

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON KARIŞIM SUYUNDAKİ MAGNEZYUM SÜLFAT, SODYUM
SÜLFAT VE SODYUM SÜLFÜR TUZLARININ TAZE VE
SERTLEŞMİŞ ÇİMENTO HARCİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Kadir KILINÇ**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2003

**BETON KARIŞIM SUYUNDAKİ MAGNEZYUM SÜLFAT, SODYUM
SÜLFAT VE SODYUM SÜLFÜR TUZLARININ TAZE VE
SERTLEŞMİŞ ÇİMENTO HARCİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Kadir KILINÇ
(501001242)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2003**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mehmet UYAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hulusi ÖZKUL (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü.)**

HAZİRAN 2003

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında deneyimleriyle ve değerli fikirleriyle bana yol gösteren, çalışmanın her aşamasında yardım ve hoşgörüsünü esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet UYAN’a teşekkürlerimi sunarım.

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim Dalı’ndaki araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve laboratuvar personeline samimi yardım ve desteklerinden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Öğrenimimin bu aşamasına gelmemde ailemin göstermiş oldukları ilgi, şefkat ve maddi manevi her türlü yardımlarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2003

Kadir KILINÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Karışım Suyu	3
2.1.1. Karışım suyu uygunluğu	3
2.1.2. Karışım suyundaki yabancı maddeler	7
2.1.3. Karışım suyundaki yabancı maddelerin ölçü birimleri	7
2.1.4. Karışım suyundaki yabancı maddelerin Türk ve yabancı standartlardaki bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri	8
2.1.5. Karışım suyundaki yabancı maddelerin taze beton özelliklerine etkisi	10
2.1.6. Karışım suyundaki yabancı maddelerin sertleşmiş beton özelliklerine etkisi	11
2.1.7. Bu çalışmada kullanılan tuzların etki mekanizması	15
2.2. Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar	20
2.3. Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi	25
2.4. Araştırmanın Kapsamı	26
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	27
3.1.1. Kum	27
3.1.2. Çimento	28
3.1.3. Su	29
3.1.4. Magnezyum sülfat Heptahidrat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	29
3.1.5. Sodyum sülfat anhidrat (Na_2SO_4)	30
3.1.6. Sodyum sülfür nonahidrat ($Na_2S \cdot 9H_2O$)	30
3.2. Harç Karışımları	30
3.3. Harç Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Saklama, Numune Boyutları	32
3.4. Deneylerin Tanımlanması, Yöntemler	33

3.4.1. Çimento hamuru deneyleri	33
3.4.2. Taze harç deneyleri	33
3.4.3. Sertleşmiş harç deneyleri	33
4. DENEY SONUÇLARI	34
4.1. Çimento Hamuru Deney Sonuçları	34
4.2. Taze Harç Deney Sonuçları	35
4.2.1. Taze birim ağırlık deneyi sonuçları	35
4.2.2. Yayılma deneyi sonuçları	35
4.3. Sertleşmiş Harç Deney Sonuçları	35
4.3.1. Sertleşmiş birim ağırlık deneyi sonuçları	36
4.3.2. Basınç mukavemeti deneyi sonuçları	39
4.3.3. Eğilme mukavemeti deneyi sonuçları	41
4.3.4. Ultrases hızı deneyi sonuçları	43
4.3.5. Rötire (boy değişimi) deneyi sonuçları	45
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	47
5.1. Çimento Hamuru Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	47
5.2. Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	48
5.2.1. Taze birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi	48
5.2.2. Yayılma deney sonuçlarının değerlendirilmesi	49
5.3. Sertleşmiş Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	50
5.3.1. Sertleşmiş birim ağırlık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	50
5.3.2. Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	51
5.3.3. Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	54
5.3.4. Ultrases hızı deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	54
5.3.5. Rötire (boy değişimi) deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
6.1. Sonuçlar	57
6.2. İleriki Çalışmalar İçin Öneriler	59
KAYNAKLAR	60
EKLER	63
ÖZGEÇMİŞ	87

KISALTMALAR

ASTM	: American Society For Testing and Materials (Amerikan Deney ve Malzeme Cemiyeti)
BS	: British Standards (İngiliz Standartları)
TS	: Türk Standartları
AASHTO	: The American Association of State Highway Officials Specifications (Amerikan Devlet Karayolları Şartnameleri)

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri.....	8
Tablo 2.2	Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri.....	8
Tablo 2.3	Beton karma suyu için kimyasal sınırlar.....	9
Tablo 2.4	Şüpheli sularda kabul kriterleri.....	9
Tablo 2.5	Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri.....	10
Tablo 3.1	Kumun elek analizi sonuçları.....	27
Tablo 3.2	Kumun birim ağırlık ve özgül ağırlık ölçüm değerleri.....	28
Tablo 3.3	Çimentonun fiziksel özellikleri.....	28
Tablo 3.4	Çimentonun mekanik özellikleri.....	29
Tablo 3.5	Çimentonun kimyasal özellikleri.....	29
Tablo 3.6	Kontrol harcı ve diğer harçların 1 m ³ için bileşimi ve taze harç özellikleri.....	31
Tablo 4.1	İlk karışımla hazırlanan çimento hamurlarının priz başlangıç ve bitim süreleri.....	34
Tablo 4.2	İkinci karışımla hazırlanan çimento hamurlarının priz başlangıç ve bitim süreleri.....	35
Tablo 4.3	Yayılma değerleri.....	36
Tablo 4.4	400 dozlu harçlarda sertleşmiş birim ağırlık değerleri(mutlak).....	37
Tablo 4.5	400 dozlu harçlarda sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış).....	38
Tablo 4.6	400 dozlu harçlarda basınç mukavemeti değerleri(mutlak).....	39
Tablo 4.7	400 dozlu harçlarda basınç mukavemeti değerleri (oranlanmış).....	40
Tablo 4.8	400 dozlu harçlarda eğilme mukavemeti değerleri (mutlak).....	41
Tablo 4.9	400 dozlu harçlarda eğilme mukavemeti değerleri (oranlanmış).....	42
Tablo 4.10	400 dozlu harçlarda ultrases hızı değerleri(mutlak).....	43
Tablo 4.11	400 dozlu harçlarda ultrases hızı değerleri(oranlanmış).....	44
Tablo 4.12	400 dozlu harçlarda rötre değerleri(mutlak).....	45
Tablo 4.13	400 dozlu harçlarda rötre değerleri(oranlanmış).....	46

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Magnezyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması.....	15
Şekil 2.2	Magnezyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması(devamı).....	16
Şekil 2.3	Sodyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması.....	18
Şekil 2.4	Sodyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması(devamı).....	19
Şekil 2.5	Sodyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması(devamı).....	19
Şekil 3.1	Kumun granülometrik eğrisi.....	27
Şekil 5.1	Kontrol çimento hamuru ve magnezyum sülfat çözeltili çimento hamurlarının priz başlama sürelerindeki artma ve azalma değerleri(%).	63
Şekil 5.2	Kontrol çimento hamuru ve magnezyum sülfat çözeltili çimento hamurlarının priz bitme sürelerindeki artma değerleri(%).	63
Şekil 5.3	Kontrol çimento hamuru ve sodyum sülfat çözeltili çimento hamurlarının priz başlama sürelerindeki artma ve azalma değerleri(%).	64
Şekil 5.4	Kontrol çimento hamuru ve sodyum sülfat çözeltili çimento hamurlarının priz bitme sürelerindeki artma değerleri(%).	64
Şekil 5.5	Kontrol çimento hamuru ve sodyum sülfür çözeltili çimento hamurlarının priz başlama sürelerindeki artma ve azalma değerleri(%).	65
Şekil 5.6	Kontrol çimento hamuru ve sodyum sülfür çözeltili çimento hamurlarının priz bitme sürelerindeki artma değerleri(%).	65
Şekil 5.7	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	66
Şekil 5.8	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	66
Şekil 5.9	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	67
Şekil 5.10	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	67
Şekil 5.11	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	68
Şekil 5.12	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	68
Şekil 5.13	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	69
Şekil 5.14	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	69
Şekil 5.15	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	70
Şekil 5.16	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	70
Şekil 5.17	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	71
Şekil 5.18	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	71

