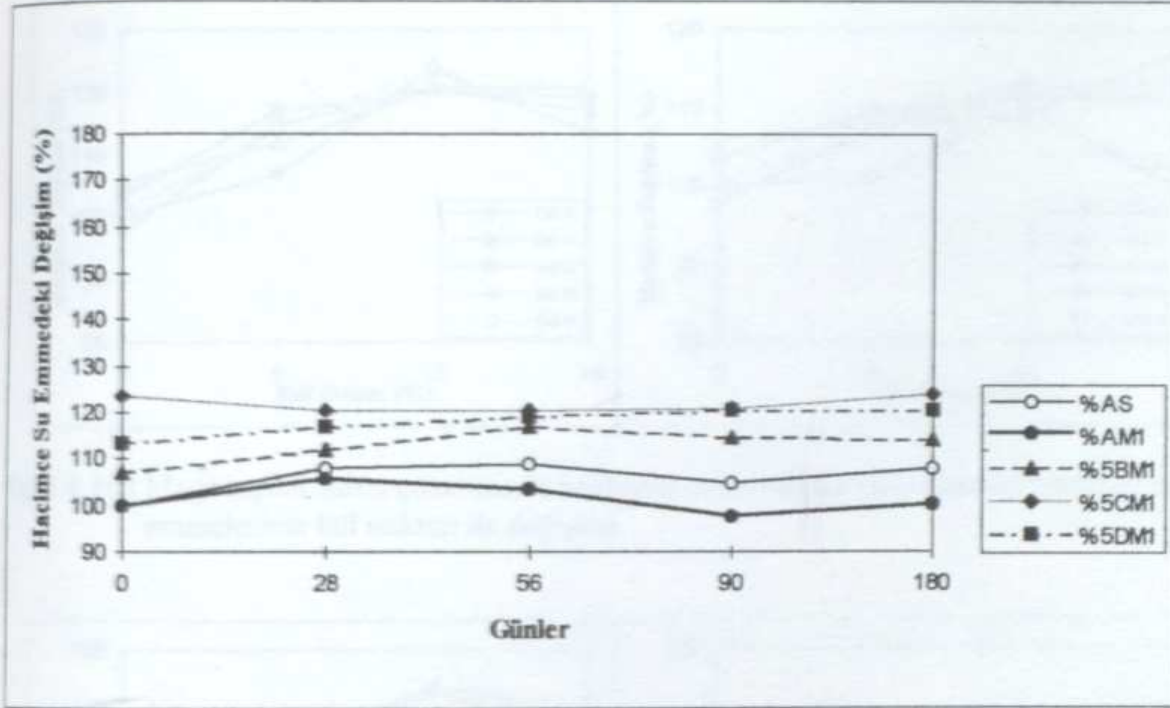


Şekil 4.99 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi

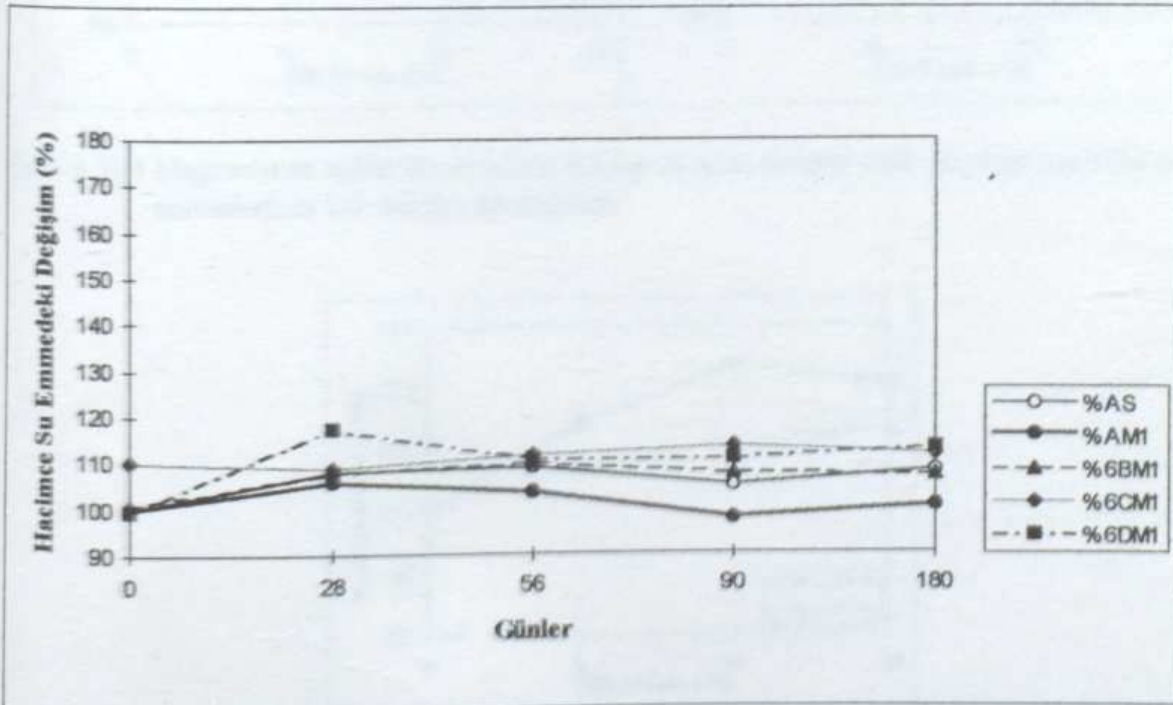


Şekil 4.100 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

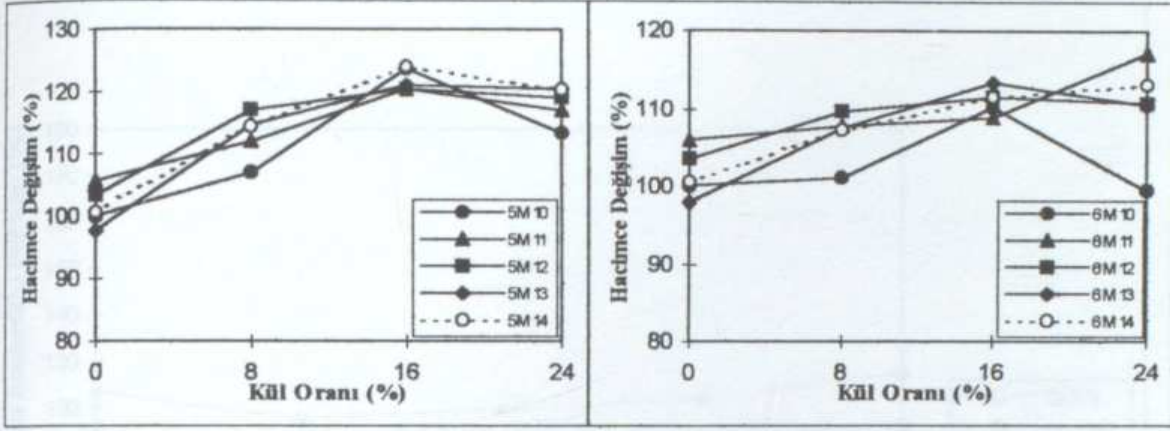




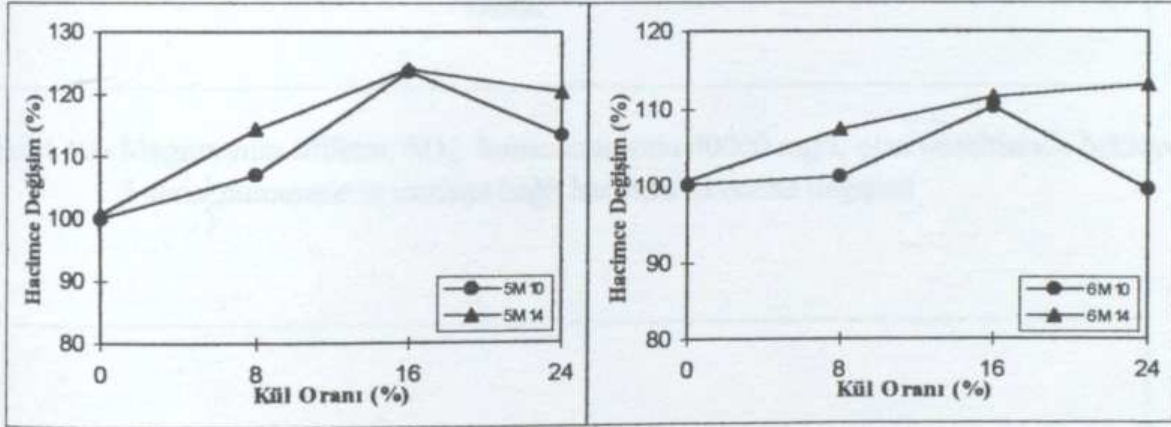
Şekil 4.101 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



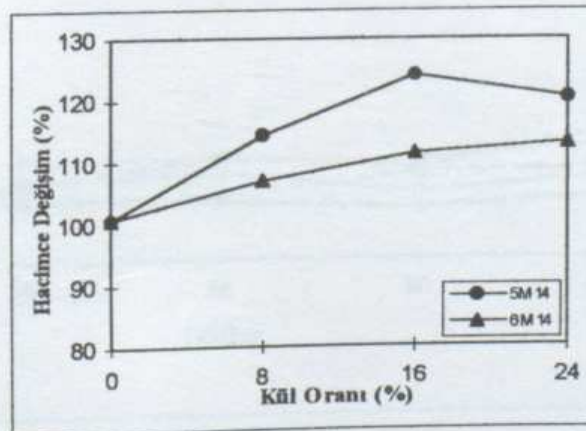
Şekil 4.102 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



Şekil 4.103 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi

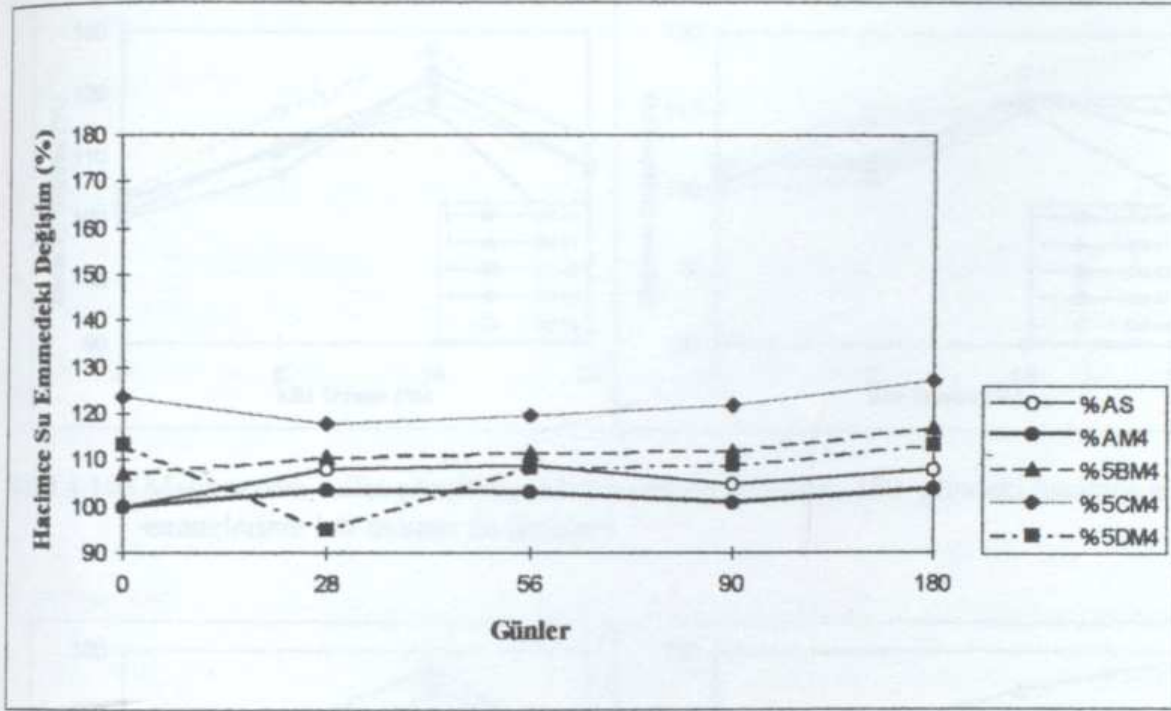


Şekil 4.104 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi

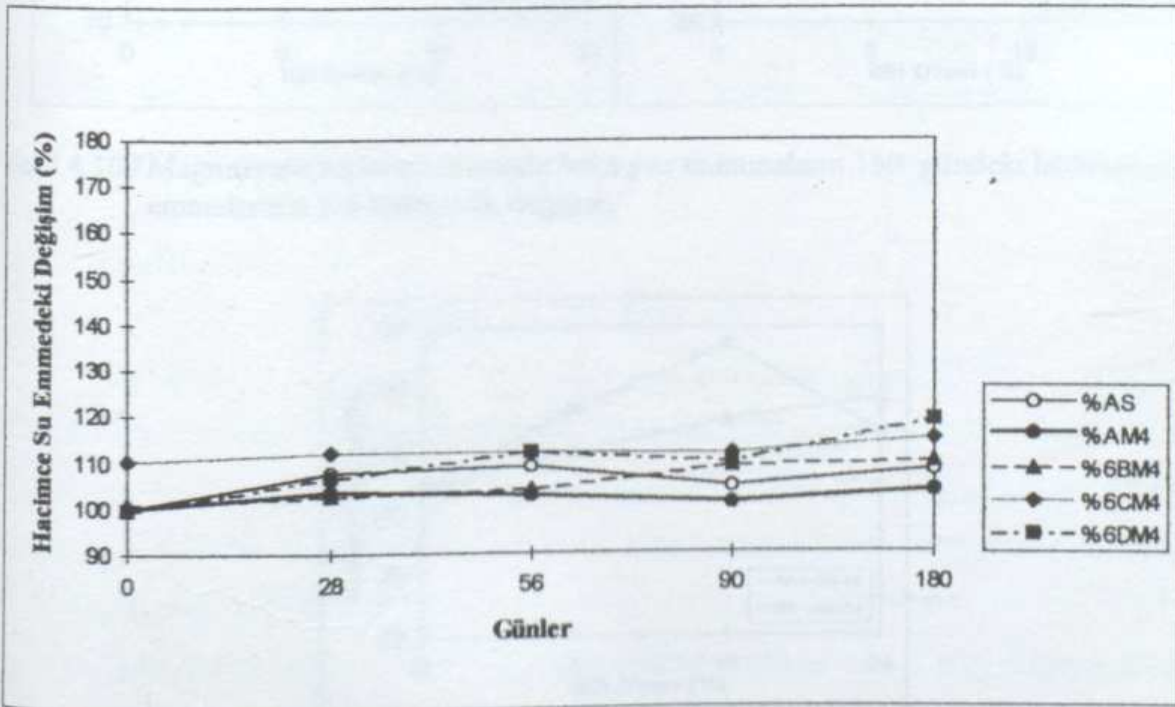


Şekil 4.105 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

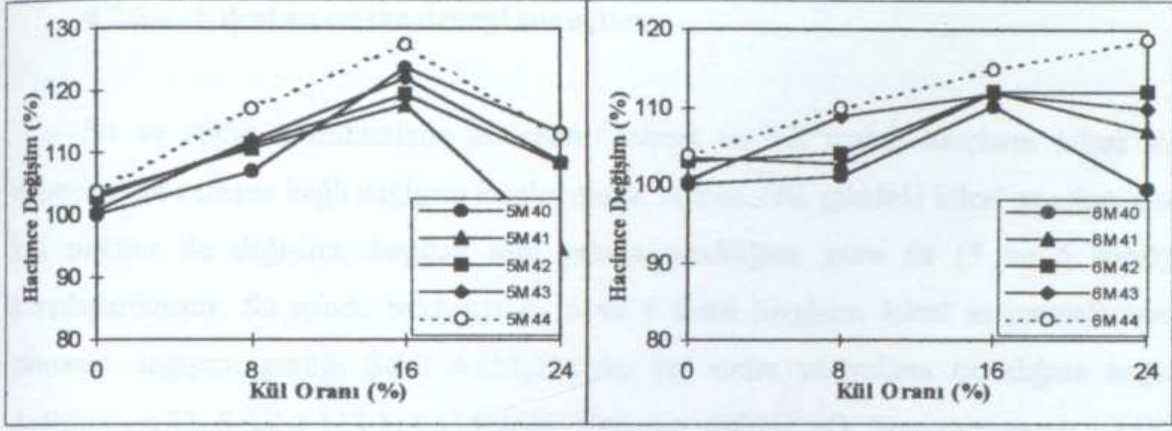




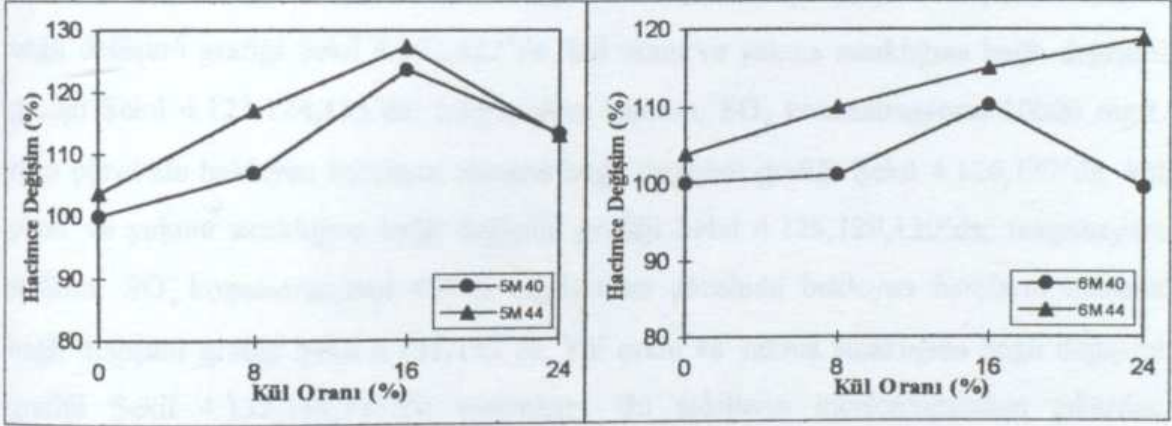
Şekil 4.106 Magnezyum sülfatın, SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



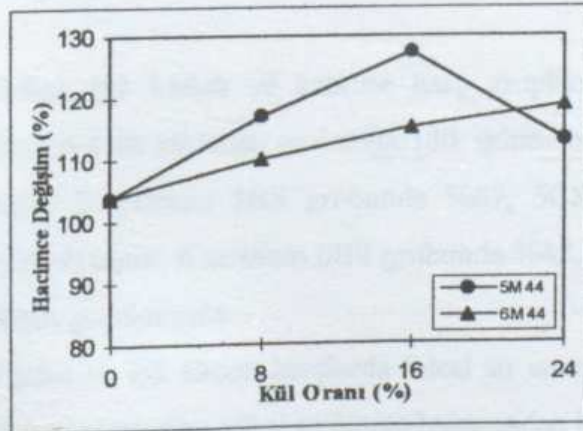
Şekil 4.107 Magnezyum sülfatın, SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı hacimce su emme değişimi



Şekil 4.108 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.109 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.110 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde hacimce su emmelerinin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması



#### 4.2.2.4. Kılcal su emme deneyi sonuçları

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan katkısız ve kül katkılı harçların kılcal su emmelerinin zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Ayrıca 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi, buğday sapı yakma sıcaklığına göre de (5 ve 6 serisi) karşılaştırılmıştır. Su içinde bekleyen A, 5 ve 6 serisi harçların kılcal su emmelerinin zamanla değişimi grafiği Şekil 4.111,112'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.113,114,115'dedir. Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.116,117'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.118,119,120'de; Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.121,122'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.123,124,125'de; magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.126,127'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.128,129,130'da; magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltide bekleyen harçların zamana bağlı değişimi grafiği Şekil 4.131,132'de, kül oranı ve yakma sıcaklığına bağlı değişimi grafiği Şekil 4.133,134,135'de verilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

#### Suda saklanan gruplar

Su içinde bekletilen kül katkılı ve katkısız harç gruplarında, Şekil 4.111,112 incelendiğinde, şahit harcın suda saklanan grubunda 180. günde başlangıç değerine göre %80 düşüş gözlenmiştir. 5 serisinin 5BS grubunda %67, 5CS grubunda %7, 5DS grubunda %32'lik düşüş olmuştur. 6 serisinin 6BS grubunda %82, 6CS grubunda %121, 6DS grubunda %15 düşüş görülmüştür.

Suda bekletilen şahit ve kül katkılı harçlarda kılcal su emme değeri genel olarak zamanla azalmıştır. Tüm harç grupları kılcal su emme bakımından benzerdir.



Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından, Şekil 4.113,114 incelendiğinde, her iki serinin benzer davranış gösterdiği ve kül oranlarında, 5 serisinde %8, 6 serisinde %16 değerinin etkin olduğu görülür.

#### Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların kılcal su emme deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.116,117'de şahit harcın başlangıç değerine göre 180. günün sonunda kılcal su emme değerinde %83'lük bir düşüş gözlenmiştir. 5 serisinde, 5BN1 grubu %51, 5CN1 grubu %98, 5DN1 grubu %76'lık azalma göstermiştir. 6 serisinde, 6BN1 grubunda %77, 6CN1 grubunda %111 düşüş, 6DN1 grubunda %24'lük artış görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit harçlarda kılcal su emme katsayısı zamanla küçülmüştür. Küllü harçlarda değişim, 5 serisinin B grubu harçlarında başlangıç değerine göre 56. günde %22'lik artış, daha sonra 180. güne kadar düşerek %51'lik azalma şeklindedir. C ve D grubu harçlarda başlangıca göre 180. güne kadar düşme görülmüş, bu değerler C'de %98, D'de ise %76'dır. 6 serisinin B ve C gruplarında zamanla kılcallık katsayısında küçülme, D grubunda ise artma görülmüştür.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından, Şekil 4.118,119,120 incelendiğinde, her iki serinin benzer davranış gösterdiği ve kül oranı bakımından etkin değerinin 6 serisinde %16 olduğu görülür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların kılcal su emme deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.121,122'de şahit harç, başlangıç değerine göre 180. günün sonunda %50'lik bir düşüş göstermiştir. 5 serisinde, 5BN4 grubu %36 artış, 5CN4 grubu %43, 5DN4 grubu %65'lik düşüş göstermiştir. 6 serisinin, 6BN4 grubunda %22'lik artış, 6CN4 grubunda %101'lik düşüş, 6DN4 grubunda %4'lük artış görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit ve küllü harçlarda kılcal su emme katsayısı zamanla küçülmüştür. Küllü



harçların değişimi 5 serisinin B grubunda artış, C ve D grubu harçlarında azalma; 6 serisinin B ve D gruplarında artış, C grubunda düşme şeklindedir.

Hogan, Meusel (1981) Özgül yüzey alanı fazla olan katkı çimento pastaları kararlı durum çok miktarda su tutabilirler, böylece suyun hareketi kapiller boşlukları yüksek olan pastaninkinden daha yavaştır.

Yakma sıcaklığı ve kül oranı Şekil 4.123,124,125 incelendiğinde, her iki serinin benzer davranış gösterdiği, ancak kül oranı bakımından 6 serisinde %16 değerinin etkin olduğu görülür.

#### **Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanan grup**

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların kılcal su emme deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.126,127'de şahit harcın başlangıç değerine göre 180. günün sonunda, kılcal su emme değerinde %76'lık bir düşüş gözlenmiştir. 5 serisinde 5BM1 grubu %62, 5CM1 grubu %146, 5DM1 grubu %72'lik düşüş göstermiştir. 6 serisinin 6BM1 grubunda %48, 6CM1 grubunda %113, 6DM1 grubunda %31'lik düşüş görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit ve küllü harçların kılcal su emme değerlerinde zamanla ve devamlı bir düşme görülmüştür. Şahit ve küllü harçlar 180. günde benzer davranışta bulunmuşlardır.  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde bekletilen harçların kılcal gözeneklerinde küçülme yada tıkanmalar meydana geldiği şeklinde yorumlanabilir.

Montgomery et al (1981) Uçucu kül parçacıklarının çekirdek noktalar olarak hareket ettiği ve belki mikro çatlakları azaltma eğiliminde olan mekanizmalara yardım ettiğini vurgulamaktadır.

Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından, Şekil 4.128,129,130 incelendiğinde, her iki serinin benzer davranış gösterdiği görülür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların kılcal su emme deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.131,132'de

şahit harç başlangıç değerine göre 180. günün sonunda %64'lük bir düşüş göstermiştir. 5 serisinin 5BM4 grubunda %33, 5CM4 grubunda %129, 5DM4 grubunda %72'lik, 6 serisinin 6BM4 grubunda %22, 6CM4 grubunda %96, 6DM4 grubunda %11'lik düşüş görülmüştür.