Şekil 5.19	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	72
Şekil 5.20	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	72
Şekil 5.21	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	73
Şekil 5.22	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	73
Şekil 5.23	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	74
Şekil 5.24	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	74
Şekil 5.25	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	75
Şekil 5.26	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	75
Şekil 5.27	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	76
Şekil 5.28	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	76
Şekil 5.29	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	77
Şekil 5.30	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	77
Şekil 5.31	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	78
Şekil 5.32	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	78
Şekil 5.33	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	79
Şekil 5.34	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	79
Şekil 5.35	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	80
Şekil 5.36	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	80
Şekil 5.37	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	81
Şekil 5.38	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	81
Şekil 5.39	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	82
Şekil 5.40	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	82
Şekil 5.41	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	83
Şekil 5.42	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	83
Şekil 5.43	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	84

Şekil 5.44	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	84
Şekil 5.45	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60).....	85
Şekil 5.46	Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	85
Şekil 5.47	Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	86
Şekil 5.48	Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75).....	86

SEMBOL LİSTESİ

C	: Çimento
E	: Su
σ_b	: Basınç mukavemeti
σ_e	: Eğilme mukavemeti
P_k	: Numunelerin kırılma kuvveti
L	: Mesnetler arası açıklık
B	: Prizma kesitinin eni
H	: Prizma kesitinin yüksekliği
V	: Ultrases hızı
L'	: Numune boyu
T'	: Numune içinden ultrases geçiş hızı

BETON KARIŞIM SUYUNDAKİ MAGNEZYUM SÜLFAT ($MgSO_4$) SODYUM SÜLFAT (Na_2SO_4) VE SODYUM SÜLFÜR (Na_2S) TUZLARININ ÇİMENTO HARCİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Beton ve harç üretiminde rastlanan önemli sorunlardan birisi “karışım suyu” olarak kullanılacak suyun içersinde birçok yabancı maddelerin mevcut olmasıdır. Bu yabancı maddeler sınır değerlerden fazla bulundukları takdirde beton ve harcın özelliklerini olumsuz etkiler.

Bu çalışmada karışım suyunda bulunan yabancı maddelerden sodyum sülfat, magnezyum sülfat ve sodyum sülfürün taze ve sertleşmiş çimento harcının özelliklerine etkisi incelenmiştir. Araştırmada çimento tipi sabit seçilmiş olup bütün deneylerde normal portland çimentosu (PÇ 42,5) kullanılmıştır.

Bu amaçla; 400 kg/m^3 dozajlı ve su/çimento oranı 0.60 ve 0.75 olan 2 tür harç üretilmiştir. Sülfat tuzlarının farklı konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanmış ve bu çözeltiler karışım suyu olarak kullanılmıştır. $MgSO_4$ ile 1 lt su için 20.000 ppm (%2.0), 40.000 ppm (%4.0), 60.000 ppm (%6.0) ve 80.000 ppm (%8.0) çözeltileri, Na_2SO_4 ile 5.000 ppm (%0.5), 10.000 ppm (%1.0), 20.000 ppm (%2.0) ve 30.000 ppm (%3.0) çözeltileri, Na_2S ile 50 ppm (%0.005), 100 ppm (%0.01), 200 ppm (%0.02) ve 300 ppm (%0.03) çözeltileri hazırlanmıştır. Ayrıca kontrol için su ile şahit harçlar üretilmiştir. Böylece toplam $2 \times 13 = 26$ farklı karışımda harç üretilmiştir. Boy değişimi deneyleri ve diğer deneyler için $4 \times 4 \times 16$ cm boyutlarında her bir karışım için toplam 8 adet numune üretilmiştir. Üretilen harçların işlenebilme özelliği sarsma tablası deneyi ile belirlenmiştir. Ayrıca taze harçların taze birim ağırlık değerleri ölçülmüş ve gerçek malzeme miktarları bulunmuştur. Öte yandan denenen kimyasal maddelerin priz sürelerine etkisini belirlemek için Vicat aleti ile priz süresi deneyleri yapılmıştır. Her karışımda numunelerin 6 adedi $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik su içinde deney gününe kadar saklanmıştır. Daha sonra bu numunelerde (2 adedi 7 gün, 2 adedi 28 gün ve 2 adedi 90 gün) birim ağırlık, ultrases, eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Boy değişim deneyi için 2 adet numune 20°C ve %50–60 rutubetli ortamda tutularak 90. güne kadar boy değişim ölçmeleri yapılmıştır. Sonuç olarak karışım suyundaki sülfat tuzlarının taze ve sertleşmiş çimento harcının özellikleri üzerindeki etkisi geniş olarak analiz edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda magnezyum sülfatın en fazla zararlı etkiyi gösterdiği görülmüştür. Sodyum sülfatın gösterdiği etki magnezyum sülfat etkisi gibi olmamıştır. Öte yandan, sodyum sülfürün basınç dayanımını artırdığı görülmüştür.

THE EFFECTS OF MAGNESIUM SULFATE, SODIUM SULFATE AND SODIUM SULFIDE CONTENTS OF MIXING WATER ON THE PROPERTIES OF PORTLAND CEMENT MORTARS

SUMMARY

One of the main important problems in the production of mortar and concrete is the presence of impurities such as sulfates, sulfides and carbonates in mixing water used for mortar and concrete mixes. If these impurities are excess in amounts than the limits specified in the related standards, they may cause several durability problems.

In this investigation, the effects of salts, such as magnesium sulfate, sodium sulfate and sodium sulfide present in mixing water on the properties of fresh and hardened Portland cement mortars were studied. In the experiments, mortars were prepared with a different mixing water which contains either of magnesium sulfate, sodium sulfate and sodium sulfide salts in different amounts. The dosage was kept constant for all mixtures as 400 kg per 1 m³ of mortar and test samples were prepared at two different water / cement ratios, such as 0.60 and 0.75. Totally, thirteen types of mixing water were prepared with four different amounts of three different salts and tap water. Magnesium sulfate was added into the water in the ratios of 2, 4, 6 and 8 per cent in magnesium sulfate solutions. For sodium sulfate solutions, these amounts varied as 0.5, 1, 2 and 3 per cent and sodium sulfide solutions were prepared with very small concentrations of 0.005, 0.01, 0.02 and 0.03 per cent. Same types of mixing waters were used for water/cement ratios of both 0.60 and 0.75. The initial and final setting times of cement pastes and unit weight and consistencies of fresh mortars prepared by different salt solutions and tap water were determined according to the related standards and the effects of mixing water containing different salts on the properties of fresh mortar were analysed. Then, the mortars prepared with salt waters and tap water were poured into the 4 x 4 x 16 cm moulds and after 24h, the specimens were removed from the moulds and stored in 20°C±2°C water. The hardened mortar specimens were subjected to flexural strength, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, and unit weight tests at the ages of 7, 28, and 90 days. Shrinkage of the specimens was also measured up to the age of 90 days. The specimens used in shrinkage experiments were kept in a room with 50-60 per cent R.H. and 20°C±2°C temperature. Consequently, the effects of sulfate salts that are generally present in mixing water on the properties of fresh and hardened mortars were extensively analysed.