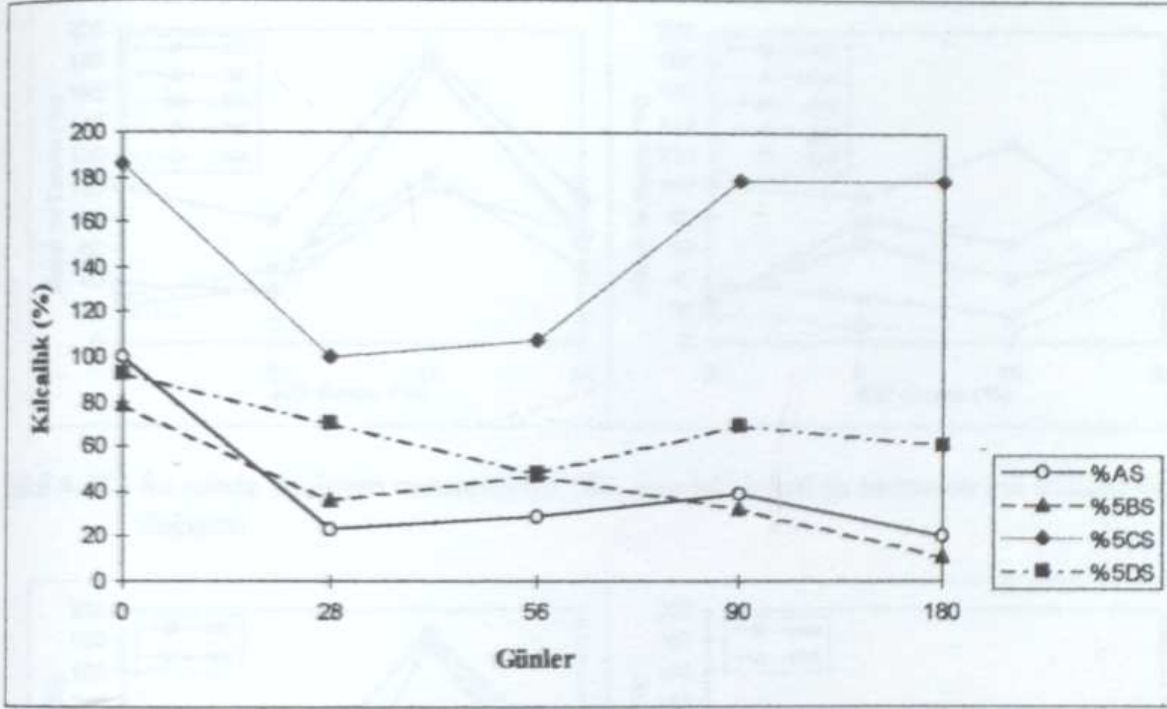
$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde bekletilen şahit ve küllü harçların kılcak su emme katsayı değerleri zamanla azalmıştır. Bu değişim şahit ve küllü harçlarda benzerdir.

Levit, Dlyachenko (1980) çimentoda pastasındaki cüruf miktarının artmasıyla kılcak boşluğun ve buna bağlı olarak gözenek yüzeyi ve iyonik diffüzyon katsayısının azaldığını betonun kimyasal etkilere karşı dayanımında göreceli bir artış olduğunu ifade etmektedirler.

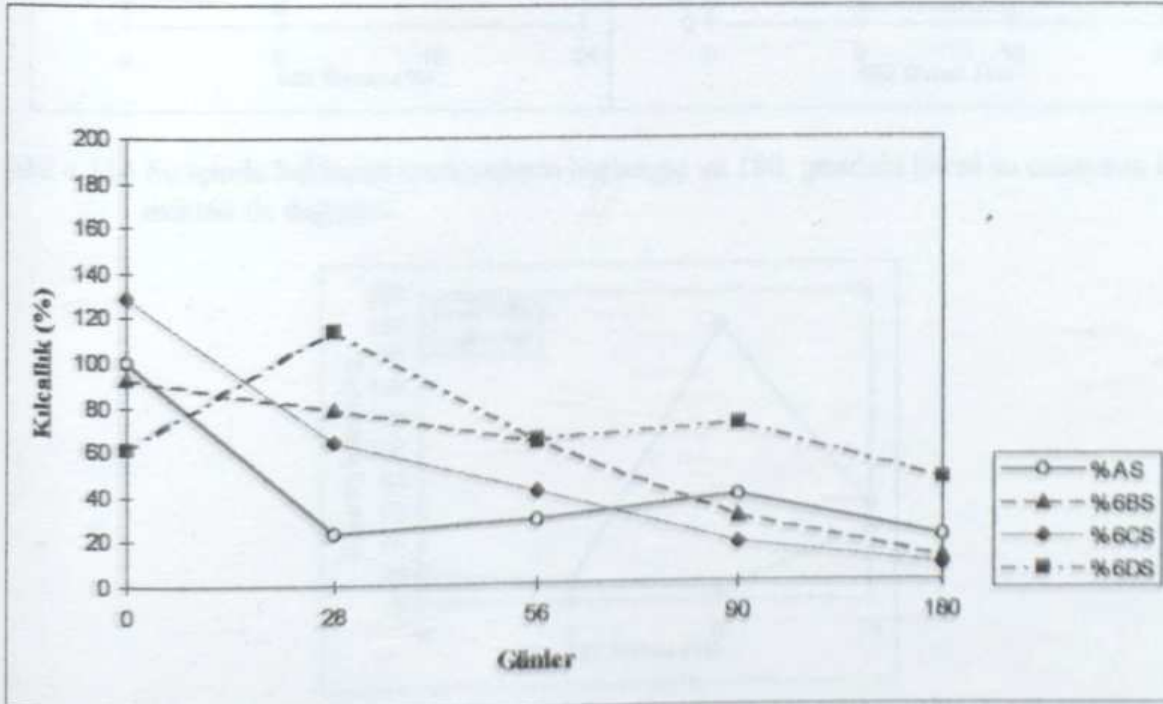
Yakma sıcaklığı ve etkin kül oranı bakımından, Şekil 4.133,134,135 incelendiğinde, yakma sıcaklığı 6 serisi, kül oranı ise 6 serisinde % 24 olduğu görülür.



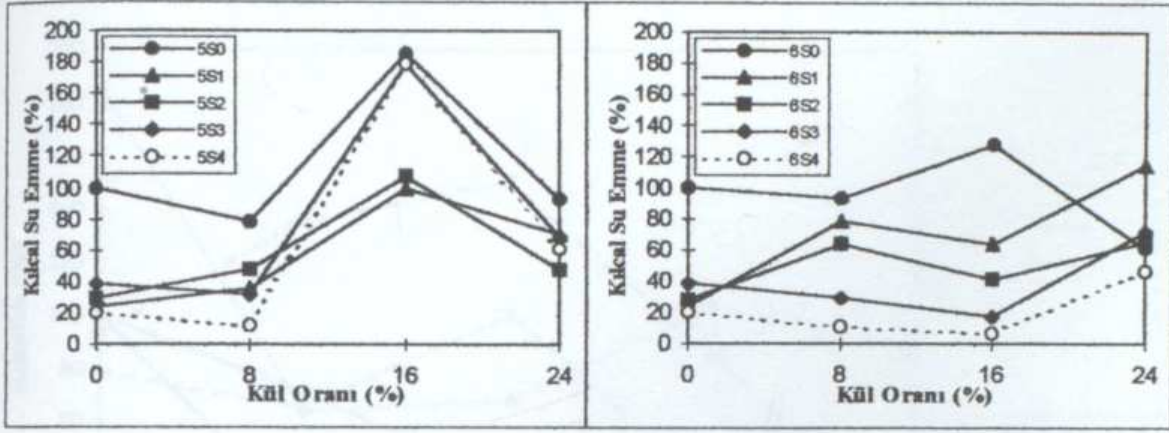




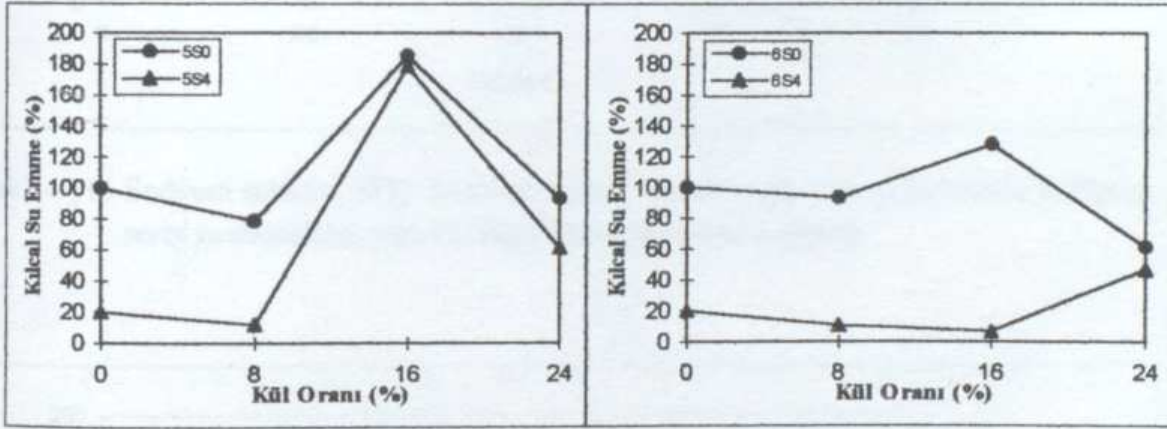
Şekil 4.111 Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



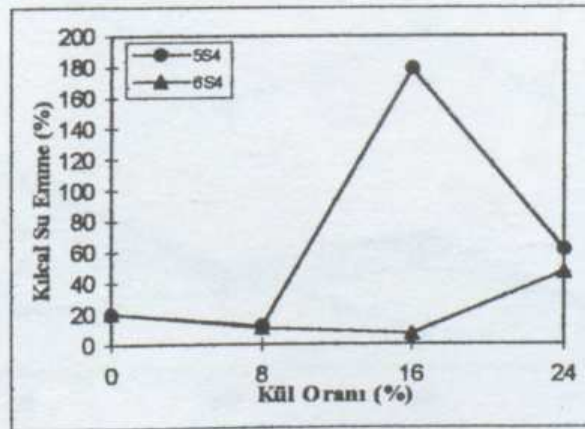
Şekil 4.112 Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



Şekil 4.113 Su içinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi

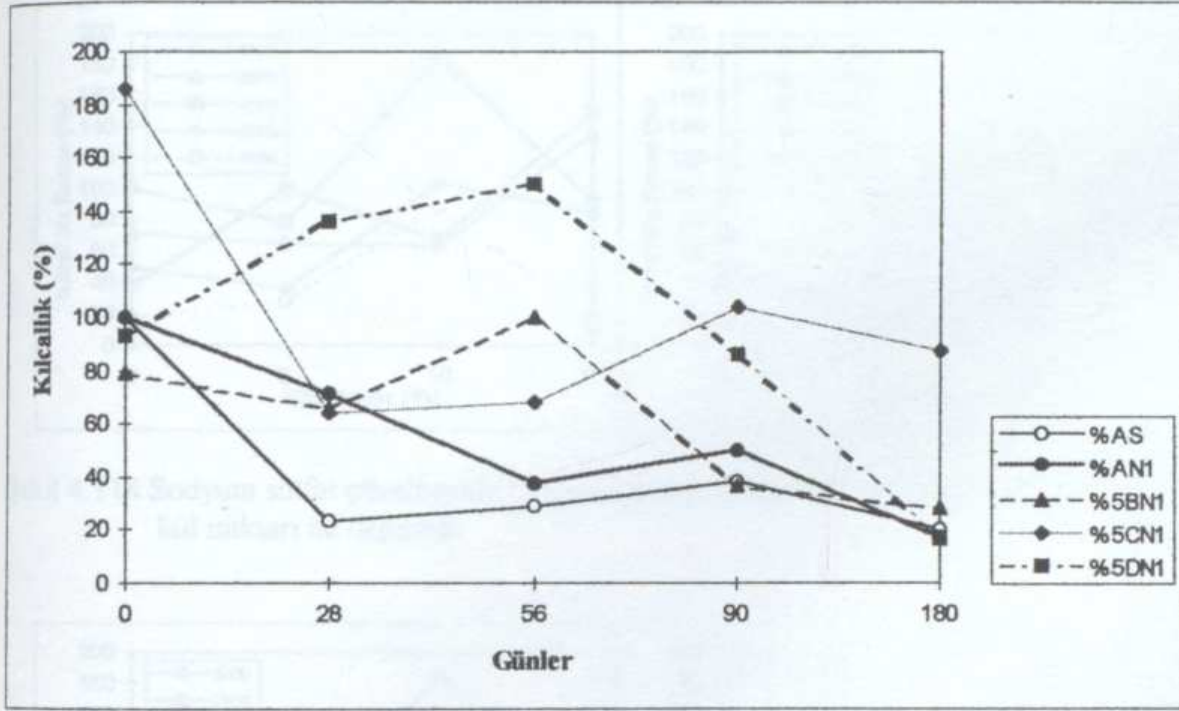


Şekil 4.114 Su içinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi

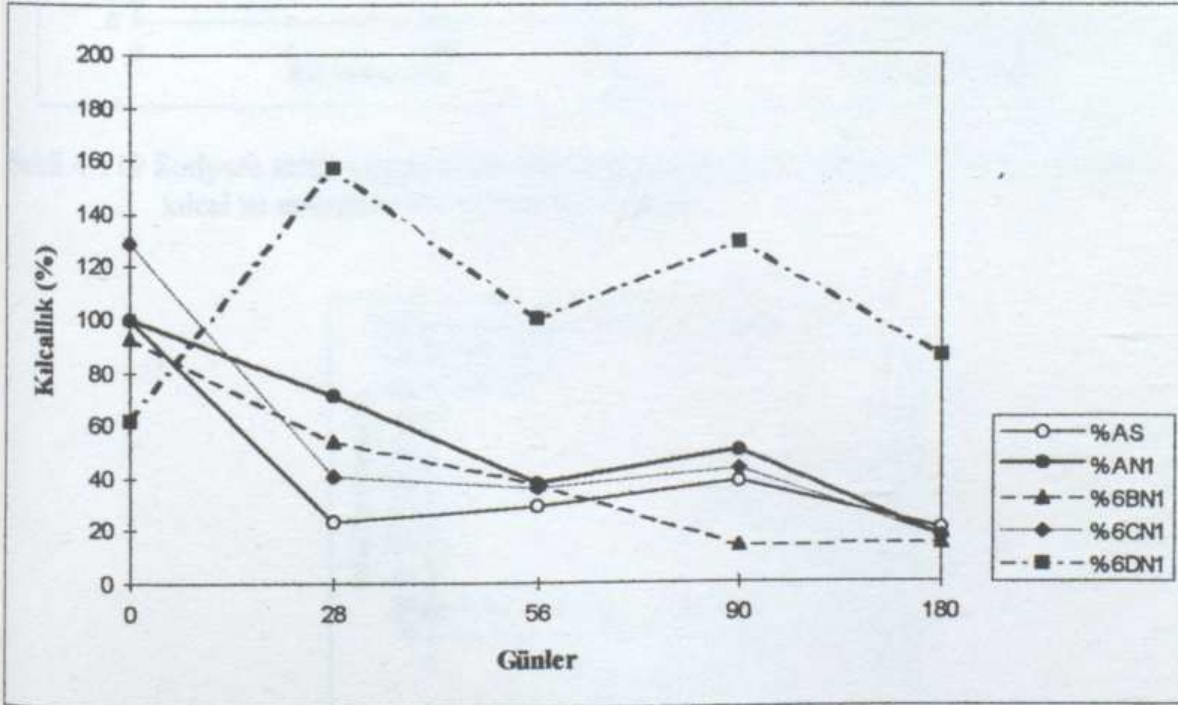


Şekil 4.115 Su içinde bekleyen numunelerin 180. günde kül miktarı ile kılcal su emme değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

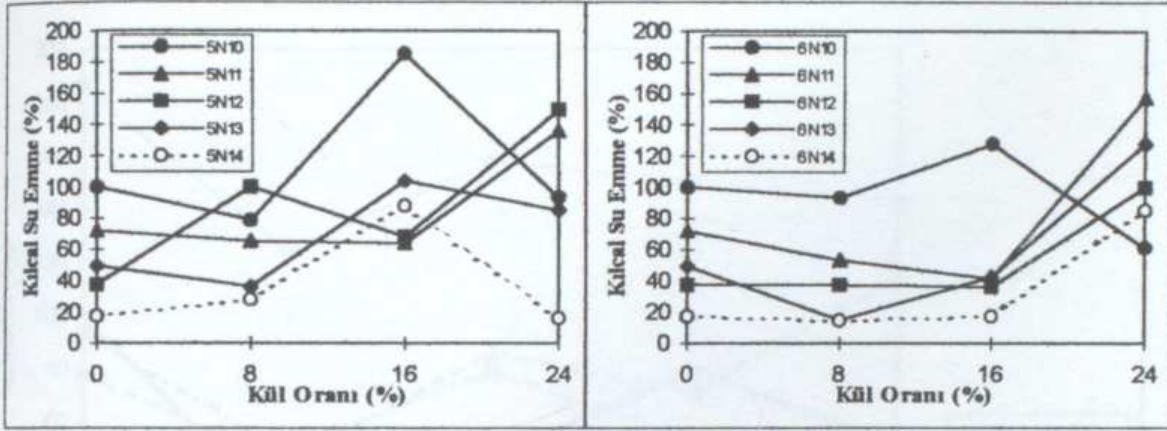




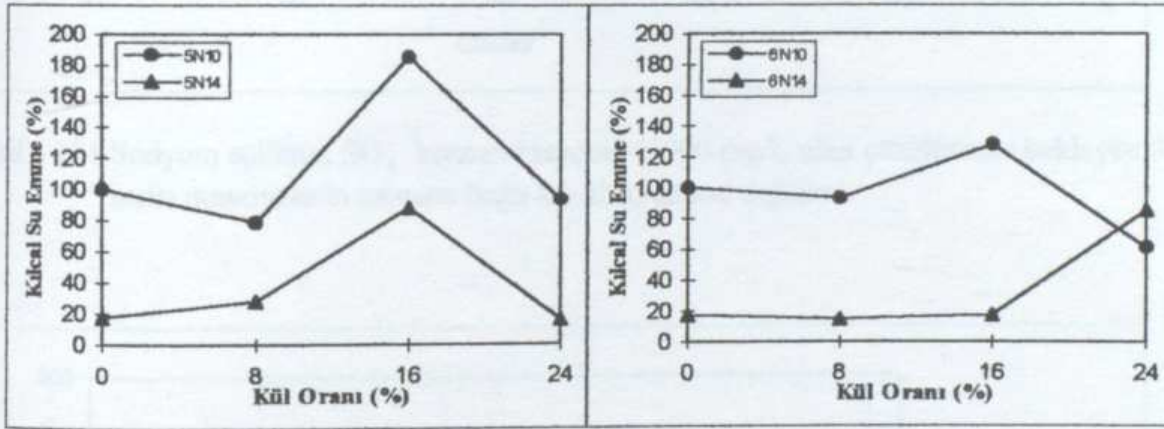
Şekil 4.116 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



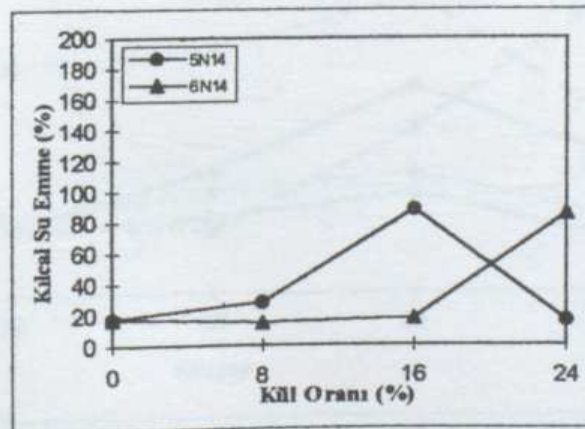
Şekil 4.117 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



Şekil 4.118 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi

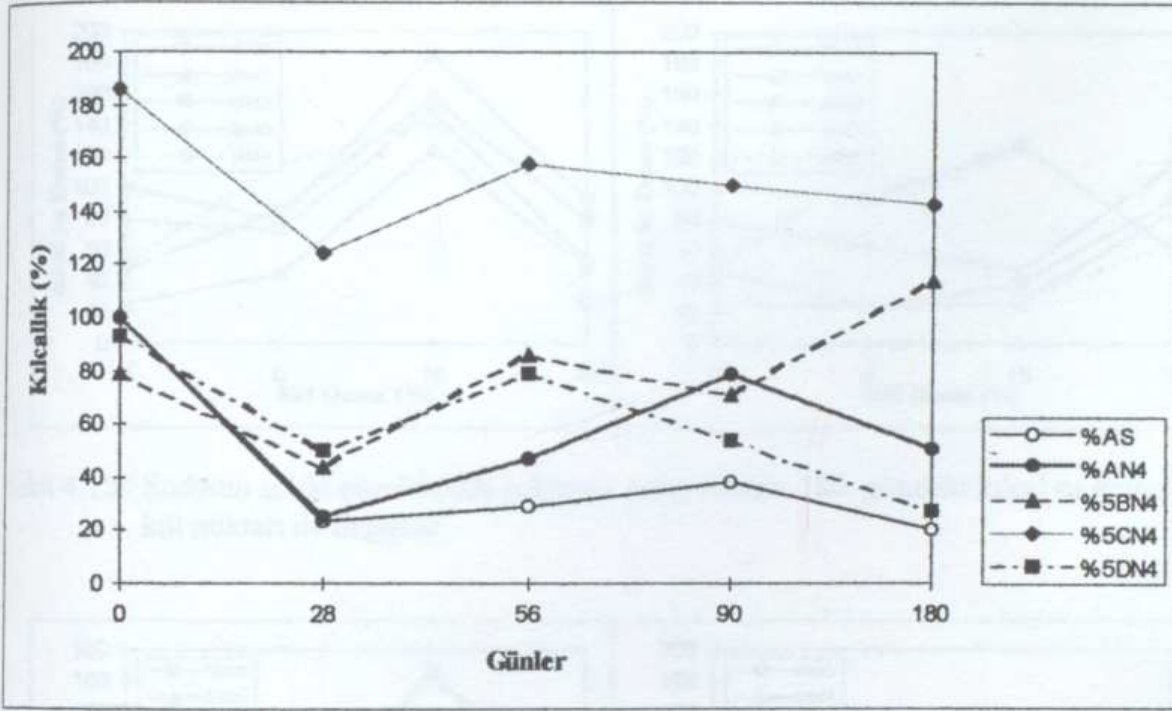


Şekil 4.119 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi

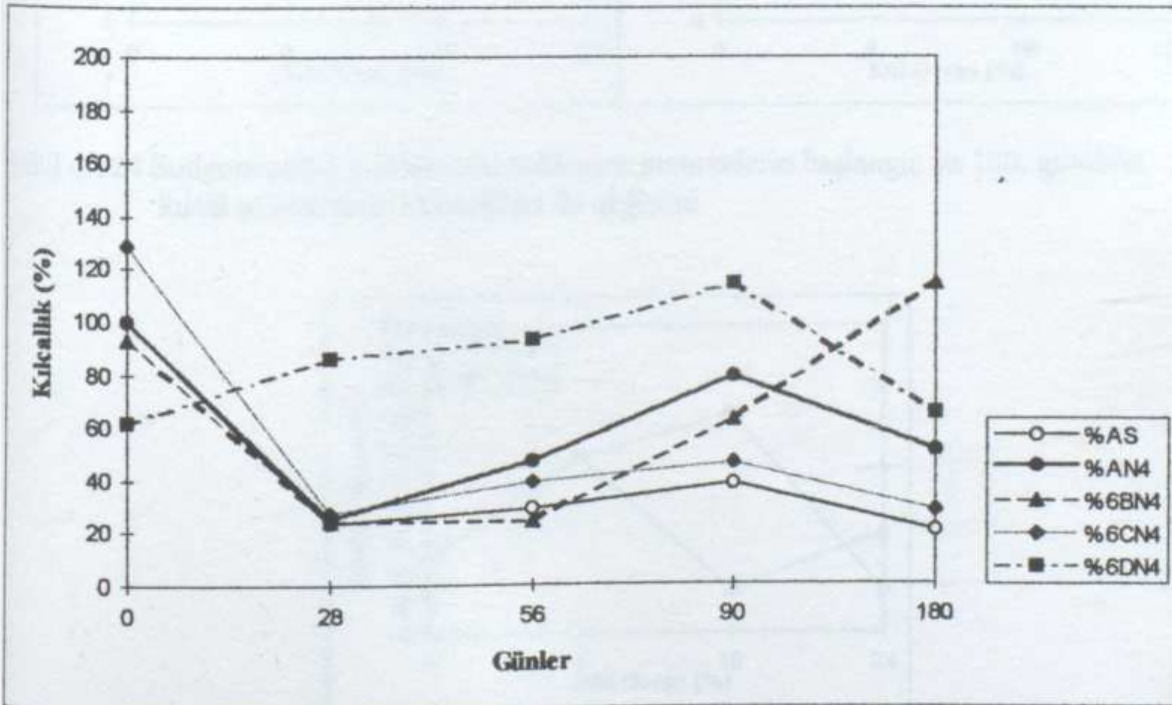


Şekil 4.120 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde kılcal su emmenin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