The results of the experiments have shown that the most significant detrimental effect was observed in mortars prepared with magnesium sulfate solution. Sodium sulfate solution was not impressive as magnesium sulfate solution on the properties of the mortars. On the other hand, the compressive strengths of mortars were improved by the addition of sodium sulfide.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Karışım suyundaki yabancı maddelerin çimento ve beton üzerindeki etkisi önemli bir konudur. Karışım suyundaki yabancı maddelerin betonun mukavemet ve durabilite özelliklerini olumsuz etkiledikleri görülmüştür. Beton karışımında kullanılan karışım suyunda bulunan organik ve inorganik yabancı maddeler reaksiyonlara girerek betonun hasarına neden olabilir.

Bu araştırma alanı yıllar geçtikçe daha bir önem kazanmaktadır. Çünkü malzemede her geçen gün yeni ihtiyaçlar doğmaktadır. Kanalizasyon ve dren boruları, çeşitli sıvı depolama tankları ve aynı zamanda bot yapımında beton kullanılır. Örneğin ; kanalizasyon borusu atıklarda bulunan yabancı maddelerden etkilenmeyebilir. Fakat drenaj sisteminde bulunan bazı endüstriyel atıklardan zarar görebilir. Depolama tankları bir sıvı için uygun bir şekilde inşa edilebilir fakat daha sonra sıvı betonda hareket edebilir, ya tankı zarara uğratar ya da sıvıyı kirletir.

Karışım suyundaki sülfat tuzları bu zararlı etkiyi fazlasıyla gösterir [1]. Magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum sülfür taze ve sertleşmiş çimento harcının özelliklerini etkiler. Karışım suyundaki sodyum sülfürden kaynaklanan sıkıntı birkaç bileşiğin karışımından meydana gelen sıkıntıdır. Burada bu bileşikler hidrojen sülfür, sülfatlar ve sülfürlerdir.

Şartnamelerde ve standartlarda bu tuzlar için sınır değerler verilmiştir. Bu nedenle bu tuzların karışım suyunda farklı bileşim parametrelerine bağlı olarak ne miktarda bulunabileceği hususunda daha geniş bilgi birikimine ihtiyaç doğmuştur. Bu konuda yapılacak kapsamlı çalışmalar sayesinde konunun daha ayrıntılı bilinmesi mümkün olacaktır.

Bu çalışmada, konunun kapsamlı olması ve çok numune denenmesi amacı ile beton yerine harç numuneleri üretilmesi incelenmiştir. Üretimi yapılan harç numunelerinde Portland çimentosu (PÇ 42.5) kullanılmış, dozaj 400 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Su/çimento oranları 0.60 ve 0.75 olan 2 tür harç üretilmiştir. MgSO_4 ile 1 lt su için

20.000 ppm (%2.0), 40.000 ppm (%4.0), 60.000 ppm (%6.0) ve 80.000 ppm (%8.0) çözeltileri, Na₂SO₄ ile 5.000 ppm (%0.5), 10.000 ppm (%1.0), 20.000 ppm (%2.0) ve 30.000 ppm (%3.0) çözeltileri, Na₂S ile 50 ppm (%0.005), 100 ppm (%0.01), 200 ppm (%0.02) ve 300 ppm (%0.03) çözeltileri hazırlanmış ve harç üretimlerinde karışım suyu olarak kullanılmıştır.

Ayrıca kontrol amacı için şahit su ile harçlar üretilmiştir. Böylece toplam 2x13=26 farklı karışımda harç üretilmiştir. Her karışımda 8 adet numune dökülmüştür. Taze harçlar üzerinde işlenebilme özelliği sarsma tablası(yayılma) deneyi yoluyla belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki tuzların priz sürelerine etkisi belirlenmiştir. Ayrıca taze harç birim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Sertleşmiş harçlar üzerinde 7, 28 ve 90. günlerde yapılan deneylerle sertleşmiş birim ağırlık, ultrases hızı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve rötre değerlerinin nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Karışım suyu

Beton malzemelerin karılmasında kullanılan karışım suyu iki önemli görevi yerine getirmektedir [2]: Birincisi, çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak ve böylece yağlayıcı etki yaratarak, beton malzemelerinin kolayca karıştırılabilmesini, taze betonun yerleştirilebilmesini ve sıkıştırılabilmesini, yani “işlenebilmeyi” sağlamak ve ikincisi toz halindeki çimento taneleriyle birleşerek ortaya çıkan çimento hamurunda hidratasyon denilen “kimyasal reaksiyonları” sağlamaktır.

2.1.1 Karışım suyu uygunluğu

Karışım suyu beton yapımında önemli bir bileşen olmasına rağmen bu konuda çok fazla bilgi mevcut değildir [3]. Karışım suyu uygunluğu hakkında bu zamana kadar gelen kural şudur:

“Eğer su içilebilirse beton yapımında karışım suyu olarak kullanılabilir.”

Bu açıklama en temel açıklama olarak görünmez [4]. Çünkü, düşük oranlarda şeker ve limon tuzu tatlandırıcı içeren bazı sular içme suyu olarak uygun olabilir. Fakat karışım suyu olarak uygun değildir. Tersine, beton yapımı için uygun olan su içme suyu olarak uygun olmayabilir. Yaklaşım olarak bazı yazarlar beton yapımı için kullanılan suyun temiz olması ve zararlı maddeler içermemesi gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

Atıklara maruz kalmayan kaynaklardan elde edilen sular, tuzlu ve acımsı bir tada sahip olmadıkları sürece karışım suyu olarak kullanılabilir [5]. Atıklara maruz kalan sular mutlaka test edilmelidir.

Karışım suyu, betonun sertleşme oranı, mukavemeti ve durabilitesini etkileyecek, çiçeklenme meydana getirecek ve donatının paslanmasını sağlayacak yabancı maddeler içermemelidir [6].

Karışım suyu, herhangi bir kötü tat, koku içermiyorsa, içiliyorsa beton yapımında uygundur [2]. Diğer taraftan, içilemeyen birçok su yine beton üretiminde kullanılabilir. Abrams'ın yaptığı çalışmalar sonucunda bu durum gözlenmiştir.

İçme suyunun karışım suyu olarak uygun olmadığı bir durum vardır [7]. Bu durum da alkali agrega reaksiyonu tehlikesi ve suyun yüksek konsantrasyonda sodyum ve potasyum içermesidir. Koyu renk veya kötü koku, karışım suyunda her zaman zararlı maddelerin varlığı anlamına gelmez.

Karışım suyunun, priz olayına, ileriki yaşlarda betonun kimyasal dayanıklılığına negatif etki yapmaması gerekir [8]. Karışım suyu asit olmamalıdır. Su içinde bulunan bazı anyonlar ve katyonlardan da kaçınılmalıdır. Bunlar Cl^- , CO_3^{--} , NH_4^+ , Mn^{++} , Mg^{++} , vb. maddelerdir.

Prizi geciktirmeleri açısından ağır metal tuzlarından ve oksitlerinden de kaçınılır(kurşun ve çinko tuzları gibi). Madeni tuz miktarlarında da kısıtlamalar vardır. Yüzen madeni tuzlar için sınır litrede 2 gr., çözülmüş madeni tuzlar için ise 15 gr. sınırları önerilmiştir.

Organik maddelerden kaçınmak gerekir. Çürümüş bitki kökleri, bitkiler humik asitlere dönüşür. Keza diğer organik yağlar da asit etkisindedirler. Bu arada şeker, nişasta gibi maddeler prizi geciktirerek önemli sorunlar çıkarır. Bu maddelere kanalizasyon sularının karıştığı kuyu sularında rastlayabiliriz.

Kurak bölgelerde sular, betona zarar verebilecek yüksek oranda çözünür tuzlar içerebilirler [9]. Yüzey suları çimentonun priz zamanı üzerinde geciktirici bir etkisi olan humik maddeler içerebilir. Yer suları, yüksek oranlarda çözünür tuzlar içerebilir.