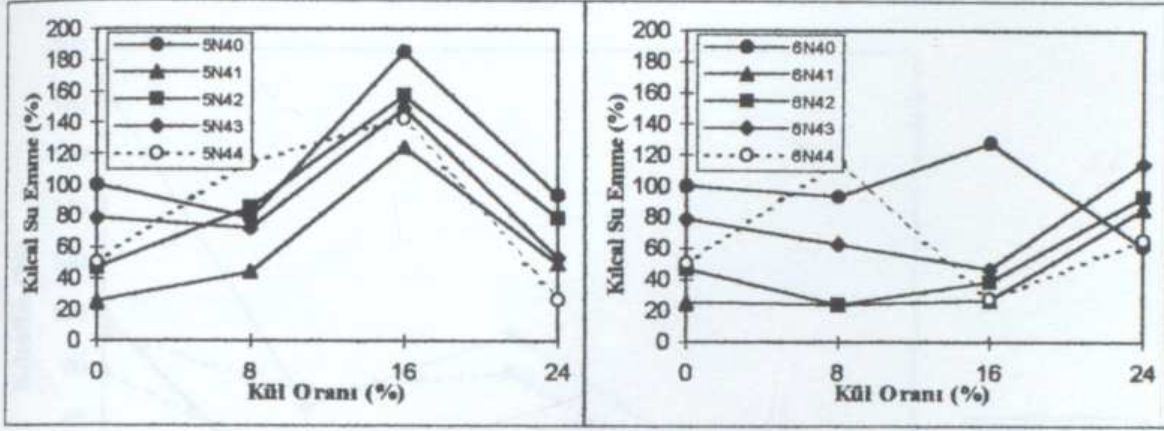




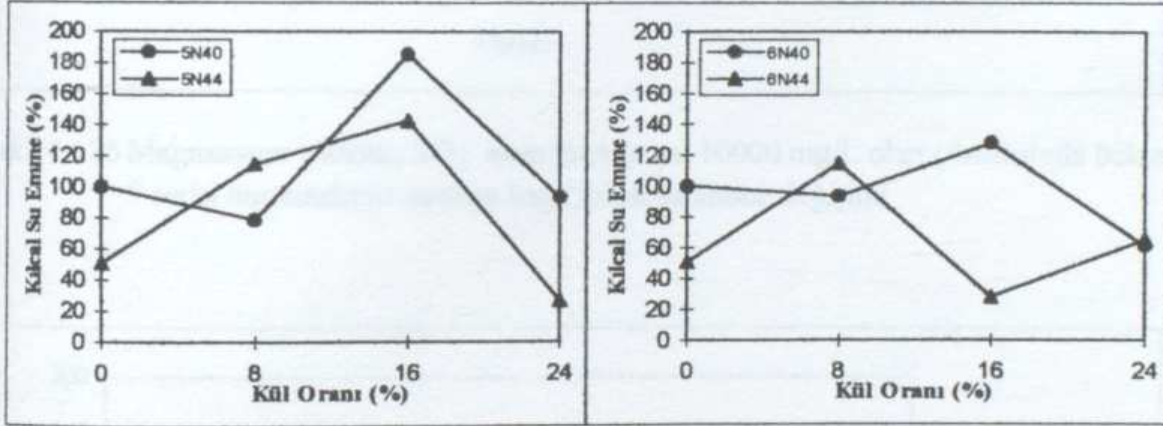
Şekil 4 121 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



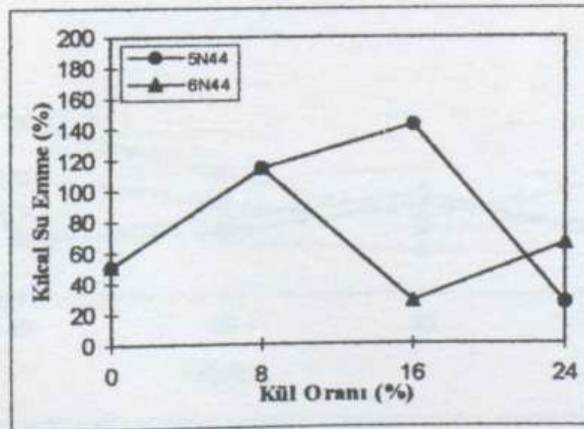
Şekil 4.122 Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



Şekil 4.123 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi

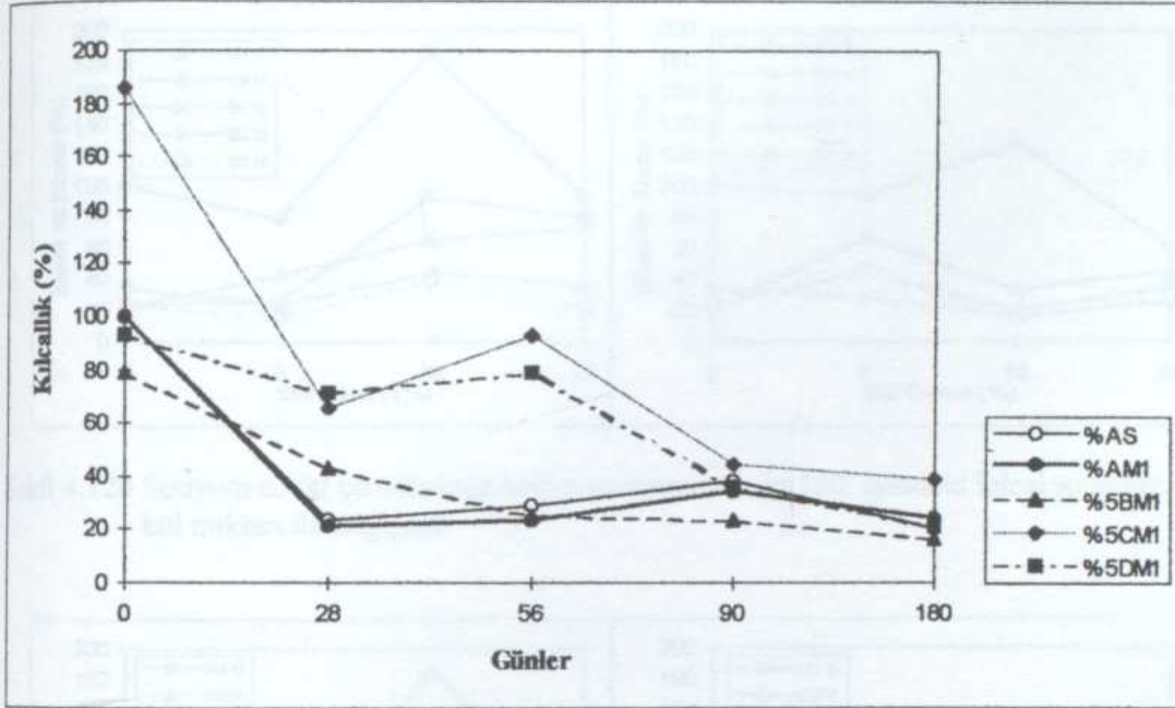


Şekil 4.124 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi

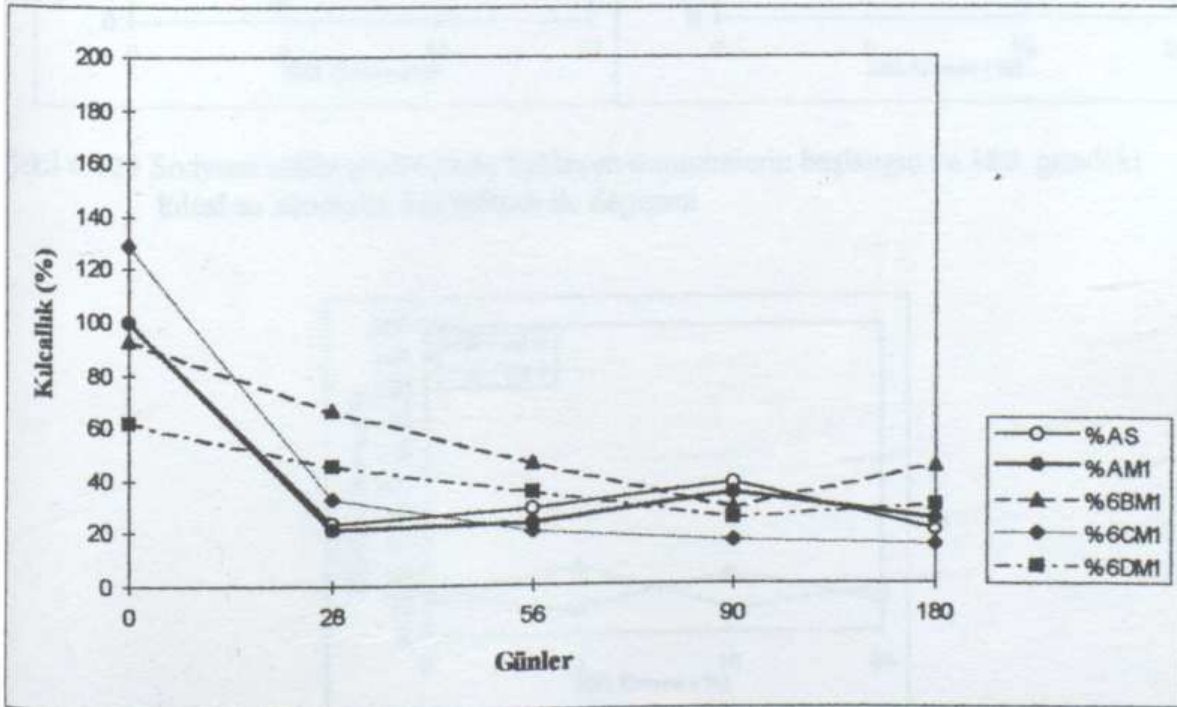


Şekil 4.125 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde kılcal su emmenin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

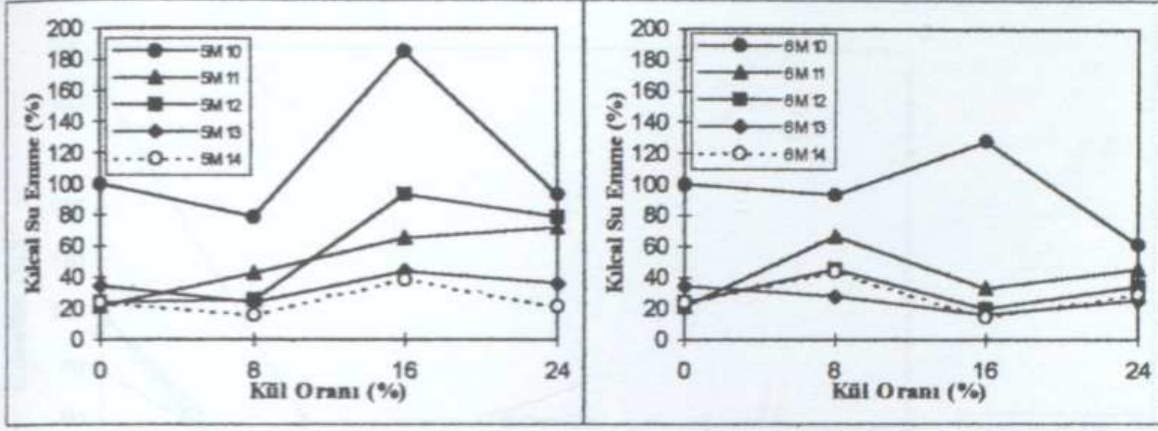




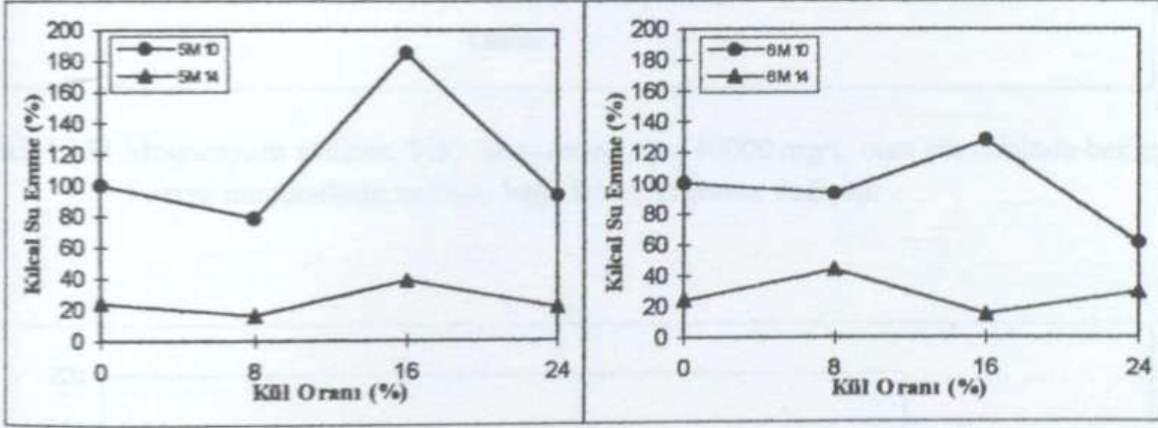
Şekil 4.126 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



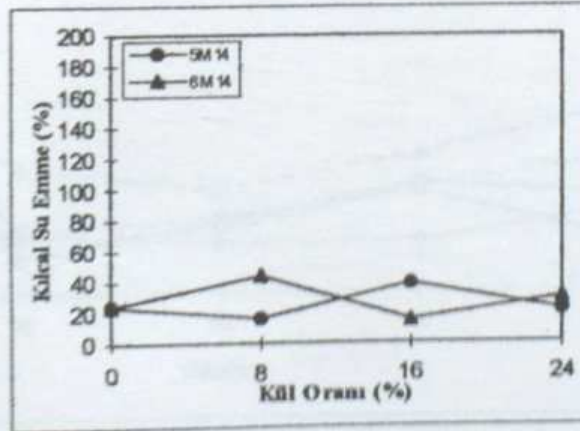
Şekil 4.127 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



Şekil 4.128 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi

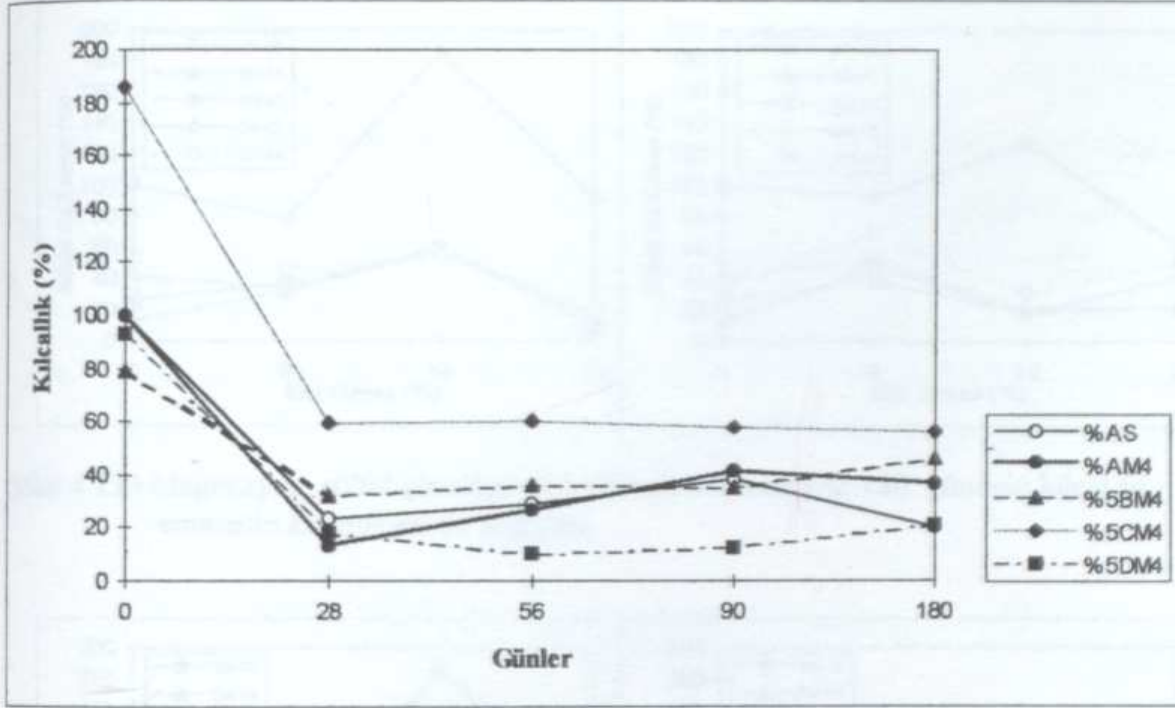


Şekil 4.129 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi

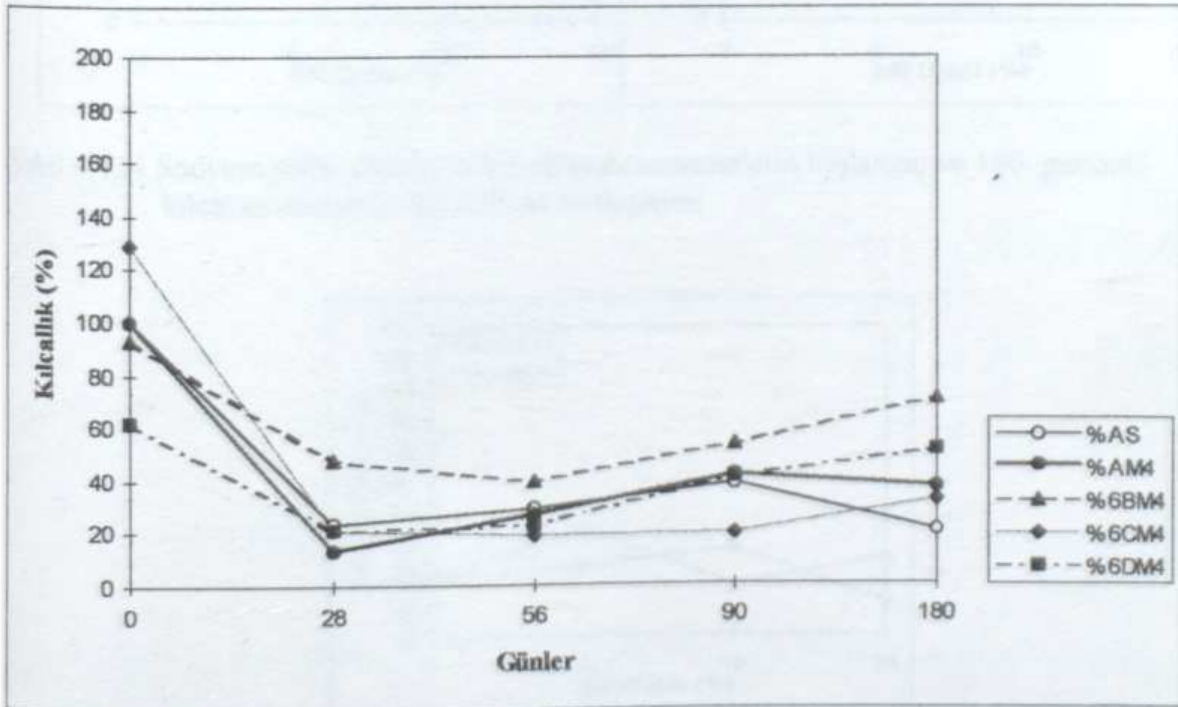


Şekil 4.130 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde kılcal su emmenin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması

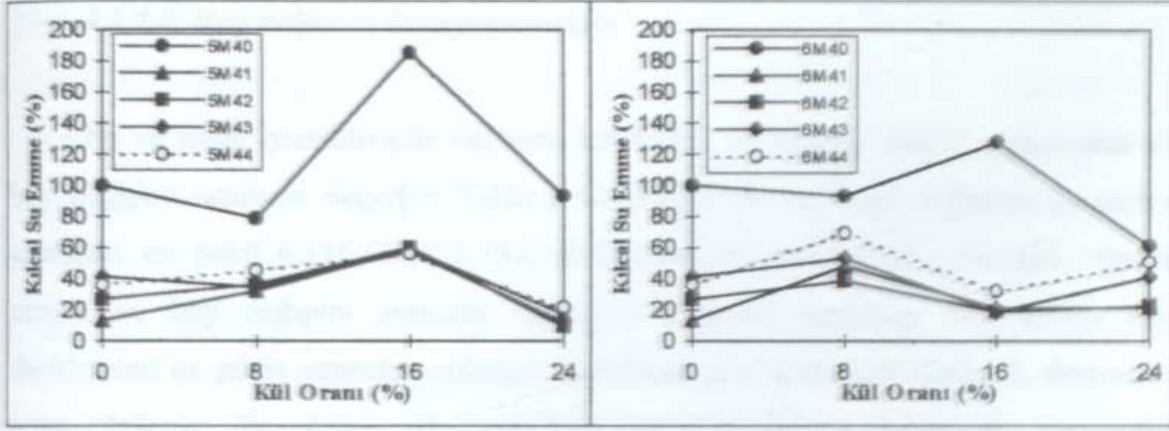




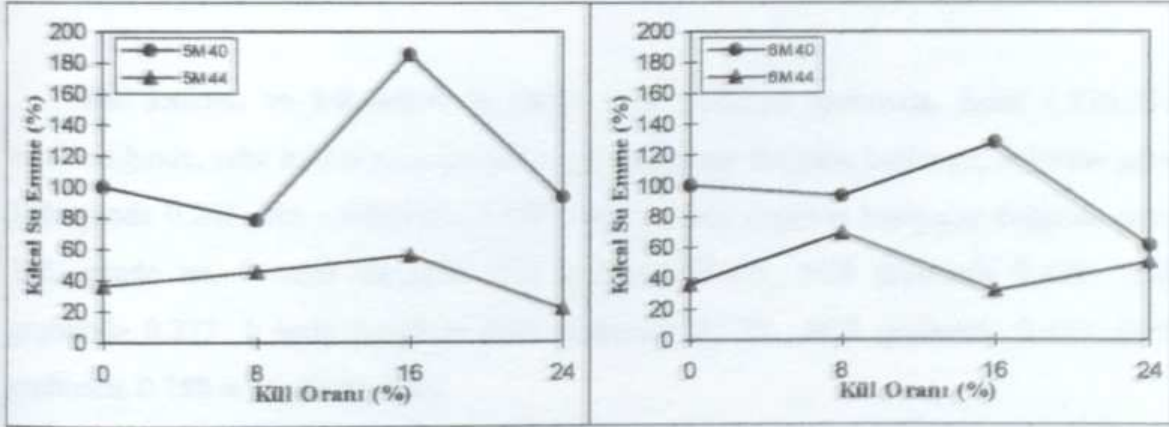
Şekil 4.131 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



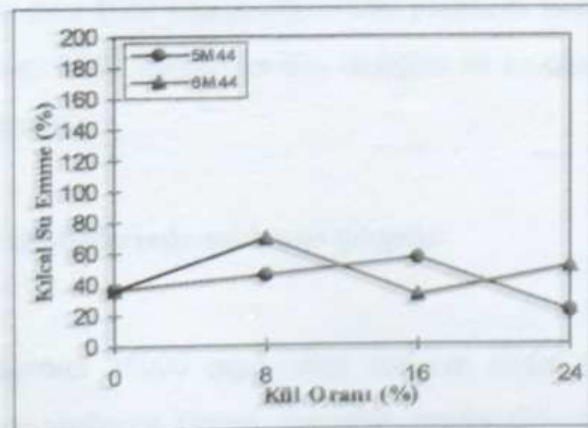
Şekil 4.132 Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı kılcal su emme değişimi



Şekil 4.133 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.134 Sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin başlangıç ve 180. gündeki kılcal su emmenin kül miktarı ile değişimi



Şekil 4.135 Magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen numunelerin 180. günde kılcal su emmenin kül miktarı ile değişiminin 5 ve 6 serisi yönünden karşılaştırılması



#### 4.2.2.5. Boy değişimi deneyi sonuçları

Su ve sülfat çözeltilerinde saklanan kül katkılı ve katkısız (şahit) numunelere ait boy değişimi ortalama değerleri Tablo 3.44,45,46,47,48'de, bağıl değerleri ile çizilen grafikleri ise Şekil 4.136,137,138,139,140,141,142,143,144,145'de verilmiştir. Ayrıca zaman ve boy değişimi arasında regresyon analizleri yapılmış, elde edilen eğri denklemleri de şeklin yanında verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi eğriler 2. dereceden artan eğrilerdir. Bu eğrilere ait korelasyon katsayıları yüksek değerdedir. Bu veriler incelendiğinde;

#### Suda saklanan gruplar

Kül katkısız ve kül katkılı harçların suda saklanan grubunda, Şekil 4.136,137 incelendiğinde, şahit harcın suda saklanan grubunda boy değişimi başlangıç değerine göre 180. günde 0.243 artış şeklindedir. Küllü harçların boy değişimi başlangıç değerine göre 180. günde ise, 5 serisi harçların 5BS grubunda 0.221, 5CS grubunda 0.479, 5DS grubunda 0.277; 6 serisi harçların 6BS grubunda 0.279 , 6CS grubunda 0.425, 6DS grubunda 0.188 artış görülmüştür.

Şahit ve küllü harçlarda su içinde boy değişimi zamanla artmaktadır. Genel olarak şahit harçta 180. günde boy artışı küllü harçlara göre daha az olmuştur. Küllü harçlardan 5 serisinin 5CS ve 5DS ile 6 serisinin 6BS ve 6CS grubu harçlarında boy değişimleri şahit harca göre 180. günde daha fazla artmış, diğer küllü harçlarda azalmıştır.

Su içinde saklanan küllü harçlardan boy değişimi en az olan kül grubu 6 serisinin 6DS grubu olduğu görülür.

#### Sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan gruplar

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilerinde saklanan grupların boy değişimi deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.138,139'da görüldüğü gibi, katkısız harcın 180. günde başlangıca göre, 0.298, 5 serisinin 5BN1

grubunda 0.619, 5CN1 grubunda 0.948, 5DN1 grubunda 1.792 artış göstermiştir. Aynı çözeltilerdeki 6 serisinde ise 6BN1'de 0.842, 6CN1'de 0.233 , 6DN1'de 1.385'lik artış olmuştur.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilinde saklanan şahit ve küllü harçlarda başlangıca göre zamanla boy artışı olmuştur. Küllü harçların 6 serisinin 6CN1 grubu dışında her iki serinin bütün gruplarında, kül oranına bağlı olarak zamanla boylar artmıştır. Boy artışları, 180. günde su içinde bekletilen şahit harçta 0.24 , sülfatta bekleyen şahit harçta 0.29, küllü harçlardan 5 serisinin 5D grubunda en büyük artışla 1.7, 6 serisinde en büyük artışla 6D grubunda 1.3 ve en küçük değerde 6 serisinin 6C grubu harçlarında 0.23'dür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilinde saklanan grupların boy değişimi deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.140,141'de görüldüğü gibi, katkısız harcın 180. gündeki artışı 0.385'dir. 5BN4 grubunda 1.698, 5CN4 grubunda 0.469, 5DN4 grubunda 1.375'lik artış görülmüştür. Aynı çözeltilerde saklanan 6 serisinde ise 6BN4'de 2.667, 6CN4'de 0.323, 6DN4'de 2.208 artış görülmüştür.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilinde bekletilen şahit ve küllü harçların tümünde genel olarak,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltilinde bekletilen harçların davranışında benzerlik görülmüştür. Küllü harçlardan 5 serisinin bütün grupları şahit harca göre 180. günde artış göstermiştir. 6 serisinin C grubu, şahitten düşük değer gösterirken diğer iki grupta da şahite göre artış görülmüştür.

#### **Magnezyum sülfat çözeltilinde saklanan grup**

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltilinde saklanan grupların boy değişimi deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.142,143'de görüldüğü gibi, katkısız harcın 180. günde boy değişiminde 0.248'lik artış olmuştur. Küllü harçların boy değişimi ise, 5 serisinin 5BM1 grubunda 0.169, 5CM1 grubunda





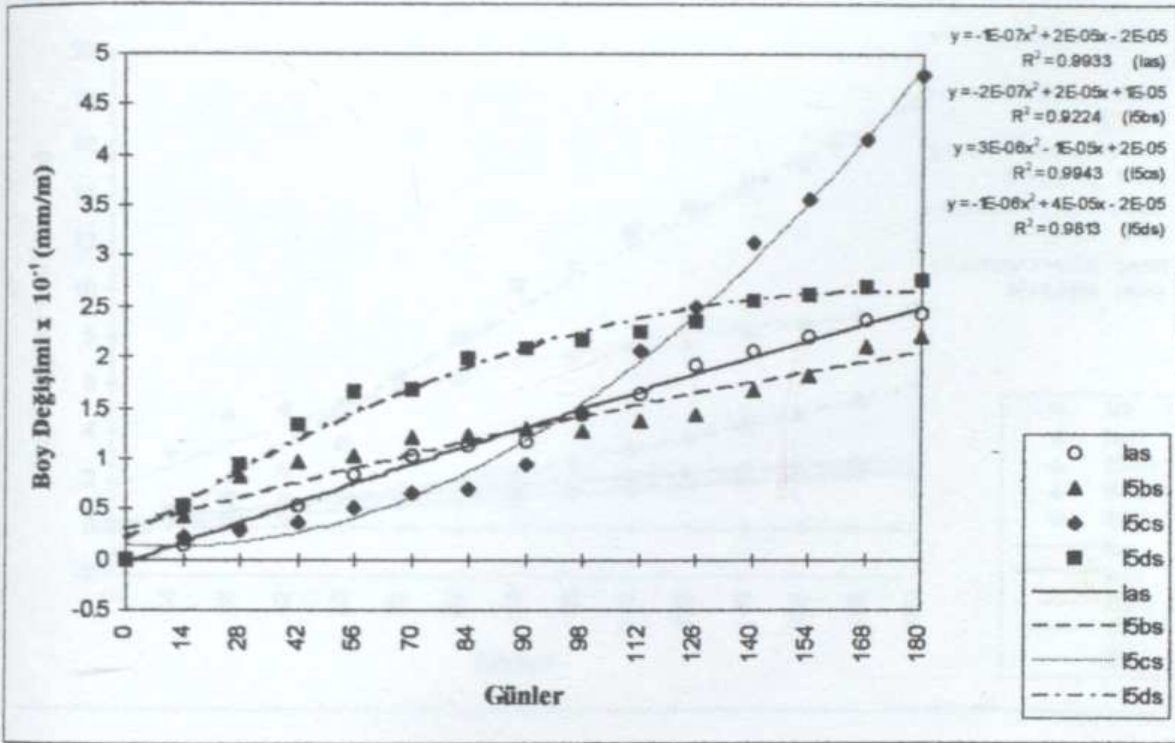
0.319, 5DM1 grubunda 0.333'lük artış görülmüştür. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde ise 6BM1'de 2.667, 6CM1'de 0.333, 6DM1'de 1.946 artış olmuştur.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan şahit ve kül katkılı harçlarda, genel olarak suya ve sodyum sülfatlı ortama göre boy artışlarında düşmeler olmuştur. Örneğin, şahit harcın 180. günde su içindeki değeri 0.24,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisindeki değeri 0.24,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan sodyum sülfat ( $Na_2SO_4$ ) çözeltisindeki değeri 0.28 dir. Küllü harçlarda, 5BN1'in 0.61, 5BM1'in 0.16, 5DN1'in 1.79, 5DM1'in 0.33, 6 serisinde 6BN1'in 0.84, 6BM1'in 2.6, 6DN1'in 1.38, 6DM1'in 1.94 olduğu görülmüştür. Buna göre 5 serisinin tüm grupları düşme, 6 serisinin 6B ve 6D grupları artma göstermiştir. 6 serisinin 6C grubu her üç ortamda da aynı değerini korumuştur.

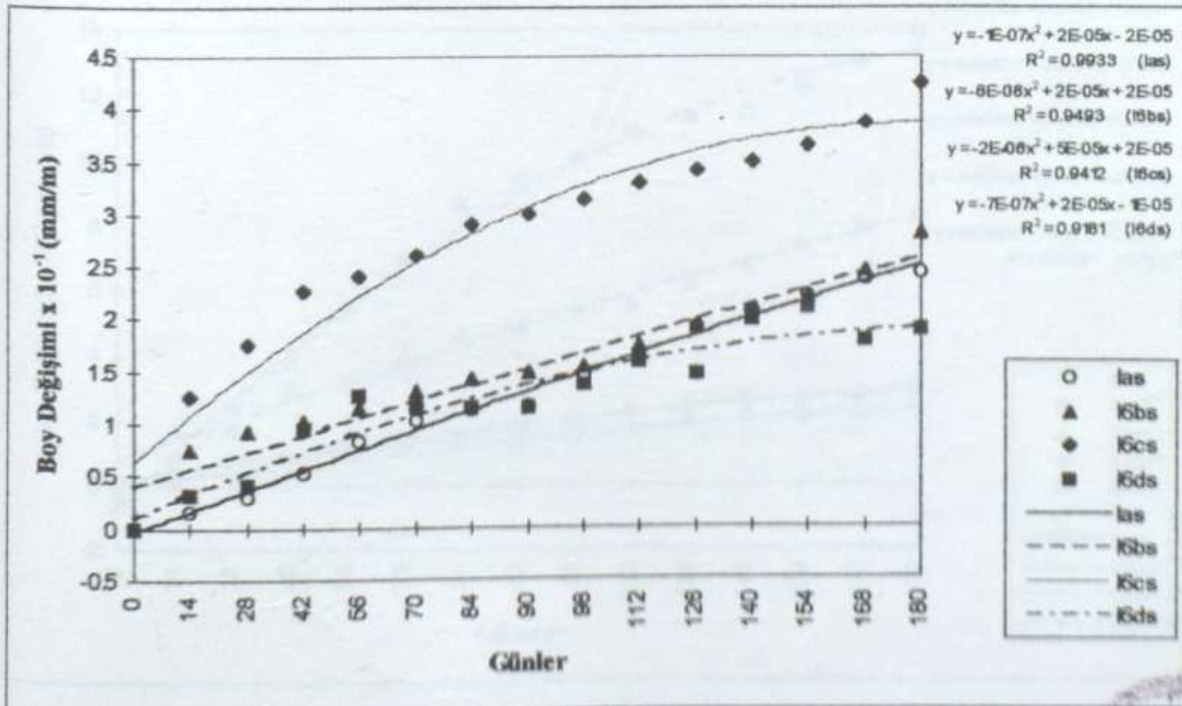
$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan grupların boy değişimi deneyi sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.144,145'de görüldüğü gibi, katkısız harcın boy değişimi 180. günde 0.281 artmıştır. Küllü harçların 5BM4 grubunda 0.813, 5CM4 grubunda 0.417, 5DM4 grubunda 0.501'lik artış görülmüştür. Aynı çözeltide saklanan 6 serisinde ise 6BM4'de 0.385, 6CM4'de 0.417, 6DM4'de 0.615'lik artış olmuştur.

$SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisinde saklanan kül katkılı ve katkısız harçlarda 180. günde boy artışı görülmüştür. Bu ortamdaki artışlar  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfatlı ortamda tutulan harçlardakinden daha küçük artışlar şeklindedir. Örneğin 5BN4'de 180. gündeki artış 1.69, 5BM4'de ise bu değer 0.82 dir. Bu durum suda çözünmeyen hidrate ürünlerden  $Mg(OH)_2$ 'in varlığı ile açıklanabilir.





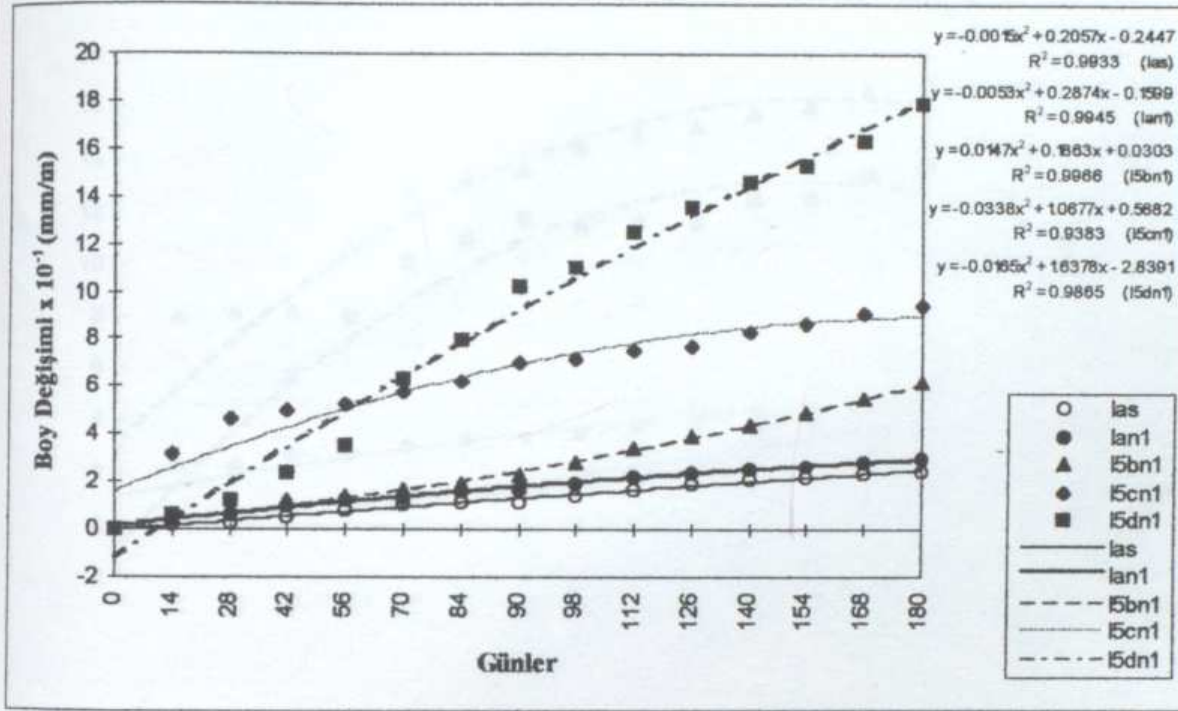
Şekil 4.136 Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi



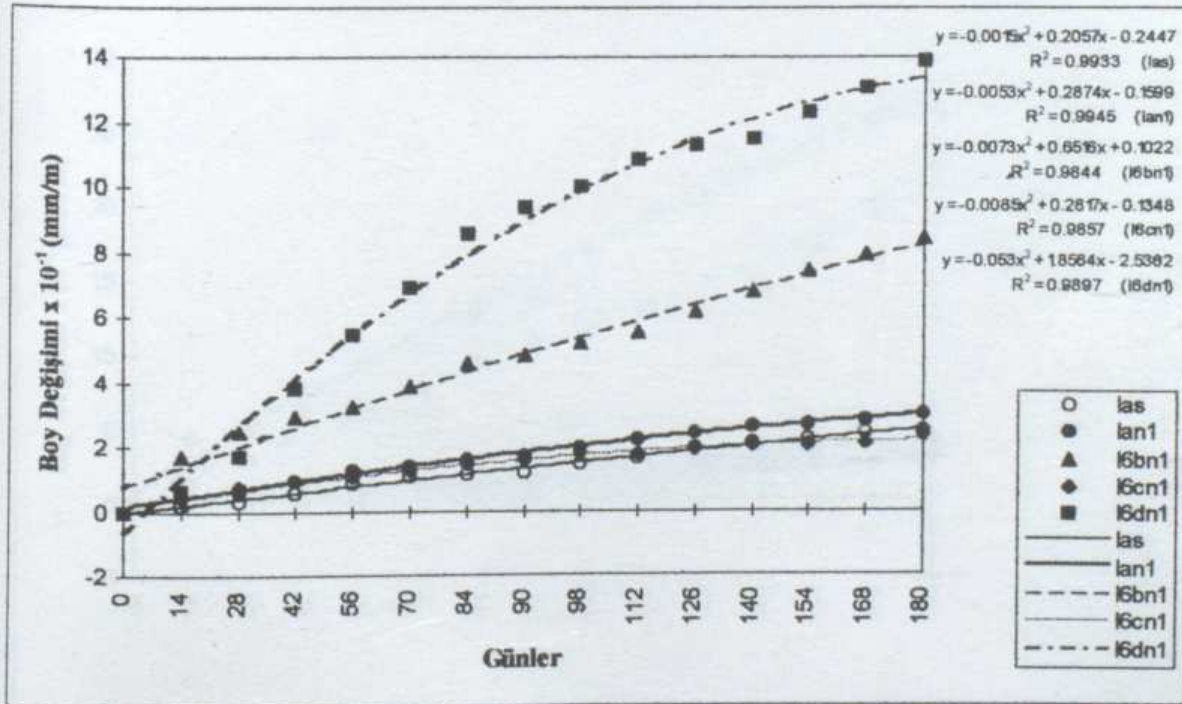
Şekil 4.137 Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi



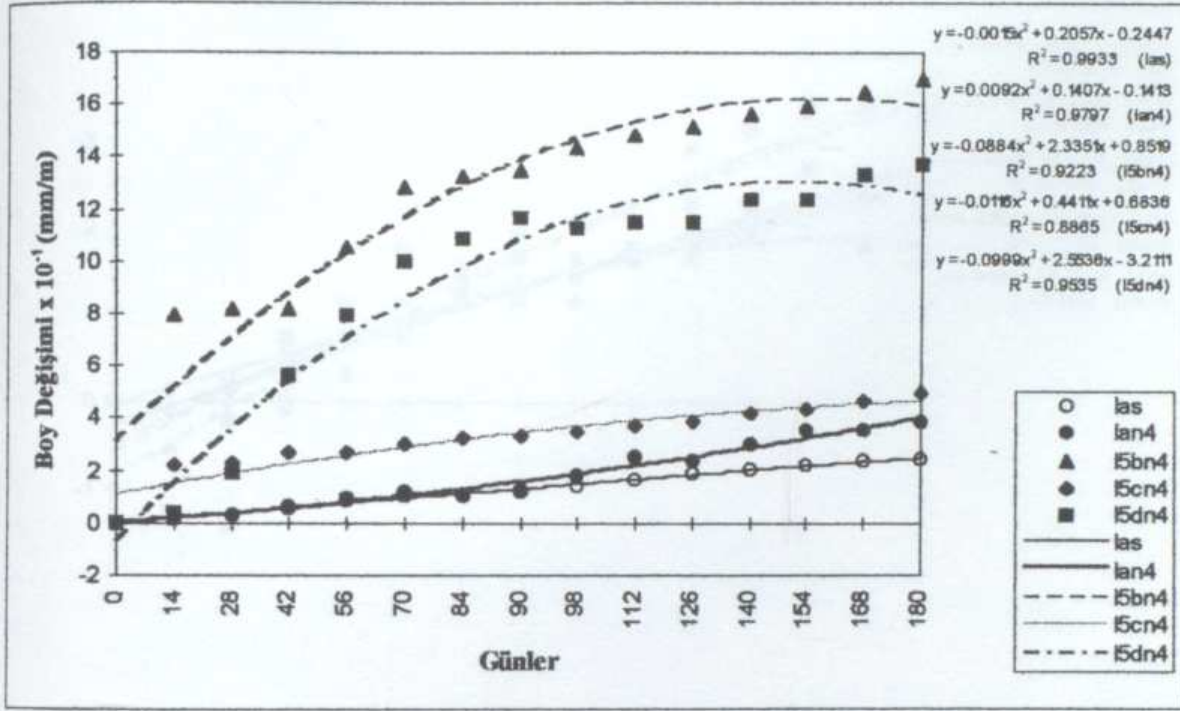




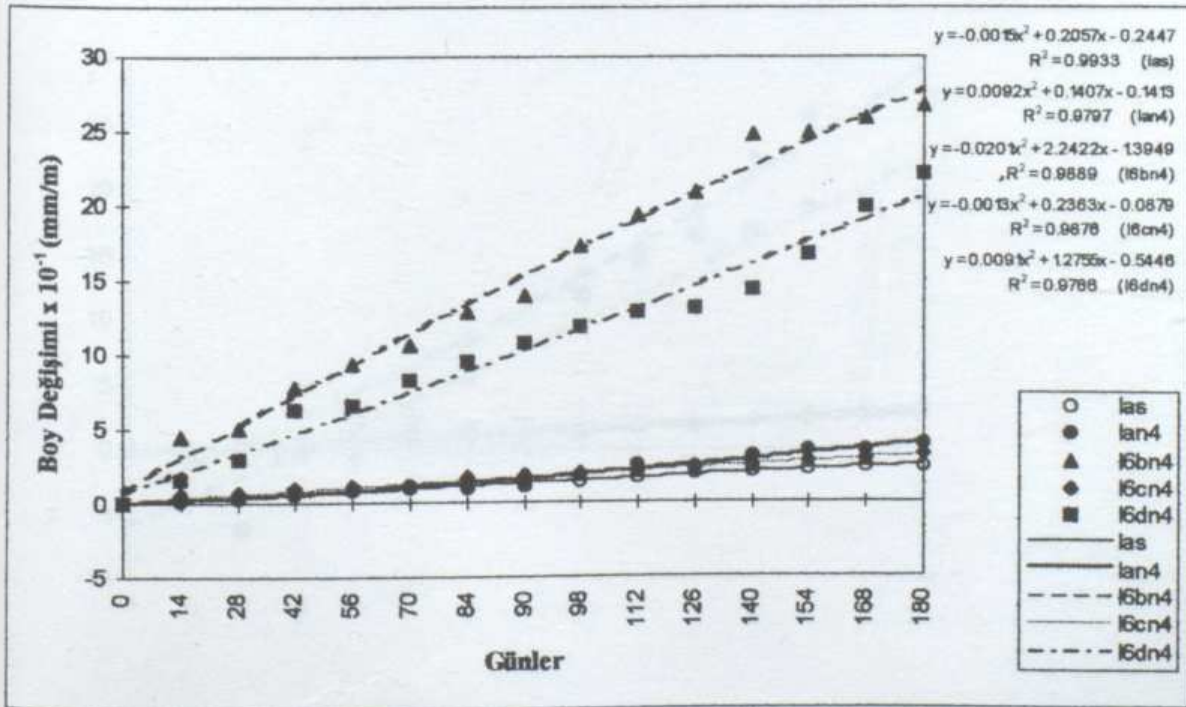
Şekil 4.138 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi



Şekil 4.139 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi

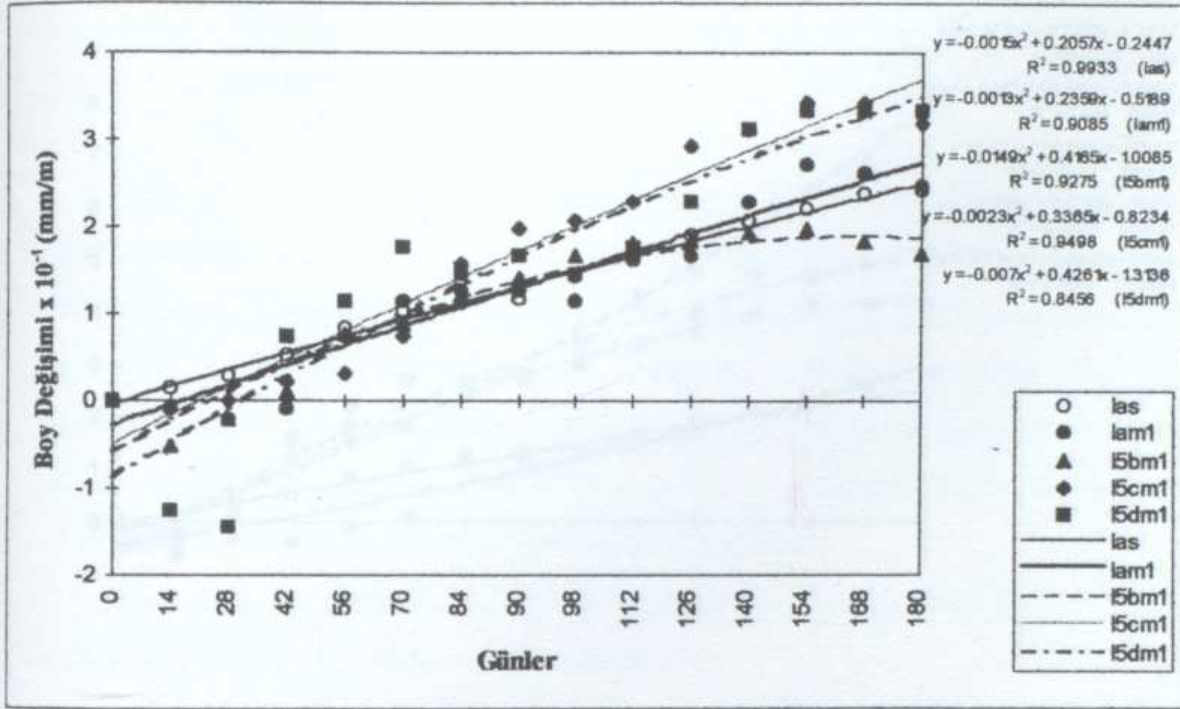


Şekil 4.140 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi

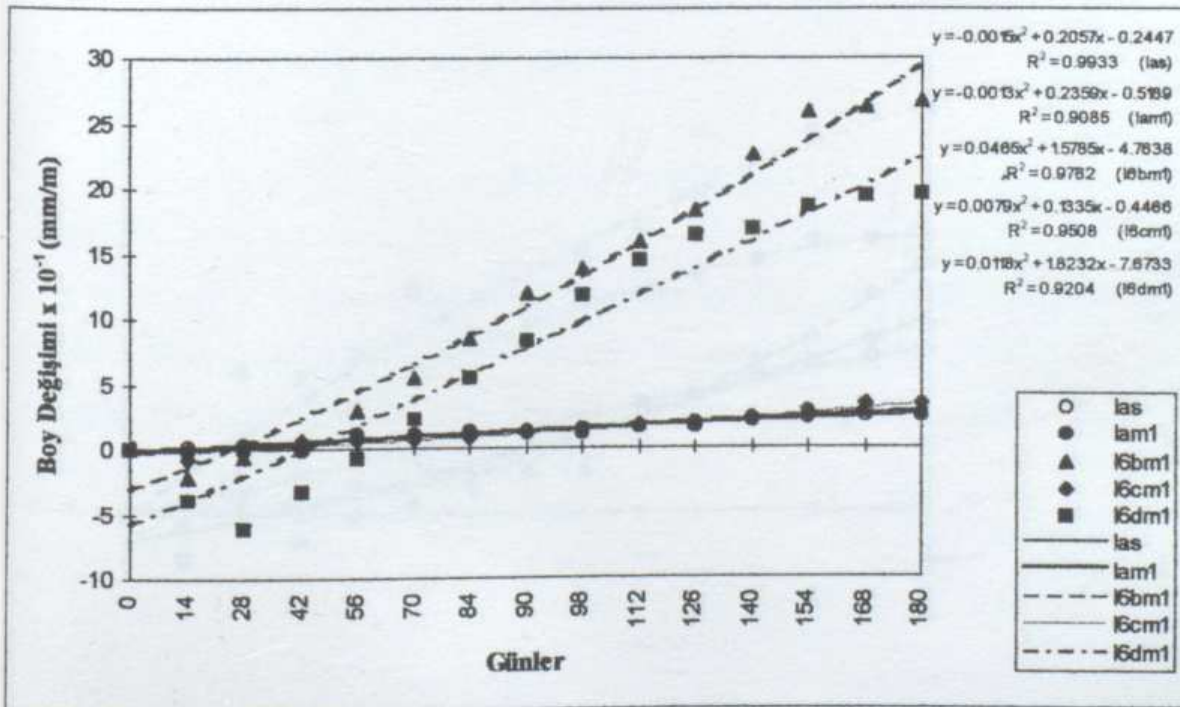


Şekil 4.141 Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi

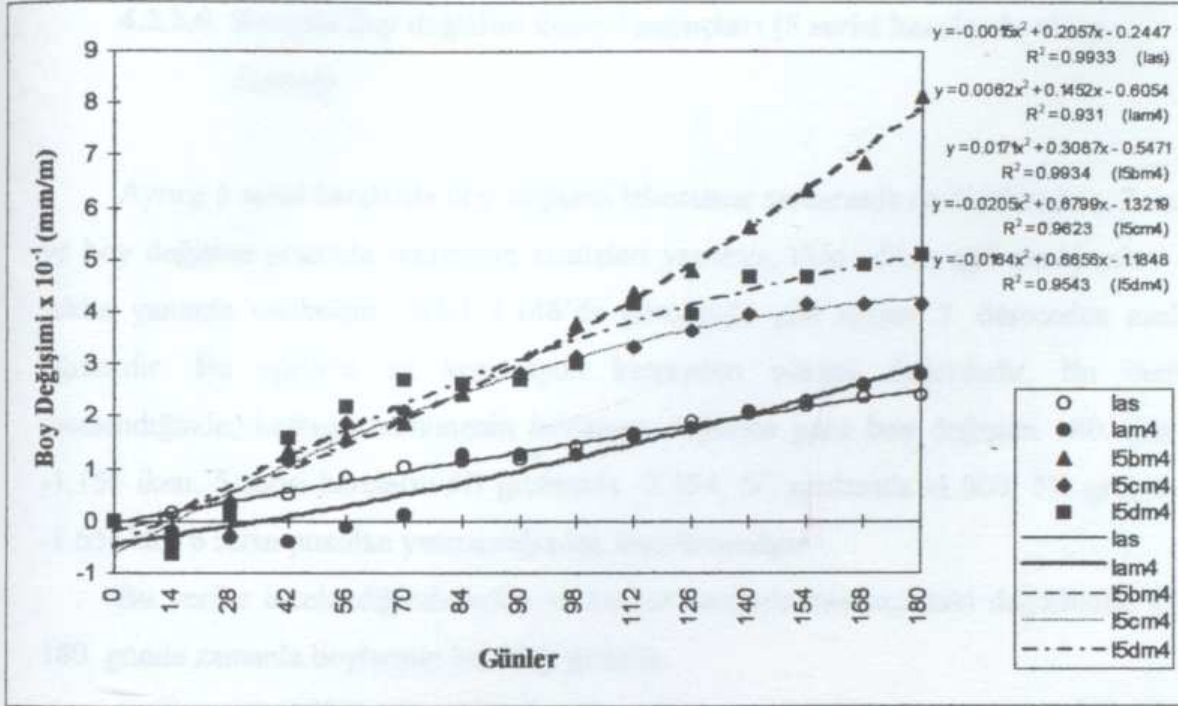




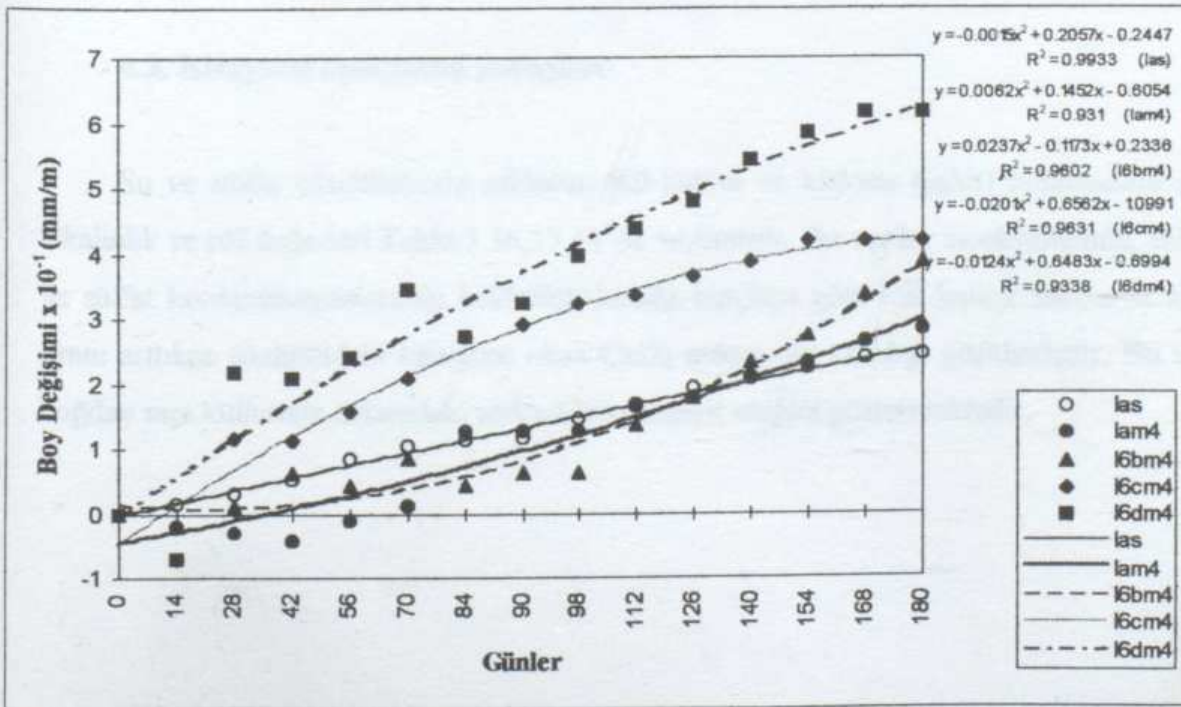
Şekil 4.142 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi



Şekil 4.143 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi



Şekil 4.144 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi



Şekil 4.145 Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi



#### 4.2.2.6. Havada boy değişimi deneyi sonuçları (5 serisi harçlarda rötre deneyi)

Ayrıca 5 serisi harçlarda boy değişimi laboratuvar şartlarında da llmüştür. Zaman ve boy değişimi arasında regresyon analizleri yapılmış, elde edilen eğri denklemleri de şeklin yanında verilmiştir. şekil 4.146'da görüldüğü gibi eğriler 2. dereceden azalan eğrilerdir. Bu eğrilere ait korelasyon katsayıları yüksek değerdedir. Bu veriler incelendiğinde; katkısız numunenin başlangıç değerine göre boy değişimi 180. günde -1.156 iken, 5 serisi harçların 5B grubunda -2.354, 5C grubunda -1.000, 5D grubunda -1.656'dır. 6 serisi puzolan yetersizliğinden retilenemiştir.

Bu veriler incelendiğinde kll ve külsüz harçların başlangıçtaki değerlerine göre 180. günde zamanla boylarının kısaldığı görülür.

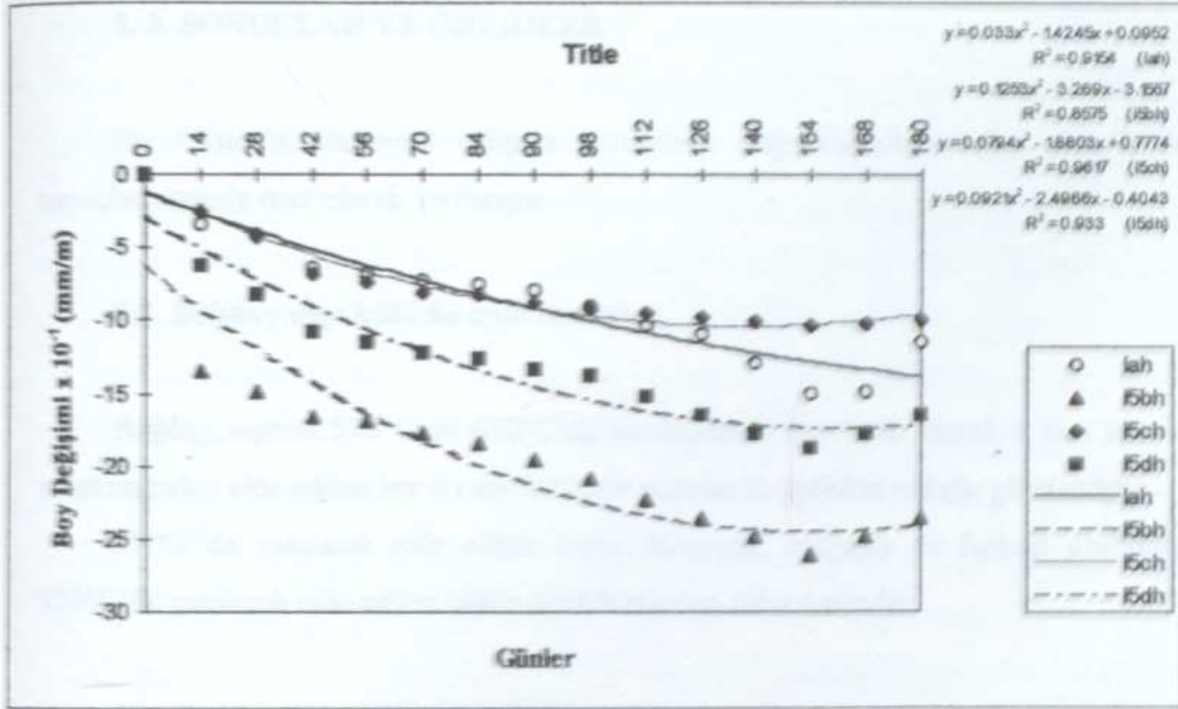
Cook et al (1983) rötrenin kül miktarı ile artışını küllerin su tutma kabiliyetinin fazlalığına bağlamaktadır.

Akman (1987) imento pastasındaki adsorbe su tabakası inceldikçe taneleri birbirine doğru çeken kuvvetler artmakta ve hacim büzülmesi şeklinde ifade etmektedir.

#### 4.3. Kimyasal deneylerin sonuçları:

Su ve sülfat ozeltelerinde saklanan kül katkılı ve katkısız (şahit)'numunelere ait alkalinite ve pH değerleri Tablo 3.16,17,18'de verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde, suda ve sülfat konsantrasyonlarında beklenen külsüz harçlara göre kül katkılı harçlarda kül oranı arttıķa süzüntüdeki kalsiyum oksit (CaO) miktarının azaldığı görülmüştür. Bu ise buğday sapı küllerinin ortamdaki serbest kireci tesbit ettiğini göstermektedir.





Şekil 4.146 Havada bekleyen 5 serisi numunelerin zamana bağlı boy değişimi



## 5. 0. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, deneysel çalışma verilerinin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak verilmiştir.

### 5.1. Buğday sapı külü ile ilgili sonuçlar

Buğday sapının 570°C ve 670°C'da sıcaklıklarda kontrollü olarak 5 saat süre ile yakılmasından elde edilen her iki seri külünde puzolanik özellikte olduğu görülmüştür.

670°C'da yakılarak elde edilen külün kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikleri, 570°C'da yakılarak elde edilen külün özelliklerinden daha üstündür.

### 5.2. Taze harç özellikleri ile ilgili sonuçlar:

Buğday sapından 570°C ve 670°C'da yakılarak elde edilen her iki kül grubunda da kül oranı arttıkça taze harçlarda eşit işlenebilme için gerekli olan karma suyu ihtiyacı artmıştır.

Taze harçlarda birim ağırlık, kül miktarının artması ile azalmaktadır.

### 5.3. Sertleşmiş harç özellikleri ile ilgili sonuçlar:

Sertleşmiş harçlar ile ilgili sonuçlar, mekanik ve fiziksel özellikler bakımından bekletildikleri korozif ortamlara göre özetlenmiştir.

#### 5.3.1.Eğilme dayanımı sonuçları,

Buğday sapı külleri ile üretilen kül katkılı harçların eğilme dayanımları, başlangıçta şahit harca göre daha düşük değerdedir.

Su içinde bekletilen külsüz harçlarda eğilme dayanımı, 180. güne kadar başlangıç değerine göre düşüş göstermiştir. Su içinde bekletilen küllü harçların her iki serisinde de

eğilme dayanımı, başlangıç değerine göre 180. günde bazı harç gruplarında düşmüş, bazı harç gruplarında ise artmıştır. Suda bekletilen grupta 670°C'da elde edilen %24 kül katkılı harçlarda maksimum dayanım elde edilmiştir.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen katkısız ve kül katkılı harçların tüm gruplarının eğilme dayanımları 180. güne kadar artmıştır. Kül katkılı numunelerin her iki serisinde 180. günde ki eğilme dayanımları katkısız numunelerin dayanımından daha yüksektir. Artış değerleri şahit harçta 180. günde %6 iken, 570°C'da elde edilen serisinin %8 kül katkılı grubunda %42 dir.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen katkısız harçların eğilme dayanımında zamanla düşme görülmüştür. Kül katkılı harçların eğilme dayanımı bazı gruplarda düşmüş, bazı gruplarda ise artmıştır. Sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen grupta 570°C'da elde edilen %16 kül katkılı grubunda maksimum dayanım elde edilmiştir.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkılı ve katkısız harçların eğilme dayanımları zamanla artmıştır. 570°C'da elde edilen %8 küllü ve 670°C'da elde edilen %24 küllü harç gruplarında maksimum dayanım elde edilmiştir.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde saklanan kül katkılı ve kül katkısız harçların eğilme dayanımları zamanla artmıştır. Külsüz harç grubunda başlangıç değerine göre 180. gündeki artış %24 iken, 570°C'da elde edilen %8 kül katkılı harç grubunda artış %28, 670°C'da elde edilen %24 küllü harç gruplarında ise artış %31 dir.

### 5.3.2. Basınç dayanımı sonuçları,

Su içinde bekletilen kül katkılı ve kül katkısız harçların basınç dayanımları genel olarak zamanla artmıştır. Kül katkılı harçların her iki serisi de benzerdir. Su içinde bekletilen 670°C'da elde edilen %24 küllü harçlarda maksimum dayanım elde edilmiştir.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkılı ve katkısız harçların, 5 serisinin C ve D grubu harçlar hariç diğer bütün gruplarda



basınç dayanımları zamanla artmıştır. 670°C'da elde edilen kül katılarak elde edilen harçların basınç dayanımları, külsüz harçlardan daha yüksektir.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen külsüz harç grubunda basınç dayanımı zamanla artmıştır. 570°C'da elde edilen kül katkılı harçların basınç dayanımları zamanla azalma göstermiştir. 670°C'da elde edilen kül katkılı harç gruplarının basınç dayanımı ise artmıştır. Külsüz harçta dayanım artışı %10 iken, 670°C'da elde edilen %16 kül katkılı harç grubunda artış %18 olmuştur.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkılı ve katkısız harçların, 5 serisinin C ve D grubu harçlar hariç diğer tüm gruplarda basınç dayanımları artmıştır. 670°C'da elde edilen %16 kül katkılı harç grubunda maksimum dayanım elde edilmiştir.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkısız ve katkılı harçların basınç dayanımları, 6 serisinin B ve C grubu harçlar hariç diğer tüm gruplarda zamanla düşme görülmüştür. Şahit harcın basınç dayanımındaki artış başlangıç değerine göre 180. günde %1 iken, 670°C'da elde edilen %8 küllü grupta %14 ve %16 küllü grupta %19'luk artış olmuştur.

Kül katkılı harçlarda 180. günde magnezyum sülfat etkisi pek belirgin değildir. Ayrıca 180. günde numunelerde gözle görülür parçalanma, çatlama dökülme ve yumuşama gibi değişimler görülmemiştir. Mukavemet artış değerleri bakımından Tablo 4-1 incelendiğinde  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan magnezyum sülfat çözeltisindeki davranışların diğer çözeltilerden pek farklı olmadığı görülür.

### 5.3.3.Ağırlık değişimi sonuçları,

Su içinde bekletilen kül katkılı ve külsüz harçlarda ağırlık değişimi zamanla artmaktadır. Genel olarak kül katkılı harçların her iki serisi de ağırlık değişimi bakımından benzerdir. Küllü harçlarda, kül miktarı arttıkça ağırlık artış yüzdesi azalmaktadır. Bu değişim, 5 ve 6 serisinin B grubu harçlarında ağırlık artışı, her iki serinin kalan gruplarında şahit harca göre ağırlık azalması şeklindedir.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkılı ve külsüz harçlarda zamanla ağırlık artışı olmuştur. Küllü harçların 5 serisinin B ve C ve 6 serisinin B grubunda ağırlık artmış, diğer gruplarında şahit harca göre düşme olmuştur. Bu ortamda 150. günden sonra ağırlık artışında bir sabitleşme görülmüştür. Her iki serinin %24 kül katkılı harçlarının ağırlıkları şahit harca göre azalmıştır.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkılı ve katkısız tüm harç gruplarında zamanla ağırlık artışı görülmüştür. Ağırlık değişimi şahit harca göre başlangıçtan itibaren her iki serinin %8 -ve %16 küllü gruplarında ağırlık artışı daha fazla, %24 küllü gruplarında daha düşüktür.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen şahit harcın 180. gündeki ağırlık artışı %0.12 iken, bu ortamda %0.7 dir. 6BN1 %1 iken burada 6BN4 %1.51dir. Ayrıca 6DN1%0.03 iken, 6DN4 %0.44 dür. Görüldüğü gibi ağırlık değişimleri 180. güne kadar vardır fakat büyük değerlerde değildir.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde saklanan kül katkılı ve külsüz harçlarda zamanla ağırlık artışı olmuştur. Küllü harçlarda ağırlık değişimi, 90. günden itibaren azalma ve sabitleşme eğilimi göstermişlerdir. Ağırlık değişimi şahit harca göre başlangıçtan itibaren her iki serinin %8 ve %16 küllü gruplarında ağırlık artışı daha fazla, %24 küllü gruplarında daha düşüktür.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkılı ve külsüz harçlarda başlangıca göre zamanla ağırlık artışı olmuştur.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen şahit harcın 180. gündeki ağırlık değişimi değeri %0.642 iken bu ortamda şahit harcın değeri %0.586 dır. Küllü harçlarda ağırlık değişimi, 90. günden itibaren 180. güne kadar azalma ve sabitleşme eğilimi göstermişlerdir.

#### 5.3.4. Birim ağırlık değişimi sonuçları,

Kül katkılı harçların her iki serisinde de kül miktarının artmasıyla birim ağırlıklarda azalmalar görülmüştür.





Su içinde bekletilen kül katkısız harçlarda birim ağırlık zamanla artmıştır. Kül katkılı harçlarda birim ağırlık, bazı kül gruplarında artmış, bazı kül gruplarında ise azalmıştır. Birim ağırlıktaki değişim değerleri tüm harç gruplarında çok küçük miktarlardadır.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L ve 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkısız harçlarda birim ağırlık zamanla artmıştır. Kül katkılı harçlarda birim ağırlık, bazı kül gruplarında artmış, bazı kül gruplarında ise azalmıştır. Birim ağırlıktaki değişim değerleri tüm harç gruplarında çok küçük miktarlardadır. Her iki konsantrasyonda da şahit harç grubunun birim ağırlık atışı, kül katkılı harçlardan daha yüksektir.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L ve 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkısız harçlarda birim ağırlık zamanla artmıştır. Kül katkılı harçlarda birim ağırlık, bazı kül gruplarında artmış, bazı kül gruplarında ise azalmıştır. Birim ağırlıktaki değişim değerleri tüm harç gruplarında çok küçük miktarlardadır. Her iki konsantrasyonda da şahit harç grubunun birim ağırlık atışı, kül katkılı harçlardan daha yüksektir. Kül katkılı harçların tüm gruplarında birim ağırlık değişimi benzerdir ve 180. günde küllü harçlarda sülfat etkisi belirgin değildir.

### 5.3.5. Hacimce su emme değişimi sonuçları,

Su içinde bekletilen küllü ve külsüz harçların su emme değerinde zamanla artış olmuştur. Külsüz harç grubuna göre, kül katkılı harçların hacimce su emme değerleri genel olarak daha yüksektir.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen külsüz ve küllü harçlarda hacimce su emme değeri başlangıca göre, külsüz şahit grup ile 670°C'da elde edilen %8 ve %16 kül katkılı harçlarda zamanla değişme olmamış, diğer tüm gruplarda azda olsa artmıştır.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen külsüz ve küllü harçlarda hacimce su emme değeri başlangıca göre, külsüz şahit grubu ile

570°C'da ve 670°C'da elde edilen %16 kül katkılı harçlarda zamanla düşme, diğer tüm gruplarda ise artma olmuştur.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen külsüz ve küllü harçlarda hacimce su emme değeri başlangıca göre, külsüz şahit grubu ile 570°C'da ve 670°C'da elde edilen %16 kül katkılı harçlarda zamanla düşme, diğer tüm gruplarda ise artma olmuştur.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen külsüz ve küllü harçlarda hacimce su emme değeri başlangıca göre, külsüz şahit grubu ile 570°C'da ve 670°C'da elde edilen %16 kül katkılı harçlarda zamanla düşme, diğer tüm gruplarda ise artma olmuştur.

Hacimce su emme bakımından her iki seride de %16 kül katkılı harçlara 180. güne kadar sülfatların etkisinin pek belirgin olmadığı görülmüştür.

### 5.3.6. Kılcal su emme deneyi sonuçları,

Su içinde bekletilen kül katkılı ve külsüz harç gruplarının tümünde zamanla başlangıç değerine göre kılcal su emme değerleri küçülmüştür.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen külsüz harç grubunda hacimce su emme değeri başlangıca göre zamanla küçülmüştür. 570°C'da ve 670°C'da elde edilen kül katkılı harçların bazı gruplarında başlangıca göre zamanla düşme, bazı gruplarında ise artma olmuştur. 570°C'da ve 670°C'da elde edilen %16 kül katkılı harçların kılcal su emme bakımından benzer olup sülfat etkisi belirgin değildir.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen külsüz harç grubunda hacimce su emme değeri başlangıca göre zamanla küçülmüştür. 570°C'da ve 670°C'da elde edilen kül katkılı harçların bazı gruplarında başlangıca göre zamanla düşme, bazı gruplarında ise artma olmuştur. 570°C'da ve 670°C'da elde edilen %16 ve %24 kül katkılı harçların kılcal su emme bakımından benzer olup sülfat etkisi belirgin değildir.



Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkılı ve kül katkısız harçların tüm gruplarında başlangıca göre, zamanla kılcal su emme değeri küçülmüştür. Külsüz ve küllü harçların kılcal su emme değerlerinde zamanla ve devamlı bir düşme görülmüştür.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen kül katkılı ve kül katkısız harçların tüm gruplarında başlangıca göre, zamanla kılcal su emme değeri küçülmüştür. Bu değişim şahit ve küllü harçlarda benzerdir.

$SO_4$  konsantrasyonu 10000mg/L ve 40000 mg/L olan magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen şahit ve küllü harçlar 180. günde benzer davranışta bulunmuşlardır.

570°C'da ve 670°C'da elde edilen %16 kül katkılı harçlar, su içinde ve tüm konsantrasyonlarda hacimce su emme ve kılcal su emme bakımından benzerdir ve sülfatlardan etkilenmediği görülmüştür.

### 5.3.7.Boy değişimi deneyi sonuçları,

Su içinde bekletilen Kül katkılı ve katkısız harç gruplarında boy değişimi, başlangıca göre zamanla artmıştır. 670°C'da elde edilen %24 kül katkılı harç grubunun şahit harca göre 180. günde boy artışı daha az olmuştur. Küllü harçlarda boy değişimi değerlerinde belirsizlik görülmüştür. Küllü harç gruplarının her ortamda farklı davranış göstermiş olması nedeni ile, yakma sıcaklığı ve kül oranı bakımından tam bir değerlendirme yapılamamıştır.

Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen Kül katkılı ve katkısız harç gruplarında boy değişimi, başlangıca göre zamanla artmıştır. Küllü harçlardan 670°C'da elde edilen %16 ve %24 kül katkılı harç grubu dışındaki küllü harçların şahit harca göre boyları artmıştır.

Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen Kül katkılı ve katkısız harç gruplarında boy değişimi, başlangıca göre zamanla artmıştır. Küllü harçlardan 670°C'da elde edilen %16 ve %24 kül katkılı harç grubu dışındaki küllü harçların şahit harca göre boyları artmıştır.

Sodyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen harçların davranışı bu ortamda da görülmüştür. Ancak boy artışları birazdaha fazladır.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 10000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen Kül katkılı ve katkısız harç gruplarında boy değişimi, başlangıca göre zamanla artmıştır.

Bu çözelti ortamında şahit ve kül katkılı harçlarda, genel olarak su ve sodyum sülfatlı ortama göre boy artışlarında düşmeler olmuştur.

Magnezyum sülfatın,  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan çözeltisinde bekletilen Kül katkılı ve katkısız harç gruplarında boy değişimi, başlangıca göre zamanla artmıştır.

Bu ortamdaki boy artışları  $SO_4^-$  konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum sülfatlı ortamda bekletilen harçlardan daha küçüktür. artışlar şeklidir. Örneğin 5BN4 grubunun 180. gündeki boyu başlangıca göre 1.69 iken, 5BM4 de ise bu değer 0.82 dir.

Bu durumu suda çözünmeyen hidrate ürünlerden  $(Mg(OH)_2$  in varlığı ile açıklanabilir. Ayrıca Külün kimyasal kompozisyonuna bakıldığında her iki kül de yüksek alümina ve aktif silis içermektedir, çimentonun hidrate ürünü olan serbest kireçle sülfatın jips, daha sonrada sülfalüminat şeklinde oluşumlar ile alkali silis jeli oluşumu akla gelmektedir.

#### 5.4. Buğday sapı külünün üretim olanaklarının irdelenmesi ve öneriler

Bu çalışmanın sonunda, buğday sapı küllerinin yüksek oranda aktif silis içerdiği görülmüştür. Özellikle  $670^{\circ}C$ 'da yakılarak elde edilen %16 ve %24 küllü harçların sodyum sülfat ve magnezyum sülfatlı ortamdan bu çalışmanın deney süresinde etkilenmediği ve külün, harcın incelenen mekanik özellikleri bakımından servis ömrünü uzattığı görülmüştür.

Kül üretimi için bu çalışmada olduğu gibi buğday sapsarı önce inceltilmeli, bir ön yakma işlemi ile hacmi küçültülmeli daha sonra sıcaklık kontrollü fırında yakılarak kül elde edilmeli. Kül öğütülerek inceltildikten sonra kullanılmalıdır. Kül üretiminde kapasitenin artırılması için sürekli bir sistemle çalışacak daha büyük kapasiteli akışkan yataklı fırın geliştirilmelidir.



Bu çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda ileride aşağıdaki araştırmaların yapılması uygun olacaktır.

Buğday sapı külü ile üretilen harç ve/ veya betonlar sodyum sülfat ve magnezyum sülfat ın dışında farklı agressif çözeltilerde bekletilerek buğday sapı külünün bu çözeltilerin etkilerine karşı davranışı da incelenmelidir. Dayanıklılık deneylerinde eskitme süresi altı aydan daha uzun olmalıdır.

Buğday sapı külünün, harçların kılcallığını ve porozitesini ne şekilde etkilediği, harcın boşluk yapısı, boşluk boyutu ve dağılımı daha detaylı araştırılarak belirlenmelidir.

Küllü harçların korozif ortamda dayanıklılığı nasıl etkilediği mikro yapı analiz yöntemleri ile aydınlatılmalıdır. Mikroyapıda oluşan değişiklikler, korozif ortamda kür başlangıcından itibaren X-Işını Difraktometresi ve Elektron Mikroskobu ile sık zaman aralıklarında araştırılmalı, mikro yapı daha detaylı incelenmelidir.