Benzer olarak yüksek oranlarda alkali metal, sodyum ve potasyum, karbonat ve bikarbonatların bulunması da alkali-silika reaksiyonu na sebep olurlar. Karışım suyunun pH değeri hakkında literatürlerde farklı bilgiler mevcuttur. Literatür [7]'de pH değeri 6.0-8.0 olan karışım sularının uygun olduğu belirtilmiştir. Literatür [9]'da ise pH değeri 4.5-9.0 olarak belirtilmiştir. Asitlik, örneğin çözünür karbondioksitten dolayı, çimentonun alkaliliğiyle hızlıca nötrleşir. pH' ı 4,5' dan az olan doğal sularda Portland çimentolarının priz zamanını geciktiren humik asitler var olabilir ve 9' un üstündeki değerlerde alkali karbonatlar var olabilir. Suyun kimyasal analizi alkali karbonatların varlığını gösterecektir fakat humik maddelerden şüphelenilirse çimento

ve betonda fiziksel testler yapılmalıdır. BS 3148⁶ de çimentonun priz zamanı ve beton küplerin basınç mukavemeti ile ilgili değerler verilmiştir. Bu değerler, beton için su uygunluğu, mukavemette izin verilen azalmalar ve prizdeki gecikmeler hakkında bilgi verir. Bu deneyler, suyun kalitesi(zelliği) hakkında herhangi bir şüphe olduğu zaman mutlaka yapılmalıdır. Ancak işlem görmemiş sular, yüzey suları, bileşiminde sezonsal değişikliklere maruzdurlar. Uzun srelerde başlangıç testleri su kalitesini belirleyebilmek için yeterli olmayabilir. Bu yüzden, fiziksel durumunda değişiklikler görüldüğü zaman yine testler yapılmalıdır. Bu değişiklikleri de yosun, organik maddelerin varlığından anlayabiliriz.

Kimyasal maddeler üreten fabrikaların kanalizasyonlarının boşaltıldığı kaynaklardan alınan suyu beton karışım suyu olarak kullanma konusunda çok itinalı davranmak gerekir [10]. İlk dikkat edilecek husus suyun kokusu, rengi çalkalandığında bulanıklığının uzun zaman kalmasıdır.

zerinde yağ tabakasının varlığı gözle ayırdedilebilen sular beton karışım suyu olarak elverişli değildir.

Yerel kaynaklardan sağlanan su test edilmeksizin beton karışım ve bakım suyu olarak kullanılabilir [11]. Akıntı veya glden sağlanan su da kullanılabilir. Fakat bu suyun temiz olması gerekir. Aynı zamanda şartnamelerdeki gereklilikleri yerine getirmelidir. Durgun veya çamurlu havuzlardan ve bataklıklardan kaçınılmalıdır. Su da imen, kök, çamur ve diğer katı maddeler bulunmamalıdır.

Bir dereden alınan ve içinde maddeler taşıyan su, kullanılmasına hazırlık olmak üzere bir dinlenme havuzunda dinlendirilmeli veya herhangi bir metotla temizlenmelidir [12]. Karışım suyu için 2000 P. P. M.’ lik bir bulanıklılık limiti konulmuştur.

Su temiz olduğu, tuzumsu ve acımsı bir tadı olmadığı zaman karışım suyu olarak kimyevi deneyler yapmadan kullanılabilir. Sert sularda yüksek bir sülfat konsantrasyonu olması daha büyük imkan dahilindedir. Arazide çalışırken bütün su kaynaklarından usulüne uygun şekilde numuneler alınmalıdır.

Karışım suyunun beton yapımında uygunluğu deneysel yöntemlerle de belirlenebilmektedir [13]. Uygulamada en çok kullanılan yöntem şüpheli su ile yapılan numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımlarının şahit su ile yapılan numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları ile

karşılaştırılmasıdır. Şüpheli su ile yapılan numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları, şahit su ile yapılan numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımlarının en az %90' ı kadar olmalıdır. AASHTO 26 şartnamesi [14], şüpheli su ile yapılan beton numunelerinin basınç dayanımlarının, şahit su ile yapılanlarından %10' dan daha fazla fark göstermemesi gerektiğini belirtmektedir. BS3148 şartnamesinde [15], bu değer dışında kalındığı zaman zararlı bir etkinin olduğu ve şüpheli su ile yapılan beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının, şahit su ile yapılanlarından %20' den daha fazla fark göstermemesi gerektiği belirtilmiştir. ASTM C94–98c şartnamesinde [16], şüpheli su ile yapılan numunelerin 7 günlük ortalama basınç dayanımlarının, şahit su ile yapılan numunelerin 7 günlük ortalama basınç dayanımlarının en az %90' ı kadar olması gerektiği belirtilmiştir. TS EN 1008 şartnamesinde de [17] uygunluğu araştırılan su ile yapılan beton veya harç numunelerin 7 günlük ortalama basınç dayanımlarının, aynı yaşta deneye tabi tutulan saf su veya de iyonize su ile hazırlanmış numune dayanımlarının %90'ından daha küçük olmaması gerektiği belirtilmiştir.

Priz süresi için şartnamelerde, farklı bilgiler mevcuttur. BS3148 şartnamesinde [15], şüpheli su ile yapılan çimento hamurunun priz süresinin, şahit su ile yapılan çimento hamurunun priz süresinden 30 dakikadan az veya 30 dakikadan çok fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir. ASTM C94–98c [16] şartnamesinde, şüpheli su ile yapılan çimento hamurunun priz süresinin, şahit su ile yapılan çimento hamurunun priz süresinden 1 saatten az 1,5 saatten çok fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir. TS EN 1008 şartnamesinde [17], uygunluğu araştırılan su ile yapılan beton numunelerde elde edilen priz başlangıç süresinin bir saatten daha az olmaması gerektiği, saf su veya de iyonize su ile yapılan beton numunelerde elde edilen priz başlangıç süresine göre % 25'ten daha fazla sapma göstermemesi gerektiği belirtilmiştir. Priz bitiş süresinin 12 saatten daha uzun olmaması ve saf su veya de iyonize su ile yapılan beton numunelerde elde edilen priz sona erme süresine göre % 25'ten daha fazla sapma göstermemesi gerektiği belirtilmiştir.

Bir Alman şartnamesinde ise benzer değerler mevcuttur [18]. Şüpheli su ile yapılan çimento hamurunun priz süresinin, 1 saatten az olmaması ve 12 saatten fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir. Şüpheli su ile yapılan çimento hamurunun priz süresi ile şahit su ile yapılan çimento hamurunun priz süresi arasındaki farkın %25'

den fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir. Buradaki değerlerin TS EN 1008 şartnamesindeki değerler ile aynı olduğu görülmektedir.

2.1.2 Karışım suyundaki yabancı maddeler

Karışım suyu içerisinde birçok yabancı madde olabilir [4, 13, 19, 20, 21]. Karışım suyu içerisinde;

- Serbest asitler
- Sülfürler
- Kireç çözücü karbonik asit
- Serbest organik asitler
- Amonyum tuzları
- Magnezyum tuzları
- Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar
- Klorürler ve sülfatlar
- Kalsiyum ve magnezyum karbonatlar ve bikarbonatlar
- Demir tuzları
- Çeşitli inorganik tuzlar
- Alkali bileşikler (Sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit)
- Şeker
- Silt ve askıda kalan katı maddeler
- Yağlar
- Yosunlar

bulunabilir. Bu bileşenlerin beton üzerinde farklı şekillerde etkileri vardır.

2.1.3 Karışım suyundaki yabancı maddelerin ölçü birimleri

Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin miktarları genellikle “bir milyonda kaç kısım oluşturdıklarını” belirterek, yani ppm (parts per million) olarak ifade edilmektedir [13].

Yabancı madde miktarları bazen bir litrede miligram olarak ne kadar miktarda yer aldıkları belirtilerek (mg/lt olarak) veya yüzde (%) olarak da ifade edilir.

2.1.4 Karışım suyundaki yabancı maddelerin Türk ve Yabancı standartlardaki bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Türk ve Yabancı standartlarda karışım suyundaki yabancı maddelere ait sınır değerler yer almaktadır. Ama bu konu hakkında çok net bilgi bulunmamaktadır. Standartlarda yer alan bilgiler şu şekildedir:

-AASHTO T26 (The American Association of State Highway Officials Specifications) (Amerikan Devlet Karayolları Şartnameleri) [14]

Tablo 2.1 Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Organik maddeler	en çok %0,02
inorganik maddeler	en çok %0,30
kükürt anhidriti (SO ₃)	en çok %0,04
alkali klorid (NaCl olarak)	en çok %0,10
pH	6-9

AASHTO T26 'da tüm yabancı maddelere ait sınır değerler verilmemiştir. Burada diğer standartlardan farklı olarak kükürt anhidriti için(SO₃) sınır değer verilmiştir.

-BS 3148:1980 (British Standards) (İngiliz Standartları) (Water for making concrete (including notes on the suitability of the water)) [15]

kalsiyum klorür < 500 mg / l

sülfatlar (SO₃ olarak) < 1000 mg / l

alkali karbonatlar ve bikarbonatlar < 1000 mg / l

BS 3148'de sadece bu yabancı maddeler için sınır değerleri verilmiştir. Burada sülfatlar, SO₃ olarak alınmıştır.

-ASTM C94 (The American Society for Testing and Materials) (Amerikan Deney ve Malzeme Cemiyeti) (Standard Specification for Ready-Mixed Concrete) [16]

Tablo 2.2 Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Kimyasal Maddeler, (karma suyundaki konsantrasyon, ppm)		En Çok
Klorür, Cl ⁻	Ön gerilmeli betonda	500
	Diğer donatılı betonlarda	1000
Sülfat, SO ₄ ⁻²		3000
Alkaliler, (Na ₂ O+K ₂ O)		600
Toplam Katı Madde		50000

ASTM C94’de verilen tablo, TS 11222’deki tablo ile aynıdır. O halde TS 11222’deki tablo ASTM C94’den alınmıştır.

-TS EN 1008 (Beton–Karma Suyu–Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları) [17]

Suyun deneyler yapılarak tayin edilen ve SO_4^{2-} olarak ifade edilen sülfat içeriği 2000 mg/lt ‘yi geçmemelidir.

-TS 500 (Şubat 2000) (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları) [22]

Karışım suyu asit reaksiyon göstermemeli ($\text{pH} > 7.0$), bu suyun içerisinde agresif karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, yağlar, organik maddeler ve endüstri atıkları bulunmamalıdır.

Karışım suyunun içerisinde bulunabilecek toplam tuzların maksimum miktarları aşağıdaki gibi olmalıdır:

Tuz, çözünmüş (erimiş) olarak, en çok 15 g / litre

Madeni tuz, yüzer (askıda) olarak, en çok 2 g / litre

TS 500 ’ de yabancı maddelerin sınır değerleri hakkında mevcut bir bilgi verilmemiştir.

-TS 11222 (Şubat 2001) (Beton–Hazır Beton–Sınıflandırma, Özellikler, Performans, Üretim ve Uygunluk Kriterleri) [23]

Tablo 2.3 Beton karma suyu için kimyasal sınırlar

Kimyasal Maddeler, (karma suyundaki konsantrasyon, ppm)		En Çok
Klorür, Cl^-	Ön gerilmeli betonda	500
	Diğer donatılı betonlarda	1000
Sülfat, SO_4^{2-}		3000
Alkaliler, ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)		600
Toplam Katı Madde		50000
Ph		≥ 7

Tablo 2.4 Şüpheli sularda kabul kriterleri

Özellikler (kontrol betonuna kıyasla)	Sınırlar
Basınç Dayanımı, (7 günde kontrol betonunun %’ si)	En az %90
Priz Başlangıcı	En geç 30 dakika
Priz Sonu	En erken 60 dakika En geç 90 dakika

Ayrıca bu standartların haricinde Indian Concrete Journal [21] ve Literatür [13]' de bir çizelge mevcuttur. Çizelge şu şekildedir:

Tablo 2.5 Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Yabancı Madde	Maksimum Konsantrasyon (ppm) (mg/l)
Kil, silt, taşı gibi suda askıdaki katı maddeler	2000 (%0.2)
Karbonatlar	1000 (%0.1)
Bikarbonatlar	400-1000 (%0.04-%0.1)
Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar	400 (%0.04)
Kalsiyum klorür	50000 (%5)
Sodyum klorür	20000 (%2)
Magnezyum klorür	40000 (%4)
Sodyum sülfat	10000 (%1)
Magnezyum sülfat	40000 (%4)
Fosfat, arsenat, borat	500 (%0.05)
Demir tuzları	40000 (%4)
İnorganik asitler (Hidroklorik ve sülfürik asitler)	10000 (%1)
Sodyum sülfür (Na_2S)	100 (%0.01)
Sodyum Hidroksit	500 (%0.05)
Yosunlu maddeler	500-1000 (%0.05-%0.1)
Şeker	500 (%0.05)

Bu tabloda yaklaşık olarak tüm yabancı maddelere ait sınır değerler verilmiştir. Tüm tablolara bakıldığında en geniş bilginin bu tabloda yer aldığı görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan tuzlar için sınır değerler, Indian Concrete Journal [21] ve Literatür [13]'de yer alan bu tablodan alınmıştır.

2.1.5 Karışım suyundaki yabancı maddelerin taze beton özelliklerine etkisi

Burada karışım suyundaki yabancı maddelerin taze beton özelliklerinden priz süresine etkisi hakkında bilgi verilecektir. Bu konu hakkında sınırlı bilgi yer almaktadır. Genel bilgi olarak şu bilgiler yer almaktadır [13, 19, 21]:

- Alkali Karbonatlar ve Bikarbonatlar

Sodyum karbonat, potasyum karbonat ve bikarbonatların farklı çimentoların priz sürelerinde farklı etkileri vardır. Sodyum karbonat çok hızlı priz kazanmaya sebep olur. Sodyum bikarbonat ya prizi hızlandırır ya da geciktirir. Bu tuzların toplamı 1000 ppm' i aştığı takdirde, priz süresi etkisini belirleyen testler yapılmalıdır.

- Çeşitli İnorganik Tuzlar

Karışım suyundaki mangan, kalay, çinko, bakır ve kurşun gibi tuzlar, priz süresinde büyük değişikliklere sebep olabilir. Bu tuzlar, priz süresini geciktirir. Bunlardan, çinko, bakır ve kurşun en etkili olanlarıdır. Geciktirici olan tuzlar, sodyum iyodat, sodyum fosfat, sodyum arsenat ve sodyum borattır. Bu tuzlar için sınır değer 500 ppm' dir. Bir diğer inorganik tuz, sodyum sülfürdür. Bunun için sınır değer 100 ppm' dir.

- Alkali bileşikler (Sodyum Hidroksit ve Potasyum Hidroksit)

Sodyum Hidroksit ve Potasyum Hidroksit konsantrasyonu 500 ppm'in üstündeki alkali sular, hızlı prize sebep olur.

- Şeker

Çimento ağırlığının %0,03-%0,15'i oranında şeker, genelde çimento prizini geciktirir. Sınır değer, çimento cinsine göre değişir. Şeker oranı çimento ağırlığının %0,20'si civarında olduğu zaman, priz hızlanır. %0,25 civarında şeker kullanıldığında, ani priz olur. Karışım suyunda, 500 ppm'den fazla şeker konsantrasyonu bulunduğunda priz süresi testleri mutlaka yapılmalıdır.