Korozif ortamda saklanan buğday sapı külü beton veya harçların bulunduğu çözeltideki iyonların cinsinin ve miktarının zamanla değişimi, kimyasal analizle belirlenmeli; bu çalışmalar, ayrıca mekanik deneylerle birlikte değerlendirilmelidir.

Doğal ortamı temsilen daha düşük konsantrasyonlu çözeltilerle daha uzun süreli deneyler yapılmalıdır.



**KAYNAKLAR**

- 1 - Actin, P.C., 1983. "Condensed Silica Fume" Unio.de sher brooke Canada.
- 2 - Akman, S., 1985. "Beton Teknolojisinde Silica Fume Kullanılması" Malzeme Seminerleri, 175-200 .
- 3 - Akman, S., 1987. "Yapı Malzemeleri I" İ.T.Ü. İnşaat Fak. Ders Notları.
- 4 - Akman, S.,Yıldırım, M., 1987. "Los of durability of concrete made from portland cement blended with natural" Pozzolans dueto ammonium nitrate" Durability of Building Materials, 4, pp 357-69.
- 5 - Akman, S., 1992. "Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi" İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, İstanbul
- 6 - Akman, M.S., Mazlum, F., and Esenli, F., 1992."A Comparative Study of Natural Pozzolans Used in Blended Cement Production" SP 132-27. Fourth Canmet/ACI Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete.
- 7 - Alkhalaf, M.M., Yousiff, H.A., 1984. "Use of rise husk ash in concrete V 6, No:4, pp.241-48.
- 8 - ASTM E 632-81 1982. Standart practice for developing accelerated tests to aid prediction of the service life of building components and materials American Society for Testing Materials, Philedelphie, PA.
- 9 - Atchison, E. J., 1973. : Present Status and Future Potetial for Utilization of Nonwood Plant fibers -A Worlwide Review, TAPPI, Nonwood Plant Fiber Pulping Progress Report, No:4,p.68-89.
- 10 - Barth, P., Huppertz, E.A., 1974. "Structure and crystallization of silica in rice husk" Rice by-products Conf. Valencia, Spain, pp. 89-98.
- 11 - Baytop, A.,1977. "Farmasotik Botanik " İ.Ü. Yayınları No:2311,Eczacılık Fakültesi, Yayın No:25,İstanbul
- 12 - Birchall, J. D., 1981. "A discussion of the paper 'Cement tubules-another look' Cem. Concr. Res.11 (2) 299-300.
- 13 - Bidin, R., Ngee, C.C., Yeoh, A.K.,Ping, C.B., 1984. "Rice Husk Cement" Standarts Industrial Research Institute of Malaysia (=Sirim) Malaysia.



- 14 - Blanks, R. F., Kennedy, H. L., 1955. "The technology of cement and concrete" Vol. 1. USA.
- 15 - Bonen,D., 1993. "A Microstructural study of the effect produced by magnesium sulfate on plain and silica fume -bearing portland cement mortars" Cement and Concrete Research. Vol. 23,pp.541-553, Printed in the USA.
- 16 - Browning, B.L., 1967. "Methods of Wood Chemistry" Vol:1, Interscience Publishers, New York, 384 pp.
- 17 - Browning, B.L., 1967. "Methods of Wood Chemistry" Vol:2, Interscience Publishers, New York, 882 pp.
- 18 - Carretta,C.J., 1989. "Dayanıklılık" Pozzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri, Mayıs, Ankara.
- 19 - Casey, J. P., 1966. Pulp and Paper, Vol.1, Interscience Publishers Inc., New York, 580 pp.
- 20 - Cengiz, M., 1987. "Bazı Yıllık Bitkilerin Rayon Selülozu Üretiminde Değerlendirme İmkanları" İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı.
- 21 - Clark, T.F., 1969."Annual Crop Fibers and The Bamboos in Pulp and Paper Manufacture" Vol:2,Mc.Graw-Hill Book Compony,New York, 542 pp.
- 22 - Cohen, M.D., Bentur,A., 1988. "Durability of portland cement silica fume pastes in magnezium sülfate and sodium sülfate solutions" ACI Journal, V: 5, N.3, May-June, pp 148-157.
- 23 - Cook, J., 1980. "Alternative cements based on agricultural residues", First Int. Cong. On Tech. for Develop, Camberra, pp. 222-225.
- 24 - Cook, J., 1980. "Using rice husk for for making cement like materials", Approproite Technology Vol.6 No:4, pp. 9-11.
- 25 - Cook, J. and Suwanvitaya, P., 1983. "Properties and behaviour of lime-RHA" CIB-RILEM, Nairobi, 831-45.
- 26 - Cook, J., 1984. "Rice- husk ash cement" Their Development and Application, Australia.



- 27 - Davis, P.H., 1965. "Flora of Turkey and The East Aegan Islands" Edinburg at The Universty press. vol: 1, Edinburg.
- 28 - Davis, P.H., 1982. "Flora of Turkey and The East Aegan Islands" Edinburg at The Universty press. vol: 9, Edinburg.
- 29 - Darr, G. M., Punzet, M., and Ludwig, U., 1977. "On the chemical and thermal stability of ettringite", CEMBUREAU Seminar on Reaction of Aluminates during the Setting of Cements, Eindhoven , Netherlands.
- 30 - Dass, A., 1984. "Puzzolanic behaviour of rice husk ash", Building Research and Practice V 12, N 5, September-October, pp. 307-311.
- 31 - Dhir, R. K., and Byars, E. A., 1993. "PFA Concrete; Chloride Diffusion Nates", Magazine of Concrete Research, 45, No. 162, Mar., 1-9.
- 32 - Diamond, S., 1977. "The status of calsium in poresolutions of mature hardened portland cement paste", Il Cemento, 74, 149-155.
- 33 - D.İ.E. 1991. Seçilmiş Tahıl Ürünleri; Ekiliş ve Üretimi.
- 34 - Doree, C., 1950. "The Methods of Cellulose Chemistry" Chapman and Hall L.T.D., London, 543 pp.
- 35 - Dutruel, F. and Guyader, R., 1975. "Etude de la corrosiondes canalisations en beton", Monographie no:7 du CERIB (France).
- 36 - Dwight, L. M., 1975. "Annual Crops- Arenewable Source for Cellulose Applied Polymer Symposium, No. 28.p.21-28
- 37 - Erguvanlı, K., 1983. "Mühendislere Jeoloji" İ.T.Ü. , Maden Fakültesi, İstanbul.
- 38 - Eroğlu, H., 1980. "O<sub>2</sub> -NaOH Yöntemiyle Buğday (Triticum aestivum L.)saplarından kağıt hamuru elde etme olanaklarının araştırılması", Doçentlik tezi,K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon,174 pp.
- 39 - FAO, 1953. Raw Materials for More Paper, Rome, 94 pp.
- 40 - Genç, I., 1977. "Tahıllarda Tane Veriminin Fizyolojik ve Morfolojik Esasları" Çukurova Üniversitesi, Ziraat Yıllığı, Yıl: 8, Sayı: 1.
- 41 - Gjørv, O. E., and Loland, K. E., 1982. "Condensed Silica Fume in Cocrete", Proseedings, Nordic Research Seminar on Condensed Silica Fume in Concrete, 293pp.





- 42 - Güner, A., Akman, S., 1984. "The Influence of Addition of Blast Furnace Slag on the Corrosion Resistance of Concrete" Third International Conference on the Durability of Building Materials and Component. Technical Research Centre of Finland Espoo V3, pp 14-25.
- 43 - Hakdiyen, İ., 1972. "Genel ve Teknik Kimya" Birsen Kitapevi, İstanbul.
- 44 - Helmut, R., 1975. "Properties of hardened pastes", Cem. Res. Progr., 97-130.
- 45 - Helmut, R., 1977. "Durability" Cem. Res. Progr., 195-230.
- 46 - Hogan, F.J. and Meusel, J.W., 1981. "Evaluation of durability and strength development of a ground granulated blast-furnace slag", Cem. Concr. Aggr. 3 40-52.
- 47 - Horvath, V. and Petrovic, J., 1981. "A contribution on the determination of anionic structures of silicates", Silikaty 25(4) 347-357.
- 48 - Ibrahim, M., Helmy, M., 1981. "Crystallization growth of RHA silica", Termochimica Acta. 45, pp 79-85
- 49 - Ikpong, A. A., 1993. "The Relationship between the strength and non-destructive parameters of rice husk ash concrete" Cement and Concrete Research. Vol. 23, pp. 387-398, USA.
- 50 - James, J., Rao, S., 1986. "Silica from rice husk through thermal decomposition" Termochimica Acta, 97, pp.329-336
- 51 - Jennings, H.M., 1988. "Design of high strength cement based materials" Part 2, Microstructure Materials science and technology, V4, April, pp 285-90.
- 52 - John, R. Schultz, Ph. D., Arthur, B. Cleaves, Ph. D. 1955. "Geology in Engineering" New York. John Wiley & Sons, Inc. London. Sydney
- 53 - KOCATAŞKIN, F., 1959. "Beton Teknolojisi" İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı:400 p.58-60.
- 54 - Lafuma, H., 1929. "Theorie de L' expansion des Liants Hydrealiques" Revue des Materiaux de Construction et de Trauaux Publics, N 243, December, pp 441-444.
- 55 - Lea, F.M., 1970. "The Chemistry of Cement and Concrete", 3rd. ed., p.442, London.

- 56 - Levit, E.G. and Dlyachenko, S.S., 1980, "Diffusion, permeability and corrosion resistance of portland slag cement in corrosive media", 12V.sev.kauk.Nauchn.Tsentra Vyss shh(4) 90-93.
- 57 - Malhotra, V.M., 1987. "Supplementary cementing materials for concrete" Canmet, Canada.
- 58 - Massazza, F., 1989. "Puzzolanlar" Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, Mayıs.
- 59 - Mazlum, F., 1989. "Pirinç Kabuğu Külünün Pozzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi" Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık.
- 60 - Mazlum, F. and Uyan, M., 1992. "Strength of mortar made with cement containing rice husk ash and cured in sodium sulphate solution" Proceedings Fourth International Conference İstanbul, Turkey, May, pp. 513-519.
- 61 - Mehta, P.K., 1981. "Studies on blended portland cements containing santorin earth", Cem.Concr.Res. 11 507-518.
- 62 - Mehta, P.K., Pitt, N., 1976. "Energy and industrial materials from crop residues", Resource Recovery and Conserv.2, pp. 23-28.
- 63 - Mehta, P.K., Pirtz, D., 1978. "Use of rice hull ash to reduce temperature in high-strength mass concrete" ACI Journal, February, pp 60-63.
- 64 - Mehta, P.K., 1979. "The chemistry and technology of cements rice husk ash made from rice husk ash" Proc.Unido/Escap/RCTT Workshop on Rice husk ash cement, Peshawar, Pakistan, pp 113-122.
- 65 - Mehta, P.K., 1983. "Pozzolanik and Cementitious by Products as Mineral Admixtures for Concrete" Fly Ash, Silica Fume, Slag and other Mineral by-Products in Concrete Vol 1 ACI SP 79, pp 1-46
- 66 - Mehta, P.K., 1983. "Technology Alternatives for the Use of Rice Husk" Appropriate Technology V 9, N 4, pp 7-9.
- 67 - Mehta, P.K., 1986. "Concrete Structure, Properties and Materials" Prentice-Hall inc.
- 68 - Mehta, K., 1986. "Concrete, Structure, Properties and Materials" Prentice-Hall Ed. New Jersey.



- 69 - Meyer, A., 1974. "Anleitung für die Herstellung von Dauerkraften Beton", Beton 24(7), 261-264.
- 70 - Min- Hong. Zhang and Odd. E. Gjorv 1991. " Effect of silica fume on cement hydration in low porosity cement pastes" Cement and Concrete Research. Vol. 21. pp.800-808. USA.
- 71 - Montgomery, D.G., Hughes,D.C. and Williams, R.I.T., 1981."Fly ash in concrete : a microstructural study", Cem.Concr.Res. 11 591-603.
- 72 - Moskvin, V., 1983. "Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection" MIR Publishers, USSR.
- 73 - Natalini, M.B., Perin, M.S.F., Gauto, D., Mayer, R.A., Gomez, G.M., 1986. "Portland cement cellular compozite material with organic and inorganic particles", Use of vegetable plants and fibres as building materials joint symposium, Rilem/CIB/NCCL, Baghdad, October, pp 79-84.
- 74 - Neville, A.M., 1977. "Properties of Concrete" Pitman Publishing.
- 75 - Neville, A.M., 1987. "Properties of Concrete" Pitman Publishink, 77-81pp.
- 76 - Neville, A.M., Brooks, J., 1987. "Cocrete Teknoloji" Longman.
- 77 - Nimityongskul, P., Loo, Y.C., Yoko, T. 1984. "Shear strengths of RHA concrete beams ", Low-Cost and energy saving construction materials Rio de Janerio, Brasil, pp. 95-105.
- 78 - Ölmez, H., 1988. "Endüstriyel Tarımsal Atıkların Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi" Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları 47, Fen-Edebiyat Fakültesi, Samsun.
- 79 - Özturan, T., 1984. "Yüksek Mukavemetli Beton Teknolojisi" Malzeme Seminerleri, 171-182.
- 80 - Postacioğlu, B., 1986. "Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton" Cilt 1. Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- 81 - Porrero, J., 1969. "Estabilidad química del concreto (chemical stability of concrete)", Bull, Techn. INME,Central Univ. of Venezuela (Caracas), no:28,5-36.

- 82 - Papayianni, J., 1992. "Performanse of a high- calcium fly ash in roller-compacted concrete", SP 132-21, Fourth Canmet/ACI Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete.
- 83 - Powers, T.C., 1979."The specific surface area of hydrated cement obtained from permeability data", Mater.Constr.(Paris) 12(69) 159-168.
- 84 - READING, T. J., 1975. "Combating sulfate attac in Corps of Eng. Concrete Construction" ACI, sp. 47, 343-366
- 85 - Regourd, M., Hornain, H. and Mortureux, B., 1978. "Microstructure of concrete in agressive environments", 1st Int. Conf. On Durability of Building Materialsand Components, Nat. Res. Council Canada, Ottawa.
- 86 - Richartz, W. and Locher, F.W., 1977. "Cement Research in Germany", Cem. Res. Progr., 303-319.
- 87 - Rydholm, S.A., 1965. "Pulping Processen" Interscience publishers, New York, 1269pp.
- 88 - Saraylı, M.A. 1978. "Yapı Malzemeleri Bilimi"Kutulmuş Matbaası-İstanbul.
- 89 - Shah, R. A., Khan, A. H., Chaudry, M. A., 1979. "Utilization of RHA for the production of cement lice materials in rural areas", Proc. Unido/Escap/ RCTT Workshop on RHA Cements, Pakistan, pp 150-157
- 90 - Smith, R.G., Kamwanja, G.A., 1986. "The use of rice husks for making a cementitious material" Use of vegetable plants and fibres as building materials Joint Symposium Rilem/CIB/NCCL Baghdad, October, pp 85-94.
- 91 - Sooriyakumarin, R., Ismail, M.G., M.U., 1979. "Rice hull ash cement" Proc. Unido/Escop/RCTT Workshop on RHA Cements, Pakistan, pp 57-60
- 92 - Sugita, S., Shoya, M. and Tokuda, H., 1992. "Evaluation of pozzolanic activity of rice husk ash" Proceedings Fourth International Conference İstanbul, Turkey, May, pp. 495-512.
- 93 - TAPPI Test Methods 1989. Volume one- two Technology Park/ Atlanta
- 94 - Odun ve selülozda kül miktarının tayini T 211 om - 85 (TAPPI Test Methods 1989, Volume one- two)
- 95 - Odun ve selülozda Ekstraksiyon T 204 om - 88 (TAPPI Test Methods 1989, Volume one- two)
- 96 - Odun ve selülozun suda çözünürlüğü T 207 om - 88 (TAPPI Test Methods 1989, Volume one- two)





- 97 - Odun ve Selülozda asitte çözünebilir lignin (TAPPI Test Methods 1989, Volume One)
- 98 - Terem, H.N., 1973. "Anorganik Sınai Kimya" İ.Ü. Yayın no:1817, Kimya Fak. No:12, İstanbul.
- 99 - TS 19, Portland çimentoları, 1979
- 100 - TS 24, Çimentonun fiziksel muayene metodları, 1978
- 101 - TS 25, Tras, 1975
- 102 - TS 26, Traslı çimento, 1983
- 103 - TS 639, Uçucu küller, 1975
- 104 - TS 687, Portland çimentoları kimyasal analiz metodları, 1985
- 105 - TS 819, RİLEM-CEMBUREAU standart kum, 1976
- 106 - TS 2848, Kargir duvar harçları, 1977
- 107 - Turan, Y., 1968. "Diferansiyel Termal Analiz, X- Işını ve Elektron Mikroskopu ile Kuzeybatı Anadoludaki Bazı Kil Minerallerinin Etüdü", Doktora Tezi, İÜ. Fen Fakültesi.
- 108 - Uyan, M., 1977. "Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı" Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fak.
- 109 - Üşenmez, Ş., 1985. "Mühendisler İçin Jeoloji" Gazi Üniversitesi, Ankara,
- 110 - Valenta, O., 1969. "General analysis of the methods of testing the durability of concrete", RILEM Symp. Durability of Concrete (Prague), Part 1.A 3-28.
- 111 - Valenta, O., 1968. "General observations on the durability of concrete structures", proc. V ISCC, (TOKYO), 193-228.
- 112 - Visvesvaraya, H.C., 1986. "Recyclink of agricultural wastes with special emphasis on rice husk ash" Use of vegetable plants and fibres as building materials joint Symposium Rilem /CIB/NCCL, Baghdat, October, pp 1-22.
- 113 - Wise, L.E., JOHN, E. C., 1952. "Wood Chemistry Volume 2." Reinhold Publishing Corporation, New York USA.
- 114 - Winkler, E. M., and Singler, Ph.C., 1972. "Crystallization pressure of saltz in stone and concrete", Geol. Soc. Amer., Bull. 83, 3509-3514.



**EKLER**

Şekil E.1 Buğday sapı yakmada kullanılan tel kafes'in fotoğrafı



Şekil E.2 Buğday sapını yakmada kullanılan bacalı kova



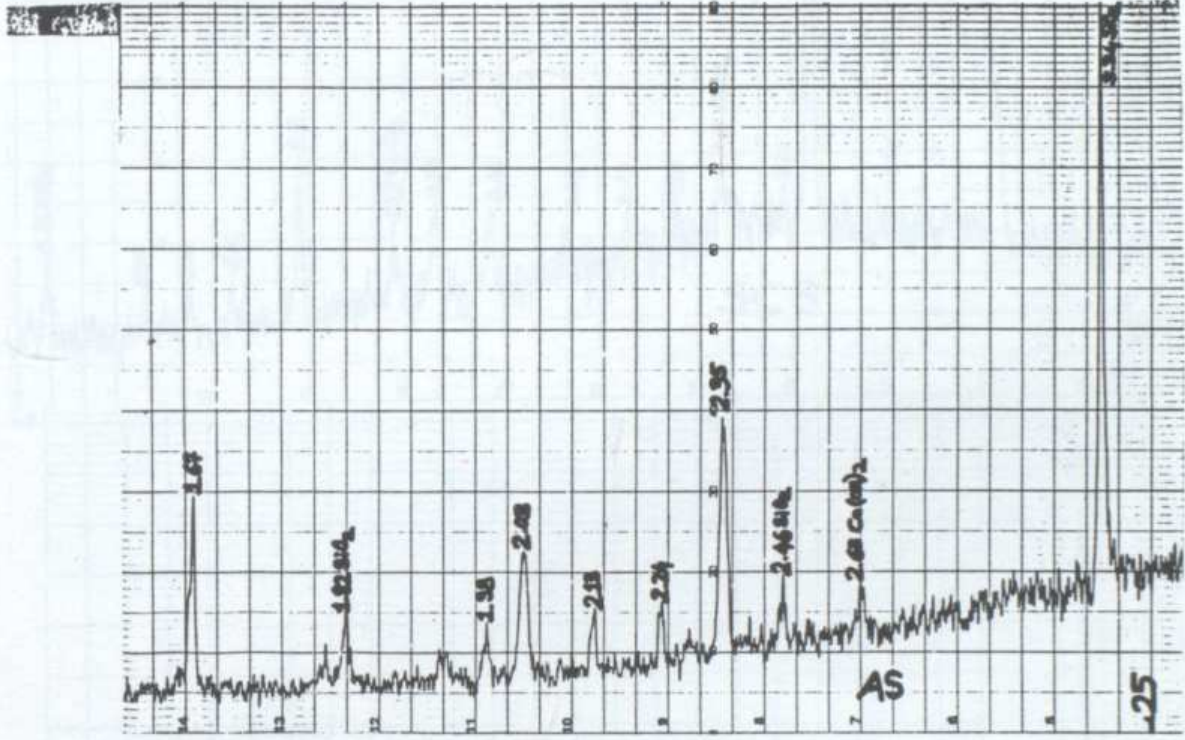




Şekil E.3 1200 °C'lık elektrikli kül fırını

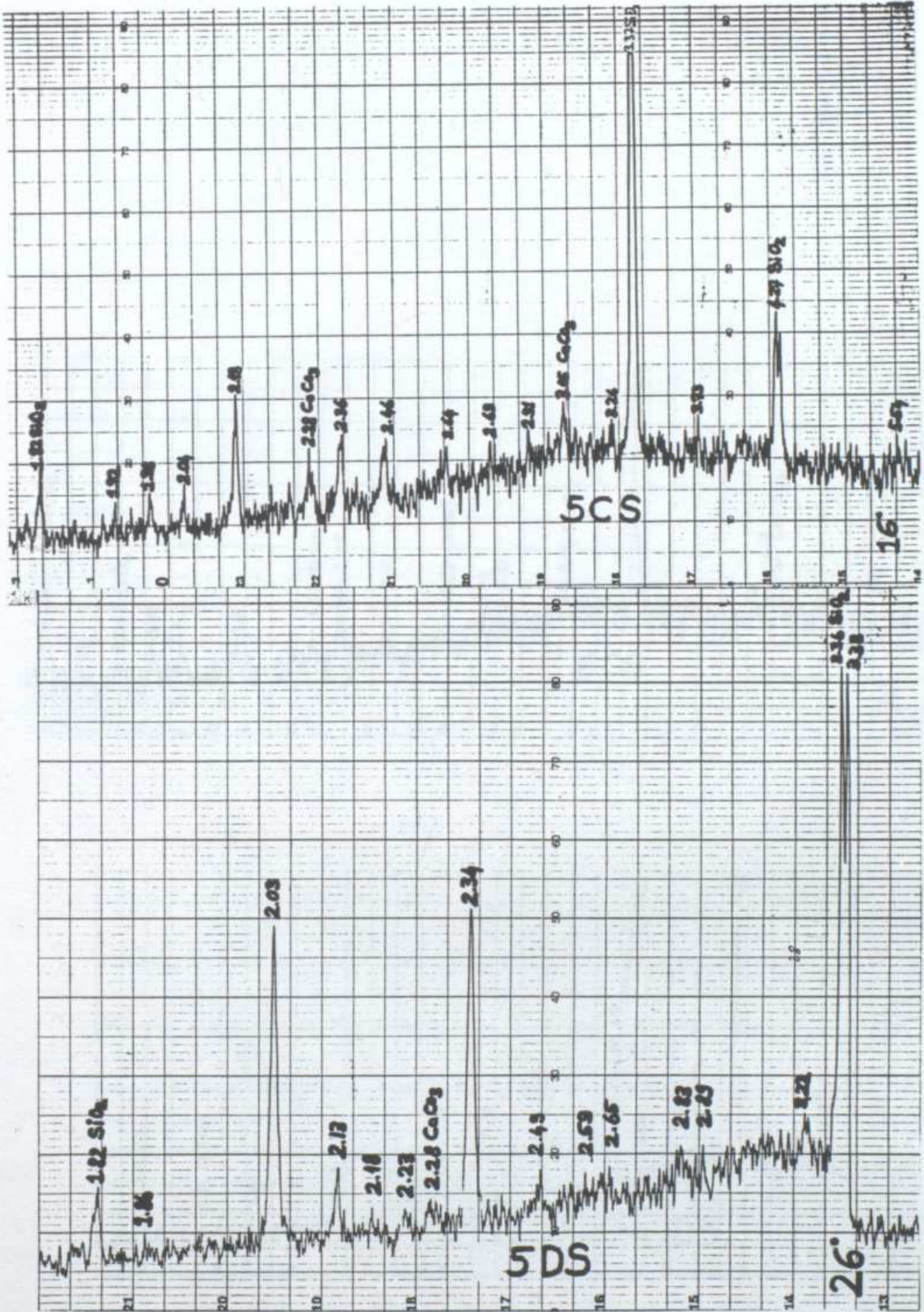


Şekil E.4 Plastik kür leğenleri

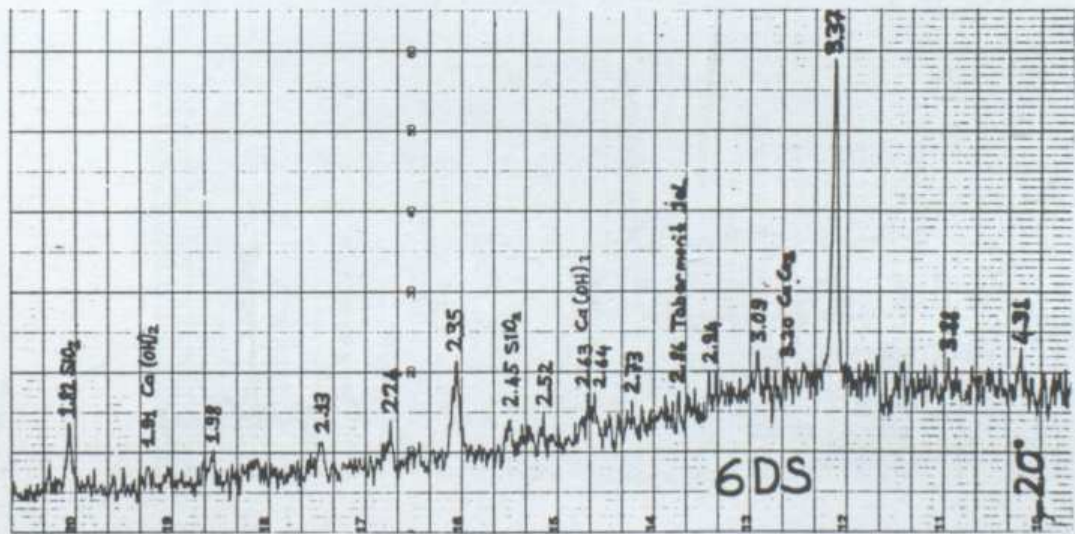
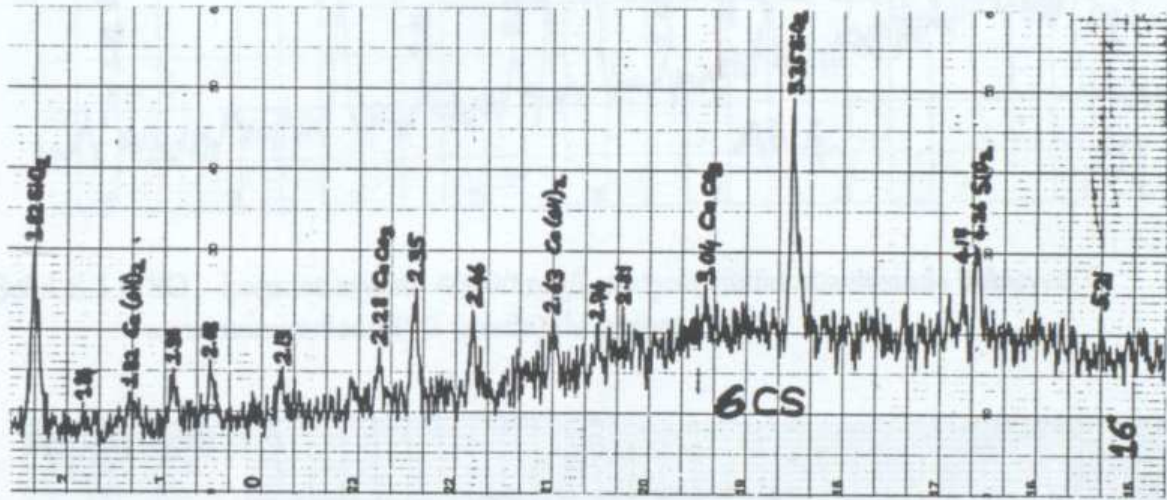