2.1.6 Karışım suyundaki yabancı maddelerin sertleşmiş beton özelliklerine etkisi

Burada karışım suyundaki yabancı maddelerin sertleşmiş beton özelliklerinden durabilite ve mekanik özelliklerine etkisi hakkında bilgi verilecektir. Bu konu hakkında sınırlı bilgi yer almaktadır. Genel bilgi olarak şu bilgiler yer almaktadır [13, 19, 21]:

- Serbest Asitler

Serbest mineral asitleri sülfürik asit (H_2SO_4), Hidroklorik asit (HCl), nitrik asit (HNO_3) gibi genellikle kuvvetli asitlerdir. Bunlar sertleşmiş çimento ve agrega içindeki karbonat esaslı tanecikler üzerinde kuvvetli çözücü ve ayrıştırıcı etkiler oluşturarak sertleşmiş beton dayanımını olumsuz şekilde etkilerler.

Asitli karışım suyunun kabulü, sudaki asitlerin konsantrasyonuna bağlıdır. Genelde, pH'a bağlıdır. pH değeri bir göstergedir, ancak potansiyel asit veya ana reaksiyonun en iyi ölçümü değildir. Genelde, 10000 ppm'e kadar Hidroklorik, sülfürik ve nitrik asit gibi inorganik asitler içeren karışım sularının beton dayanımında ters bir etkisi yoktur. Ayrıca pH değeri 3'den az olan asitli sulardan kaçınılmalıdır.

- Alkali Karbonatlar ve Bikarbonatlar

Alkali karbonatlar ve bikarbonatların durabiliteye etkisi hakkında mevcut bilgi yoktur. Ancak alkali karbonatlar ve bikarbonatların beton mukavemetini düşürdüğü literatür [13], [19] ve [21]'de belirtilmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda, sodyum karbonat, potasyum karbonat ve bikarbonatların toplamı 1000 ppm'i aştığı takdirde, 28 günlük dayanıma etkisini belirleyen testler yapılmalıdır.

- Klorürler

Suda yüksek klorür oranı bulunması gerçeği temel olarak, ön gerilmeli çeliğin korozyonundaki klorür iyonlarının ters etkisinden dolayıdır [13, 19]. Klorür iyonları, çelik üzerindeki koruyucu oksit tabakasını deler. Klorür, beton içine farklı karışımlarla girebilir. Bunlar, katkı maddeleri, agrega, çimento ve karışım suyudur.

Yüksek oranda çözünemeyen katıların suda bulunması, yüksek oranda NaCl bulunmasından kaynaklanır. 20000 ppm NaCl konsantrasyonu, izin verilebilir değerdir. Koroziyon reaksiyonları düşük seviyededir. Bu şartlarda, klorür iyonu için sınır değer 500 ppm'dir. Magnezyum klorür ($MgCl_2$) ise sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitle ($Ca(OH)_2$) reaksiyona girerek yumuşak ve jelatinimsi bir madde olan magnezyum hidroksiti oluşturur. Magnezyum klorür, su içinde yüksek konsantrasyonlarda bulunabilir. Literatür [13] ve [19]'da magnezyum klorürün 40000 ppm'e kadar bulunmasının normal olduğu belirtilmiştir.

- Sülfat tuzları

Magnezyum sülfat ($MgSO_4$) tuzu, sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitle ($Ca(OH)_2$) reaksiyona girerek, yumuşak ve jelatinimsi bir madde olan magnezyum hidroksiti oluşturur. Bu da sertleşmiş beton dayanımını olumsuz etkiler. Literatür [13], [19] ve [21]'de magnezyum sülfatın su içinde yüksek konsantrasyonlarda bulunabileceği belirtilmiştir. Sınır değeri 40000 ppm olarak verilmiştir. Sodyum sülfat (Na_2SO_4) için ise sınır değeri 10000 ppm olarak verilmiştir. Magnezyum sülfatın sodyum sülfattan daha yüksek konsantrasyonda bulunmasına izin verilmiştir. Bu tuzların etkisi par. 2.1.7'de ayrıntılı incelenmiştir.

- Kalsiyum ve Magnezyum karbonatlar ve bikarbonatlar

Kalsiyum ve Magnezyum karbonatlar, suda çok çözünmezler ve bu yüzden, beton mukavemetini etkileyecek kadar yeterli konsantrasyonda nadiren bulunurlar. Kalsiyum ve Magnezyum bikarbonatlar, bazı kent sularında bulunurlar. 400 ppm'e

kadar su içinde bulunmaları doğaldır. 400 ppm'den sonra betona zararlı etkileri vardır.

- Demir Tuzları

Doğal yer altı sularında 20-30 ppm konsantrasyonundan fazla demir vardır. Ancak, asitli sular büyük oranlar içerebilir. 40000 ppm konsantrasyonuna kadar, dayanım büyük ölçüde etkilenmez.

- Çeşitli İnorganik Tuzlar

Karışım suyundaki mangan, kalay, çinko, bakır ve kurşun gibi tuzlar, dayanımda önemli bir azalmaya sebep olabilir [13, 19, 21]. Bu tuzlar dayanımı geciktirir. Bunlardan, çinko, bakır ve kurşun en etkili olanlarıdır. Geciktirici olan tuzlar, sodyum iyodat, sodyum fosfat, sodyum arsenat ve sodyum borattır. Bu tuzlar için sınır değer 500 ppm'dir.

Sertleşmiş betona zararlı olan bir diğer inorganik tuz, sodyum sülfürdür. Bunun için sınır değer 100 ppm'dir. Bu sınır değerinden sonra beton dayanımı olumsuz olarak etkilenir. Bu tuzun etkisi par. 2.1.7'de ayrıntılı incelenmiştir.

- Alkali bileşikler (Sodyum Hidroksit ve Potasyum Hidroksit)

Sodyum Hidroksit konsantrasyonu, çimento ağırlığının %0,5'i olan yani 6000-10000 ppm civarında olan sular beton dayanımını büyük ölçüde etkilemez. Yüksek konsantrasyonları dayanımı azaltır.

Potasyum Hidroksit konsantrasyonu, çimento ağırlığının %1,2'si olan yani 18000-24000 ppm civarında olan suların beton dayanımındaki etkisi azdır. Ama bu unsur, çimento cinsine göre değişir. Ayrıca Sodyum Hidroksit ve Potasyum Hidroksit konsantrasyonu 500 ppm'in üstündeki alkali sular düşük dayanıma sebep olur.

- Şeker

Çimento ağırlığının %0,03-%0,15'i oranında şeker bulunması halinde 7 günlük dayanım değeri düşük çıkmasına karşın 28 günlük dayanımı yüksek çıkar. Şeker oranı çimento ağırlığının %0,25'i civarında bulunduğunda 28 günlük dayanım düşük çıkar.

Karışım suyunda, 500 ppm'den düşük şeker konsantrasyonunun beton dayanımına ters bir etkisi yoktur. Fakat bu değer aşılsa dayanım testleri mutlaka yapılmalıdır.

- Silt ve askıda kalan katı maddeler

Karışım suyunda, 2000 ppm'e kadar askıda kalan kil ve küçük katı parçacıklar bulunabilir. Yüksek oranlar, su ihtiyacını artırır, rötrei artırır ve çiçeklenmeye sebep olur.

- Yağlar

Karışım suyunda, çeşitli yağlar mevcuttur. Hayvansal ve bitkisel yağlarla karışık olmayan mineral yağlarının dayanımda az etkisi vardır. Ancak, çimento ağırlığının %2'sinden büyük konsantrasyonda bulundukları takdirde beton dayanımında %20'den fazla azalmalar olur.

- Yosunlar

Yosun içeren su, beton yapımı için uygun değildir. Çünkü, yosun ya çimentonun hidratasyonunu etkileyerek ya da betonda büyük oranda hava boşluğuna sebep olarak beton dayanımında önemli azalmalara sebep olur. Yosunlar, agregalarda da mevcut olabilir. Ve agrega ile çimento hamuru arasındaki bağı zayıflatır. 500-1000 ppm'den fazla bulundukları takdirde, hava boşlukları oluşur ve dayanımda azalmalar olur.

- Sülfürler

- Kükürtlü Hidrojen (H_2S):Kükürtlü hidrojen zayıf bir asit olduğu için betonu daha az etkiler. Ancak gaz halinde, betonun içine işleyebileceği gibi, nemli betonun yüzeyindeki su filmi içinde çözünerek ve havadaki oksijen ile oksitlenip sülfürik asit (H_2SO_4) veya sülfatları oluşturarak etkili olabilir.

Ayrıca, suda çözünmeyen pirit ve markazit gibi kükürtlü bileşikler, havanın oksijeni ve nem ile birlikte yükseltgenerek, sülfatları veya sülfürik asiti oluşturarak zararlı etki yapabilirler.

- Kireç çözücü Karbonik asit

Kireç çözücü karbonik asit betona diğer zayıf asitler gibi etkiler ve sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitin çözülmesine neden olarak zararlı olur.

- Serbest Organik Asitler

Asetik asit, (sirke asidi), laktik asit (süt asidi) vb. serbest organik asitler, kimyasal yapılarına uygun tuzları oluşturarak, sertleşmiş çimento bileşimindeki kalsiyumun çözünmesine neden olurlar.

Genellikle organik asitlerin etkisi, inorganik asitlerin etkisinden daha hafiftir. Hatta tartarik asit, oksalik asit vb. bazı organik asitlerin koruyucu bir film oluşturdıkları ve bu nedenle tamamen zararsız oldukları bilinmektedir.

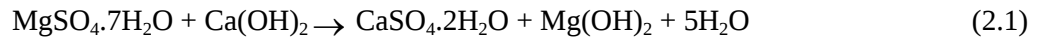
- Amonyum Tuzları

Amonyum karbonat, amonyum oksalat ve amonyum flüorür dışında kalan amonyum tuzları, başlıca sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksiti etkileyip çözerek ayırır.

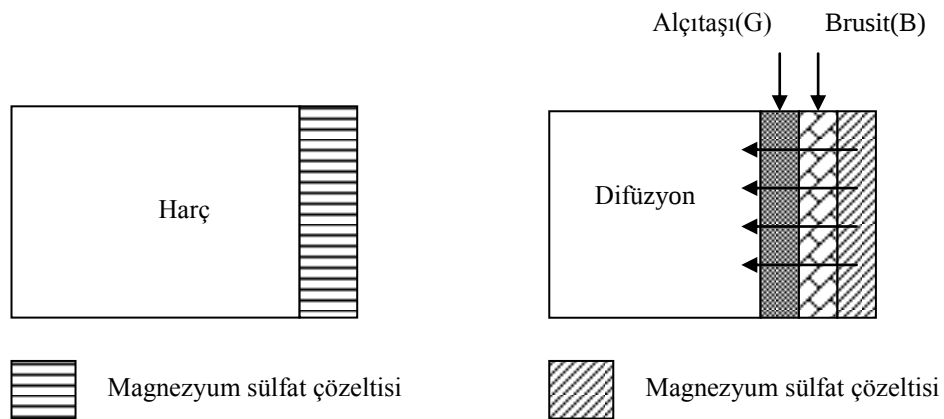
2.1.7 Bu çalışmada kullanılan tuzların etki mekanizması

Bu çalışmada magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum sülfür tuzları kullanılmıştır. Bu tuzların etki mekanizmaları sırasıyla anlatılacaktır. Magnezyum sülfatın etki mekanizması şu şekildedir:

Magnezyum sülfat, taze harçlarda ilk olarak çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan Ca(OH)_2 ile reaksiyona girer [24, 25]:



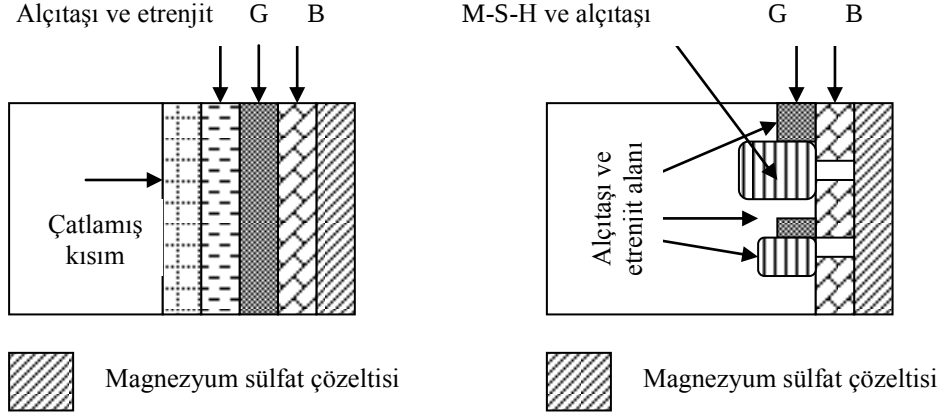
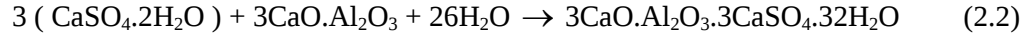
Bu reaksiyonda oluşan Mg(OH)_2 brusit olarak adlandırılır ve numune yüzeyinde bir tabaka şeklinde yer alır [26, 27, 28]. Bu reaksiyonda $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (alçıtaşı) Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi brusit tabakasının önünde bir tabaka oluşturur. Brusit tabakasının çözünürlüğü çok düşüktür. Bu yüzden magnezyum iyonu ve sülfat iyonlarının harç içine difüzyonu çok kolaydır. Ayrıca brusit oluşumu yüksek oranda kalsiyum hidroksit tüketimini sağlar. Bu da çözeltinin pH’ını düşürür.



Şekil 2.1 Magnezyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması

Ayrıca taze harçlarda yukarıdaki reaksiyonda oluşan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (alçıtaşı) hidrate olmamış kalsiyum alüminat ile reaksiyona girer ve bu reaksiyon sonucunda Şekil

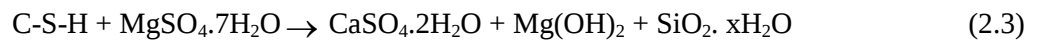
2.2' de görüldüğü gibi $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.32\text{H}_2\text{O}$ (etrenjit) oluşur [25, 29, 30]. Etrenjit taze harçta oluştuğundan dolayı zararsızdır.



Şekil 2.2 Magnezyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması (devamı)

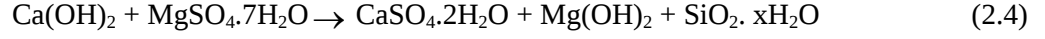
Magnezyum sülfat çözeltili harçlarda sertleşme olduktan sonra ilk olarak taze harçlarda olduğu gibi magnezyum sülfatın $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyonu devam eder. Aynı şekilde yine alçıtaşı oluşur. Oluşan bu alçıtaşı şişmeye neden olur [25].