Şekil E.5.a Su içinde bekleyen A serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları



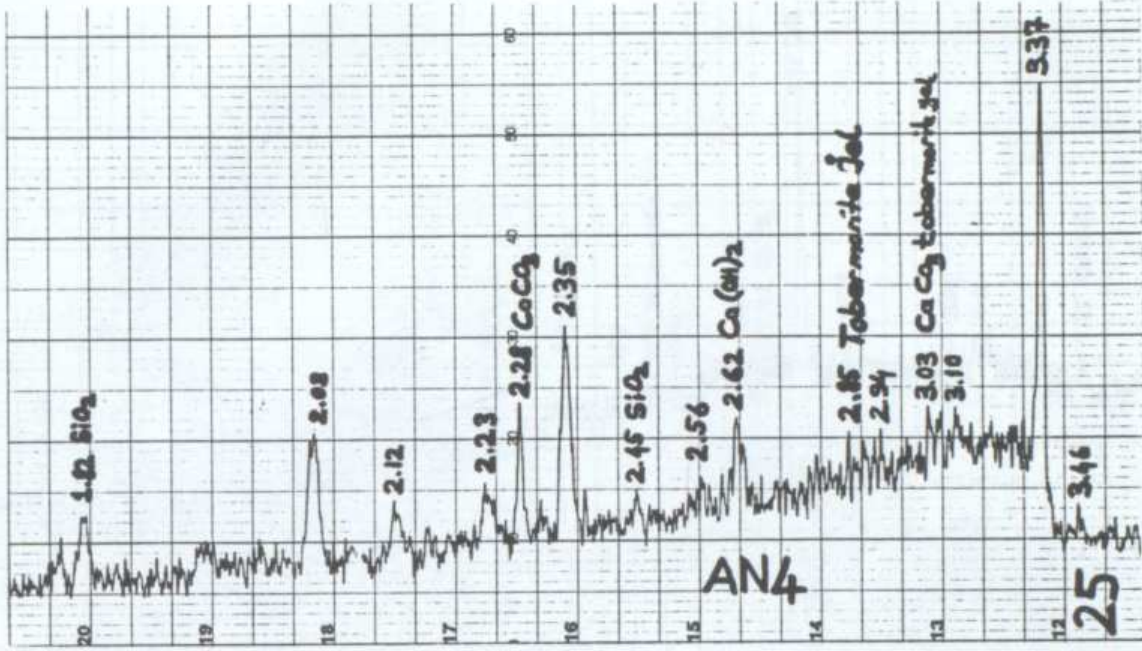


Şekil E.5.b Su içinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları

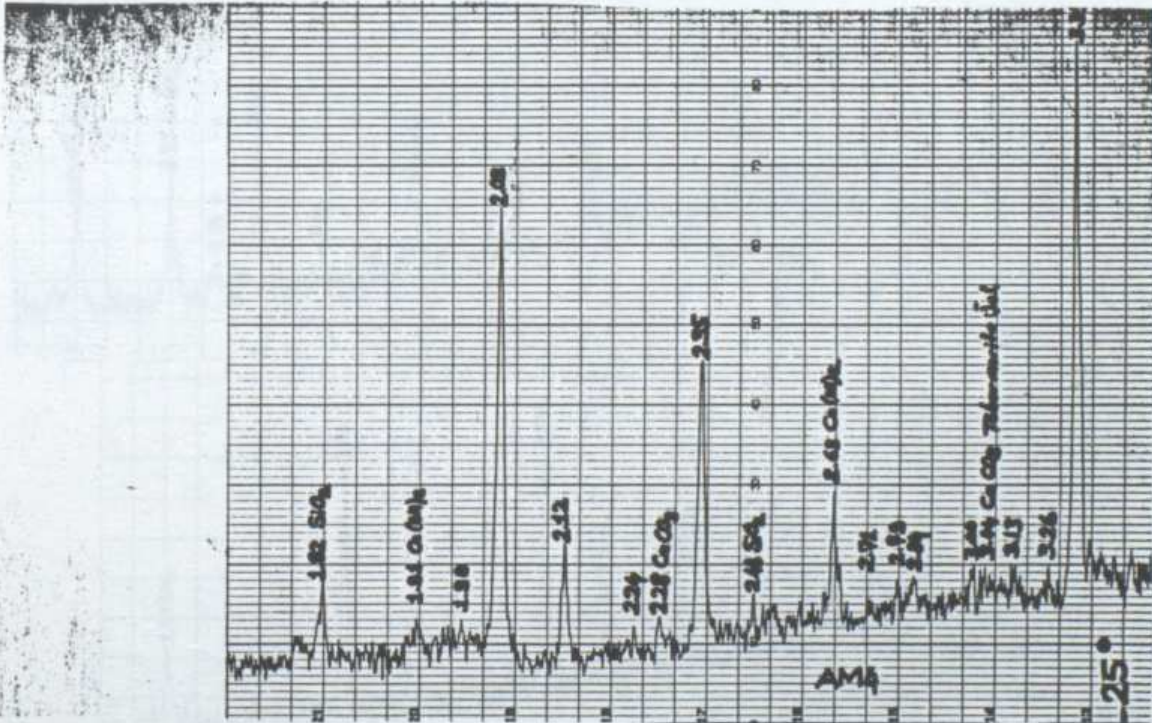


Şekil E.5.c Su içinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları

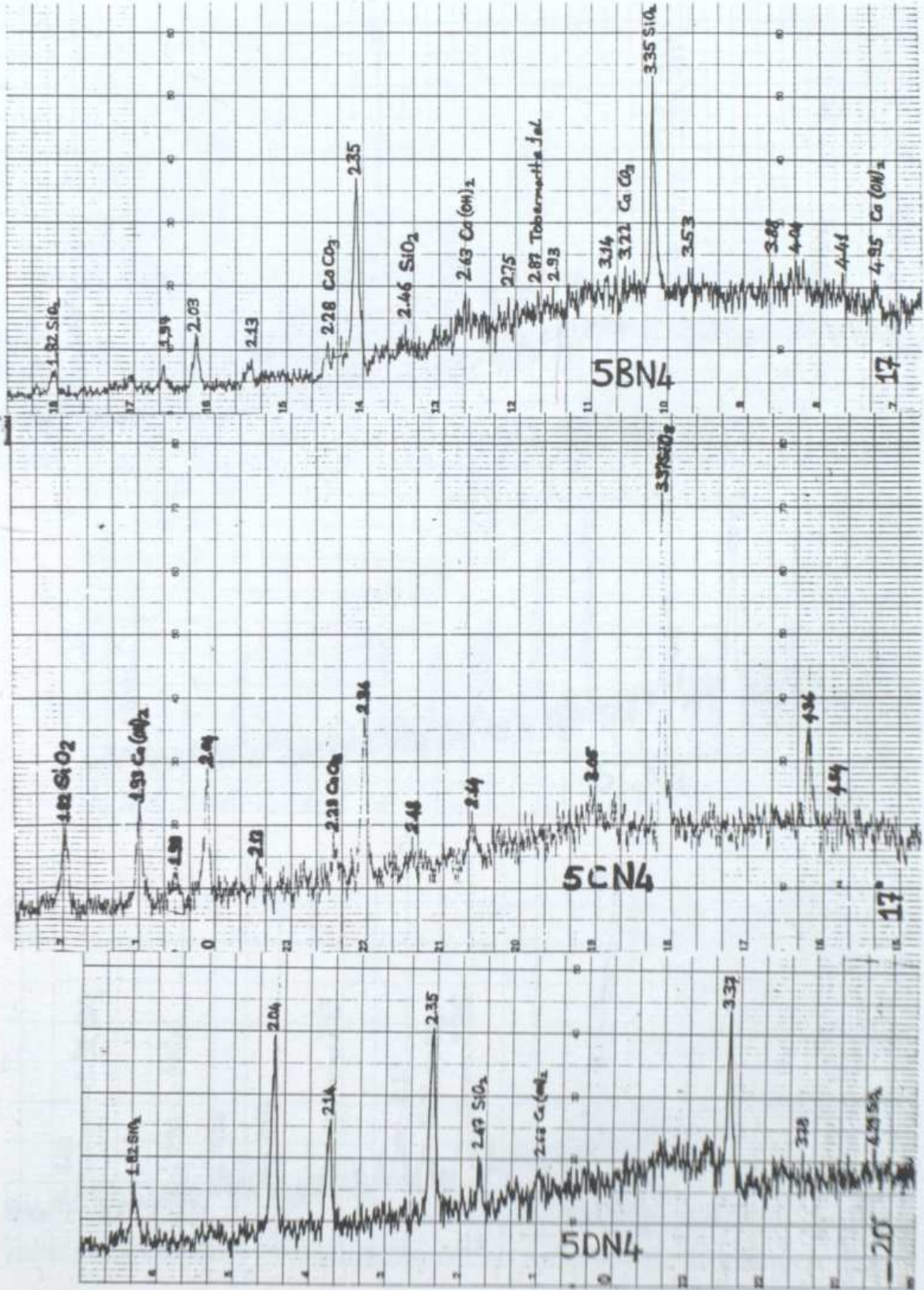




Şekil E.5.d SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 40000 mg/L sodyum sülfat çözeltisinde bekleyen A serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları

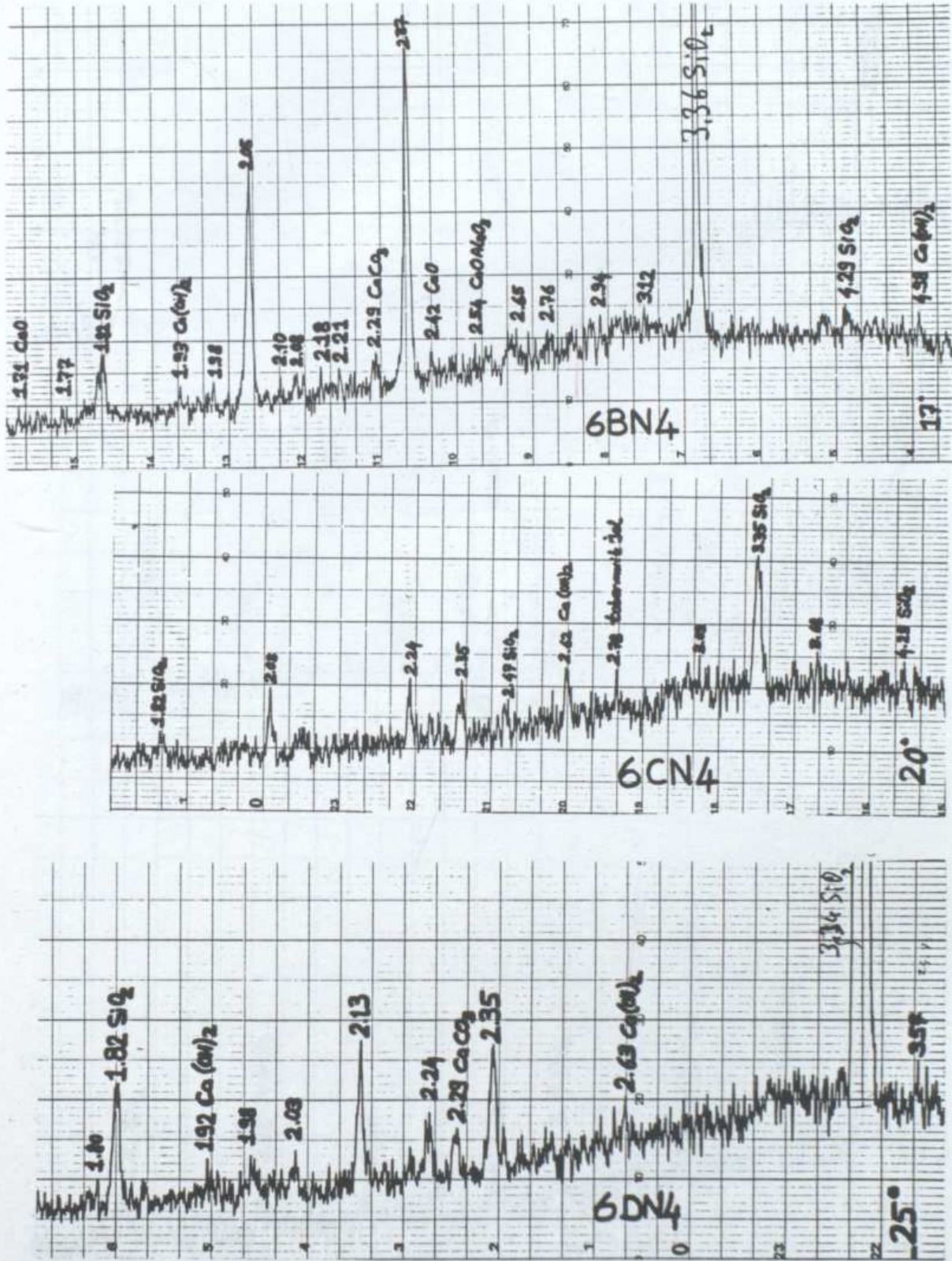


Şekil E.5.e SO<sub>4</sub> konsantrasyonu 40000 mg/L magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen A serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları

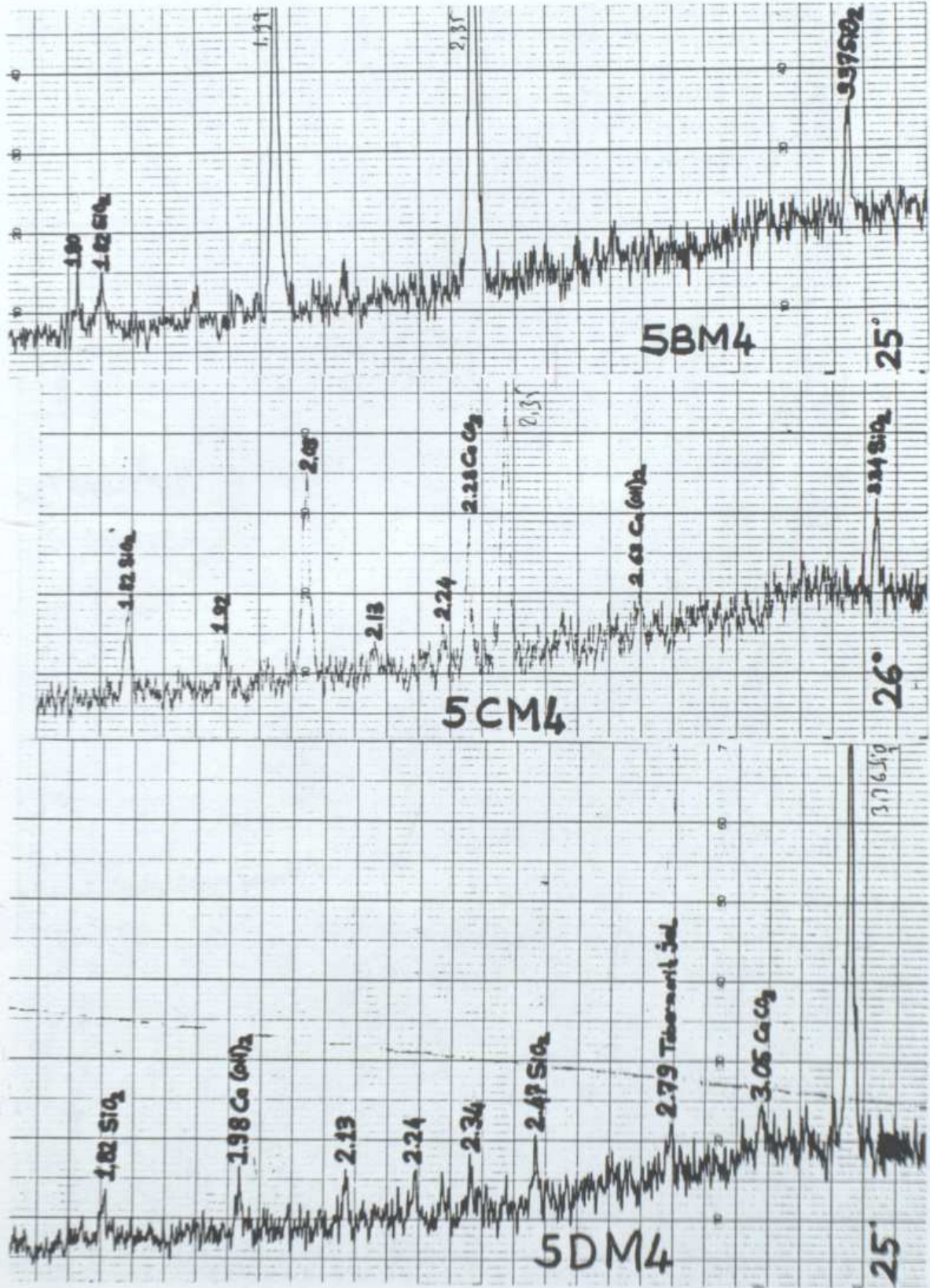


Şekil E.5.f Sodyum sülfatın,  $\text{SO}_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları





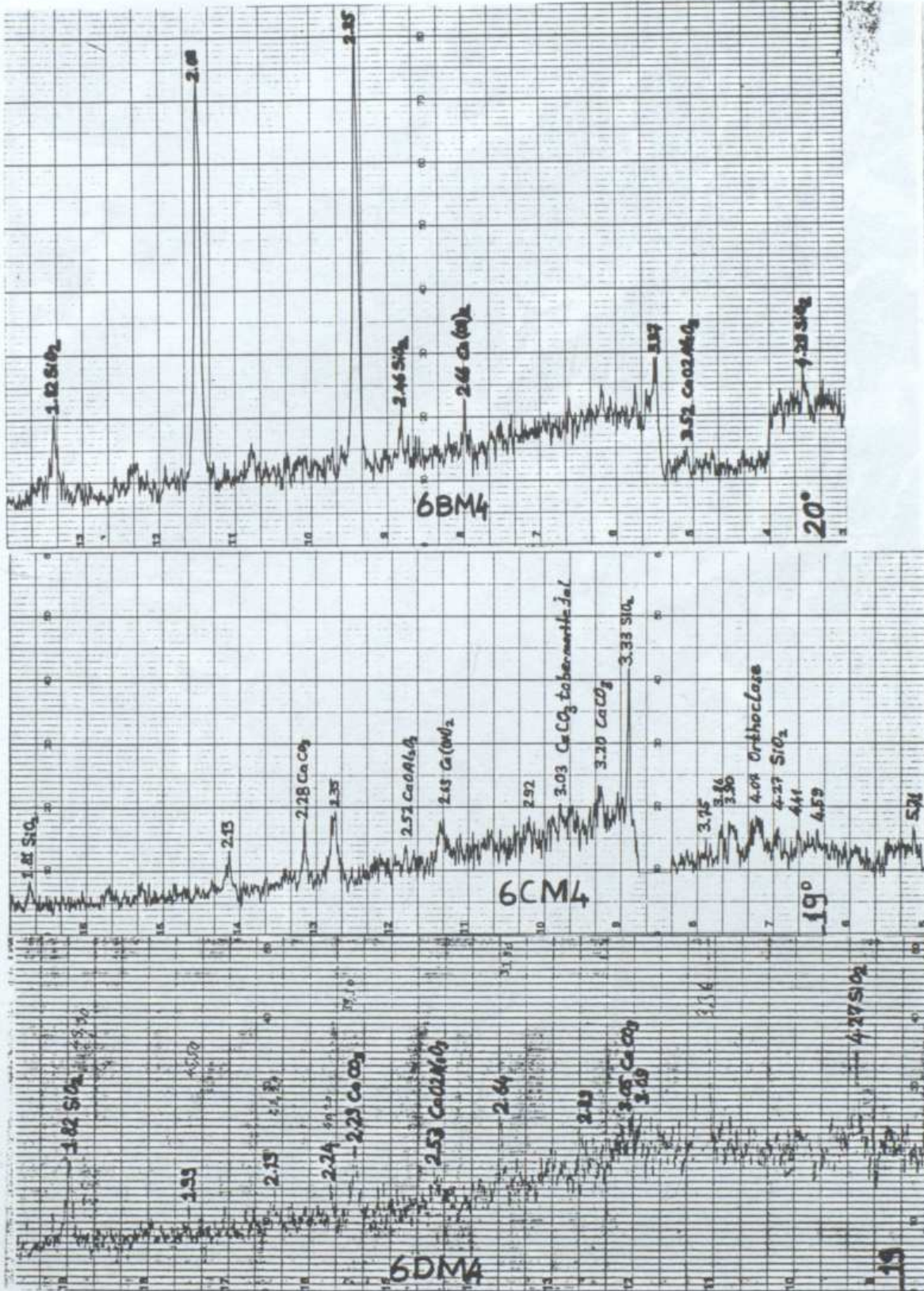
Şekil E.5.g Sodyum sülfatın  $\text{SO}_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları



Şekil E.5.h Magnezyum sülfatın  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları

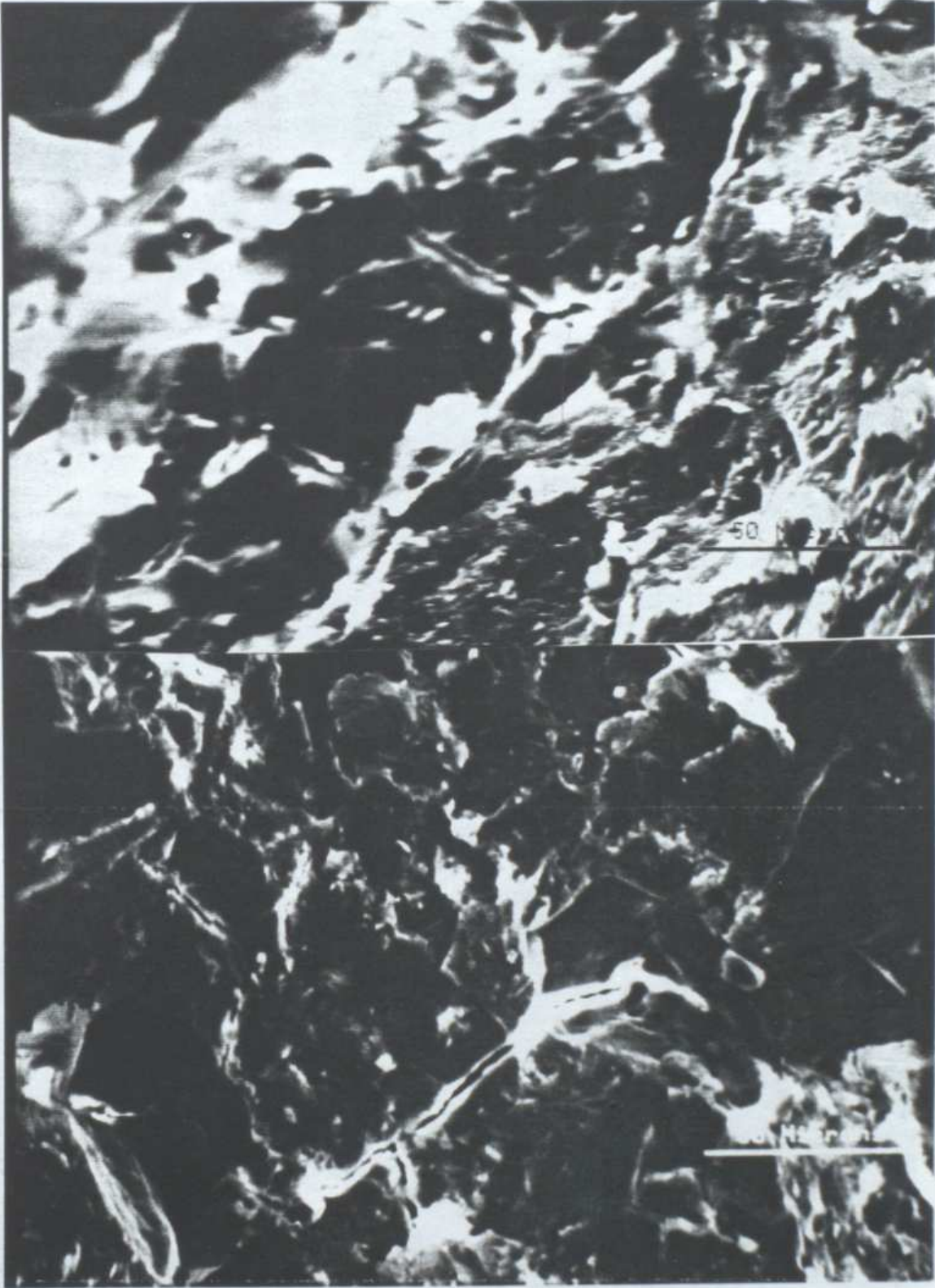






Şekil E.5.i Magnezyum sülfatın  $\text{SO}_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90. günde) difraktogramları

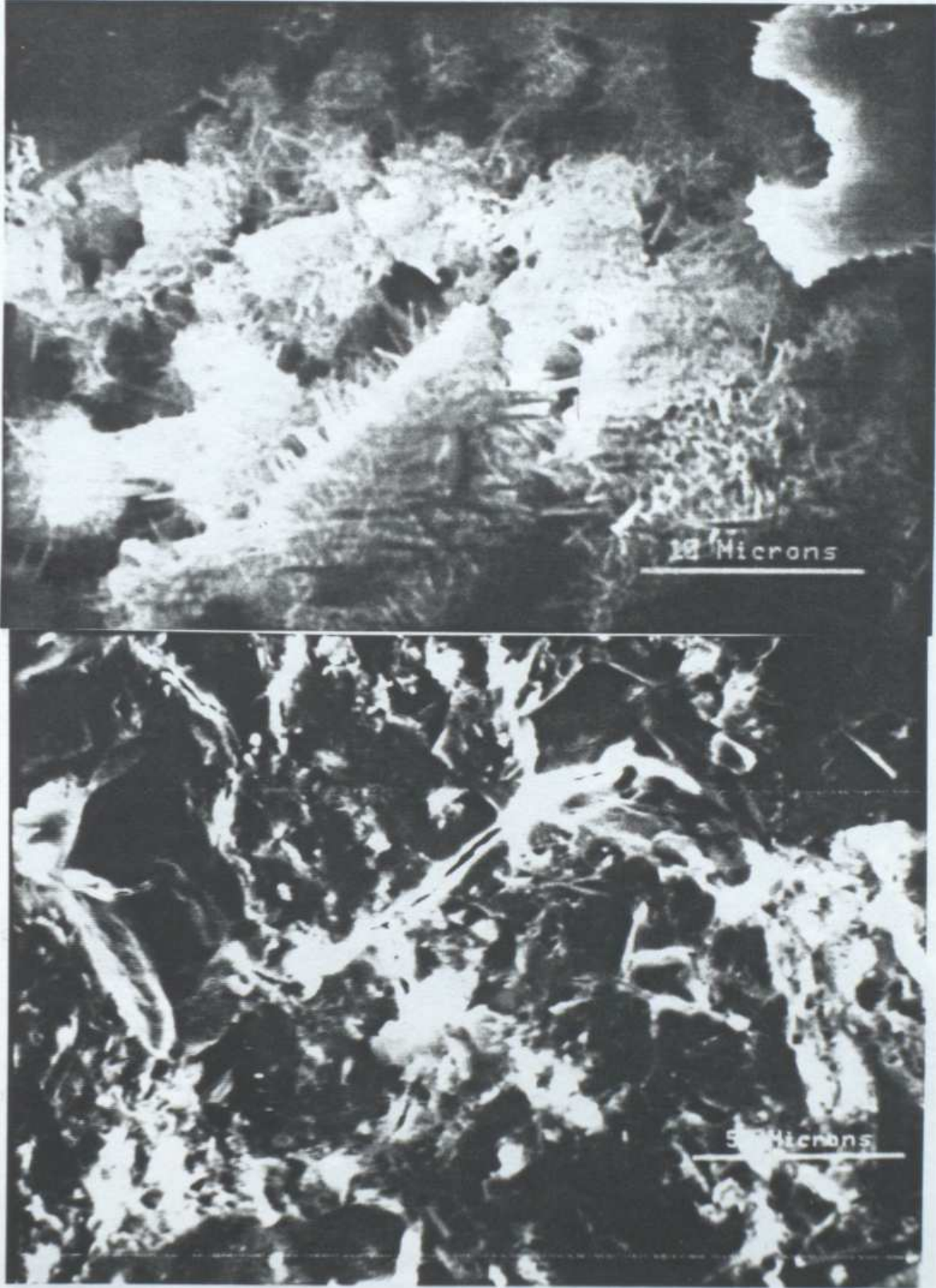




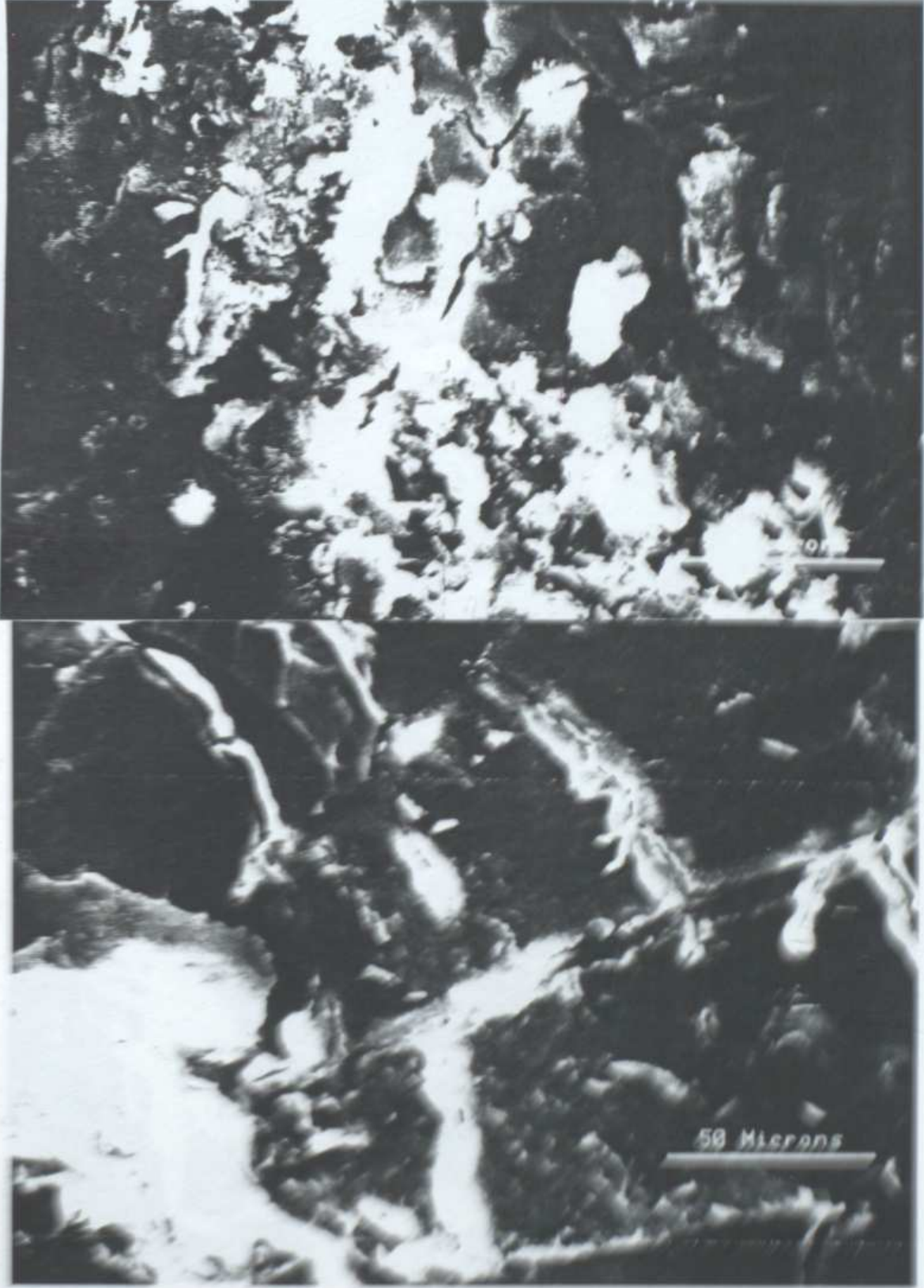
Şekil E.6.a. Su içinde bekleyen A serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı <sup>(\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Üstteki fotoğraf 90. günü, alttaki fotoğraf 180. günü göstermektedir.



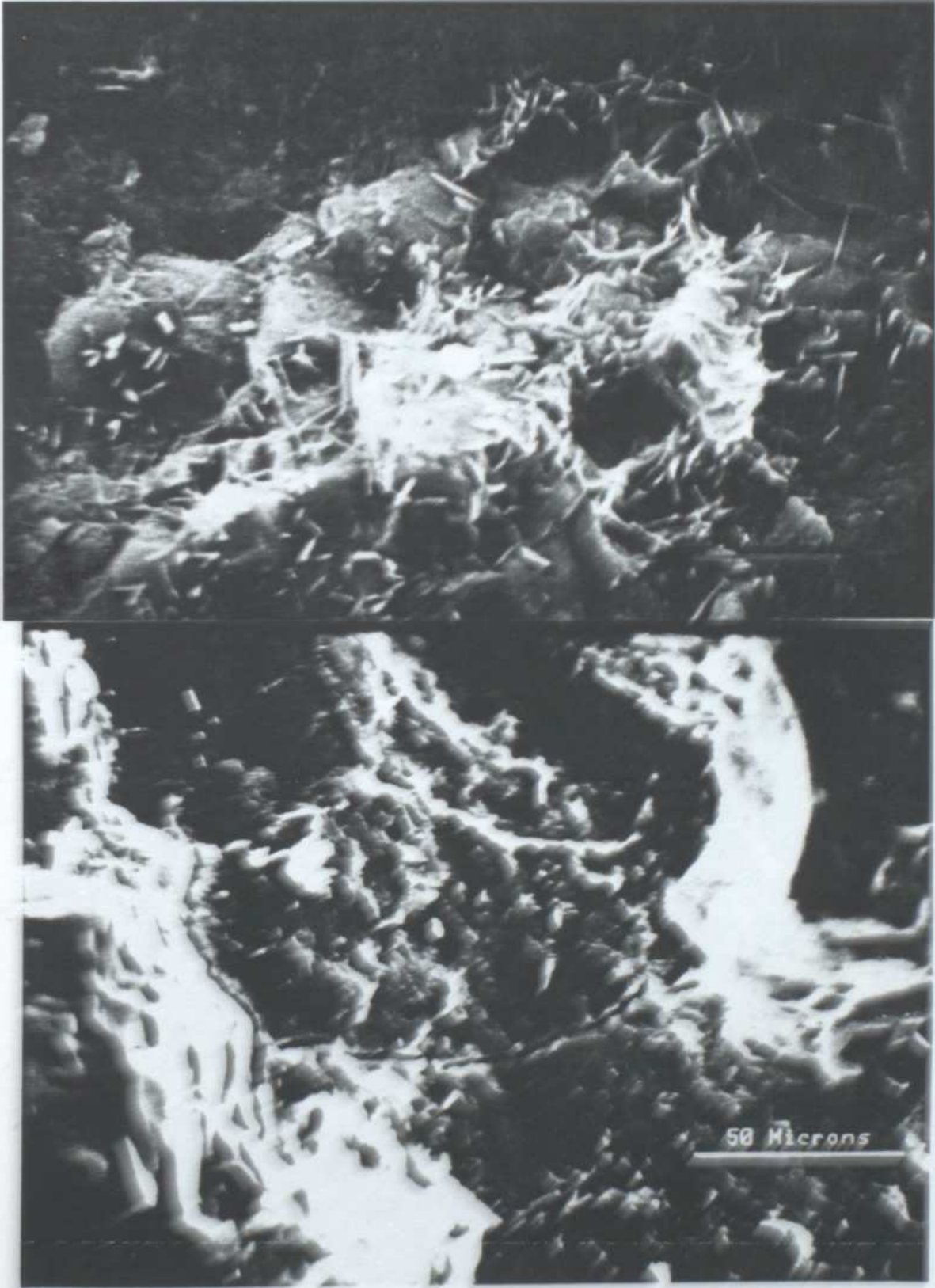


Şekil E.6.b Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen A serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı

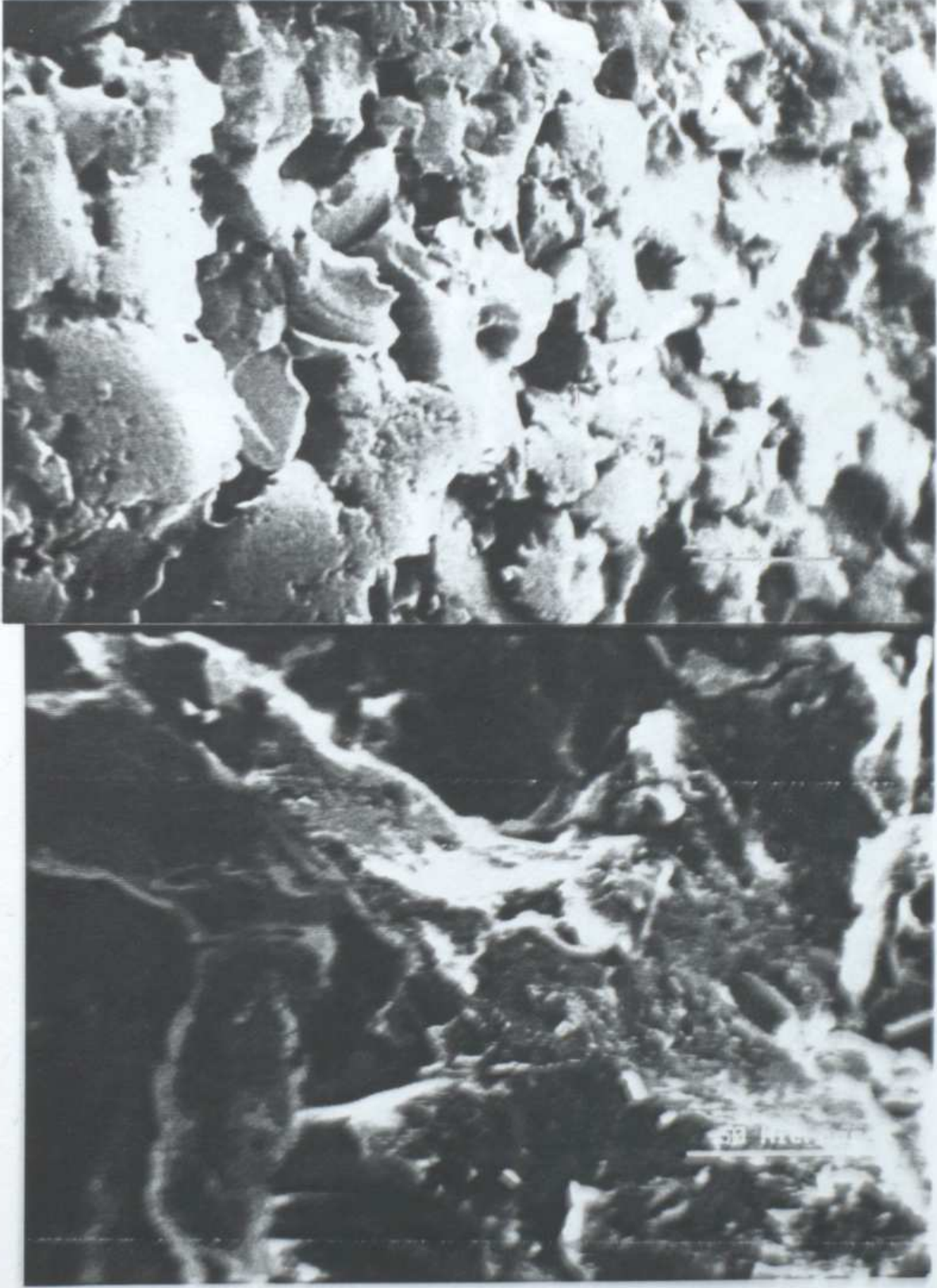


Şekil E.6 c Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/l. çözeltisinde bekleyen A serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı



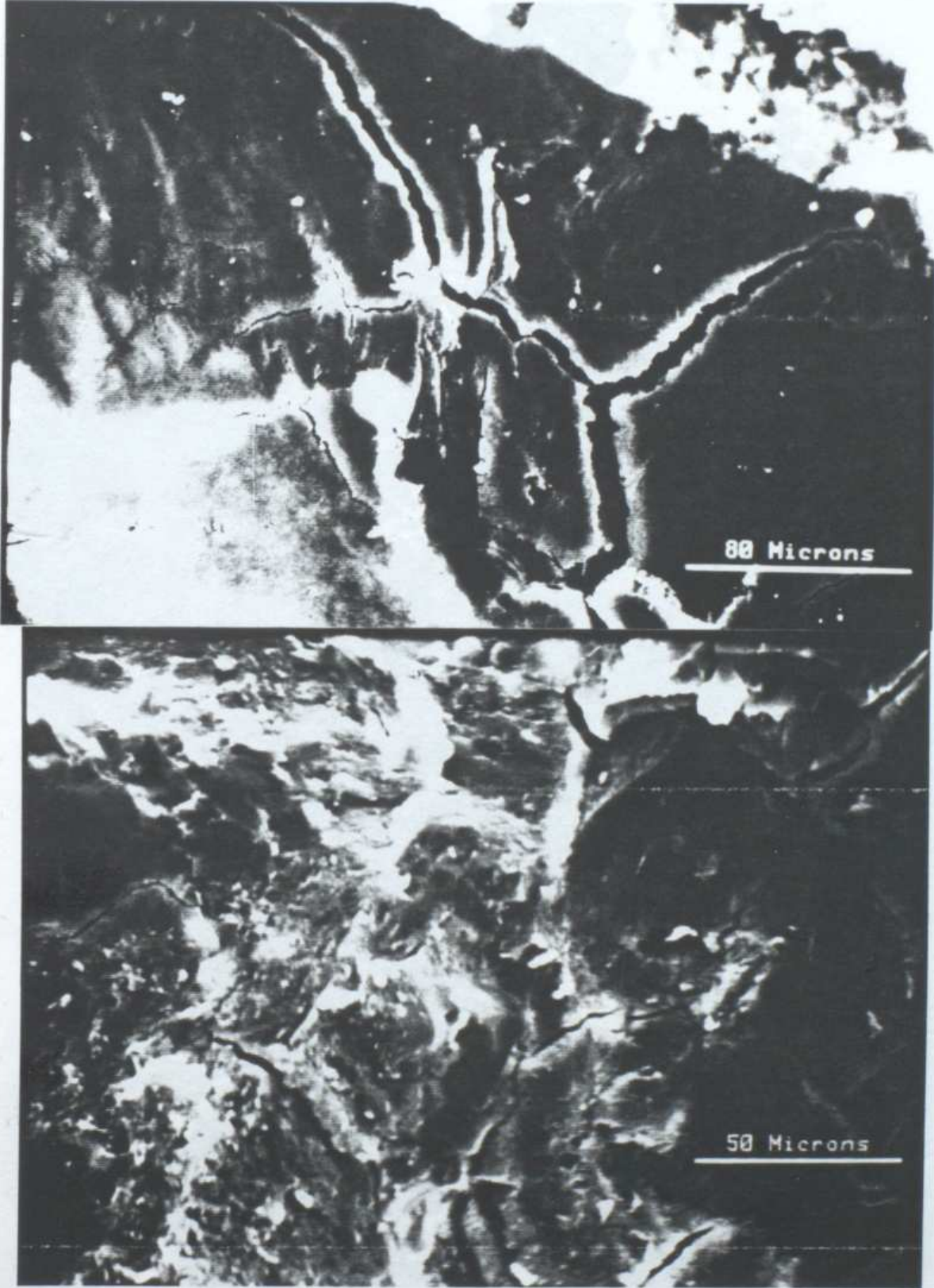


Şekil E.6 d Sodyum sülfatın,  $SO_4^{2-}$  konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı



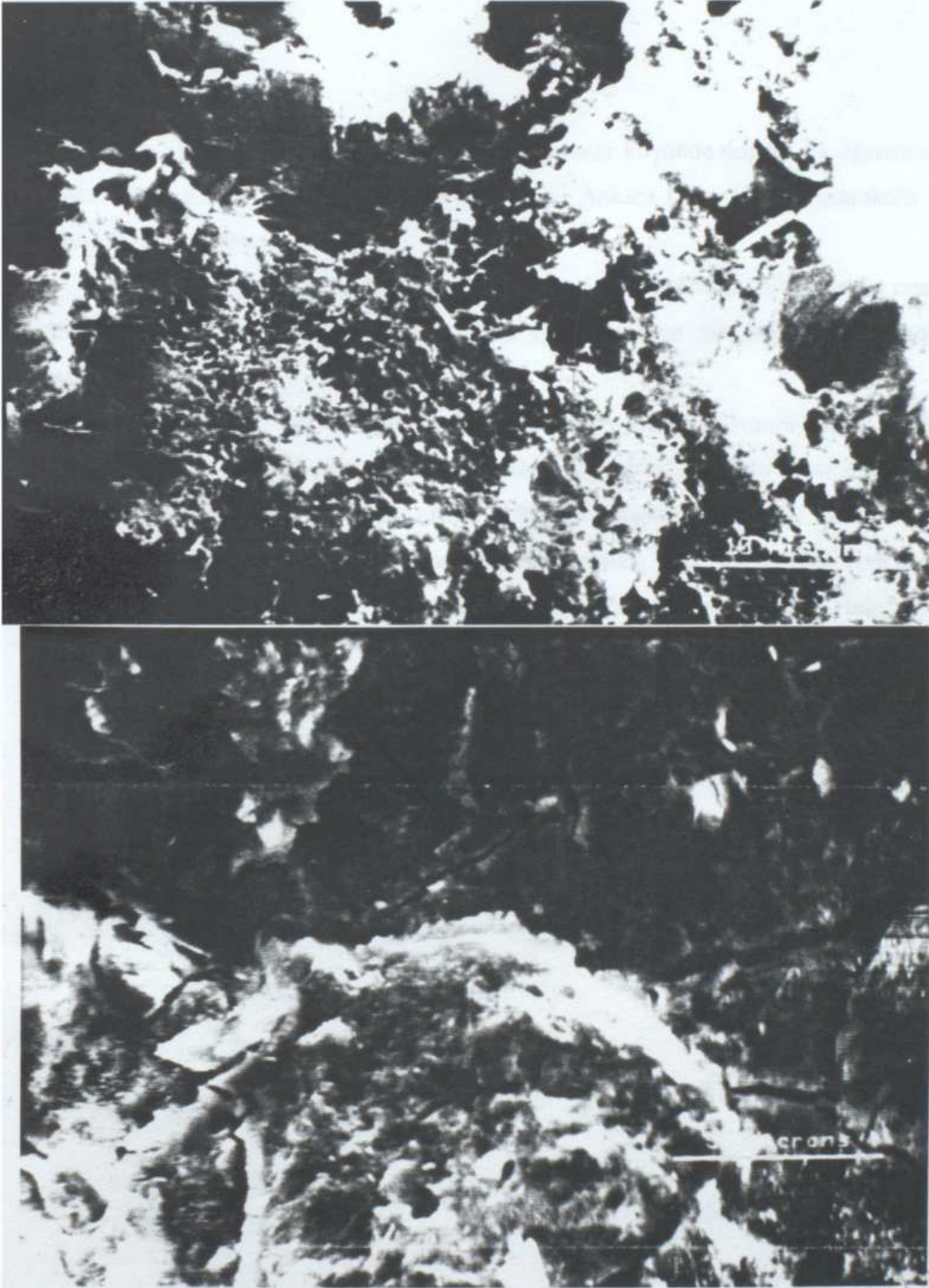
Şekil E.6 e Sodyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L. çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı





Şekil E.6 f Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 5 serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı





Şekil E.6 g Magnezyum sülfatın,  $SO_4$  konsantrasyonu 40000 mg/L çözeltisinde bekleyen 6 serisi numunelerin (90.ve 180.günde) SEM fotoğrafı



## ÖZGEŞMİŞ

Hasan BİRİCİK 1943 yılında Nevşehir'in Akpınar köyünde doğdu. İlk öğrenimini Akpınar köyü ilkokulunda bitirdi. Orta öğrenimini Ankara Demirlibahçe ortaokulu ve Atatürk lisesinde tamamladı.

1973 yılında girdiği İDMMA Akademisi İnşaat fakültesinden 1979 yılında inşaat mühendisi olarak mezun oldu. Lisans üstü eğitimini aynı fakültede 1982 yılında tamamladı.

1968-72 yılları arasında Ankara Üniversitesinde ayniyat memuru olarak çalıştı. 1973-1978 yıllarında İ.T.Ü. Makina Fakültesinde hesap işleri şefi, 1980 yılına kadar aynı fakültede inşaat mühendisi olarak çalıştı. 1980-85 yıllarında Kadıköy Müh. Mim. Akademisinde uzman olarak, daha sonra Yıldız Üniversitesi Yapı Malzemeleri Ana Bilim Dalında aynı kadroya atandı. 1986 yılında öğretim görevliliğine getirildi. Halen aynı görevi sürdürmektedir.