Magnezyum sülfat çözeltili harçlarda sertleşme olduktan sonra ikinci etrenjit oluşumu meydana gelmez [27, 28, 30]. Çünkü $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (brusit) oluşumu, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 'nin çözünürlüğünün çok düşük olması ve çözeltinin pH değerinin düşük olması hem etrenjit hem de C-S-H (kalsiyum silika hidrat) 'nin stabilitesini bozar. Bilindiği üzere C-S-H yapısı, çimento hamurunun ana bağlayıcı özelliği olan önemli bir yapıdır. Sülfat etkisi arttıkça C-S-H jelindeki kalsiyum iyonu magnezyum iyonu ile yer değiştirir. Bunun sebebi magnezyum ve kalsiyumun iyonik dengesinin olmasıdır. İkisinin de üssü +2 dir. Ayrıca magnezyum iyonlarının kalsiyum silika hidratlar üzerindeki çekim kapasitesi fazladır. Magnezyum iyonu kalsiyum iyonu ile yer değiştirdiğinden dolayı magnezyum sülfat C-S-H jeli ile reaksiyona girer ve bu reaksiyon sonucunda alçıtaşı, brusit ve silika jeli (Si_2H) oluşur.



Burada oluşan $\text{SiO}_2.x\text{H}_2\text{O}$ silika jelidir ve bu jelin bağlayıcı ve dayanım özelliği C-S-H jelinin bağlayıcı ve dayanım özelliğine göre çok düşüktür [27, 28]. C-S-H jeli

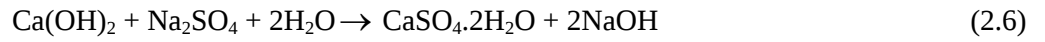
düşük olan pH değerini yükseltmek ve stabiliteyi sağlamak için Ca(OH)_2 'yi yönlendirir ve Ca(OH)_2 ' de pH değerini yükseltme yerine magnezyum sülfat ile reaksiyona girer ve bunun sonucunda daha fazla alçıtaşı ve brusit oluşur.



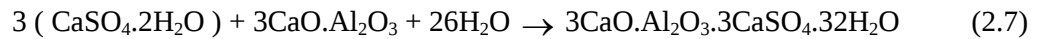
Burada C-S-H jelinin stabiliteyi sağlama ve pH değerini yükseltme aşaması C-S-H jelinin ayrışması olarak adlandırılır. C-S-H jeli ayrışma sırasında Ca(OH)_2 ve bağlayıcı özelliklerini kaybettikçe çimento hamurunda oluşan alçıtaşı ve brusit konsantrasyonu artar. Konsantrasyon artmasıyla beraber brusit hidrosilikatlar (silika jeli) ile reaksiyona girer ve bunun sonucunda bağlayıcı ve dayanım özelliği olmayan M-S-H (magnezyum silika hidrat) oluşur. Brusit M-S-H ' ye dönüştükçe oranı da gittikçe azalır. Şekil 2.2' de M-S-H oluşumu gösterilmiştir. Oluşan bu M-S-H jeli dayanım ve durabilite özelliklerini olumsuz etkiler.



Sodyum sülfat, taze harçlarda magnezyum sülfattaki gibi aynı şekilde ilk olarak çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan Ca(OH)_2 ile reaksiyona girer [25, 29]:



Bu reaksiyonda oluşan NaOH (sodyum hidroksit), çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle hidrate olmuş çimento hamurunun pH değerini yükseltir [28,29, 30]. Ayrıca taze harçlarda yukarıdaki oluşan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (alçıtaşı) hidrate olmamış kalsiyum alüminat ile reaksiyona girer ve bu reaksiyon sonucunda $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (ilk etrenjit) oluşur. Etrenjit taze harçta oluştuğundan dolayı zararsızdır.



Sodyum sülfat çözeltili harçlarda sertleşme olduktan sonra ilk olarak taze harçlarda olduğu gibi sodyum sülfatın Ca(OH)_2 ile reaksiyonu devam eder. Aynı şekilde yine alçıtaşı oluşur. Oluşan bu alçıtaşı şişmeye neden olur [25].

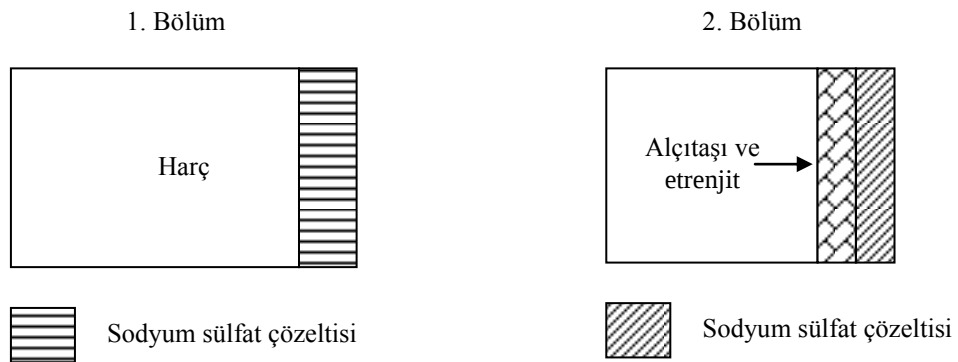
Sertleşmiş harçlarda ayrıca kalsiyum alüminat hidratlar ve monosülfat hidratlar alçıtaşı ile reaksiyona girerek ikinci etrenjiti oluşturur [28, 29, 30]:



Oluşan bu etrenjit sertleşmiş harca oldukça zararlıdır. Harçta çatlamalara ve dayanım kaybına sebep olur. Sodyum sülfatın etki mekanizması temel olarak ikinci etrenjit oluşumu üzerinde odaklanır. Bu yüzden çimentolarda C_3A oranını sınırlamak gerekir.

Sertleşmiş harçlarda sodyum sülfatın etki mekanizması şekillerle de anlatılabilir. Sodyum sülfatın etki mekanizması 6 bölüme ayrılır [26]:

İlk bölümde sodyum sülfatın kalsiyum hidroksitle reaksiyonu sonucunda pH değerinde yükselme meydana gelir.



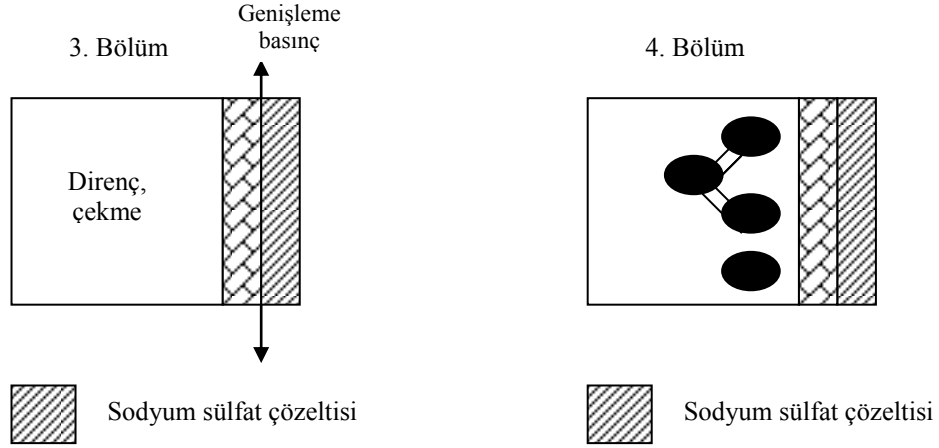
Şekil 2.3 Sodyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması

İkinci bölümde ise harç yüzeyine yakın bölgelerde alçıtaşı ve etrenjit oluşumu başlar. Şekil 2.3' de görüldüğü gibi alçıtaşı ve etrenjit tabakası genişlemeye çalışan bir tabaka gibi davranır.

Üçüncü bölümde ise harç kütlesi bu genişleme eğilimine karşı direnir. Böylece yüzey kısmında basınç kuvvetleri oluşur. Buna karşılık harç kütlesi çekme kuvvetlerine maruz kalır.

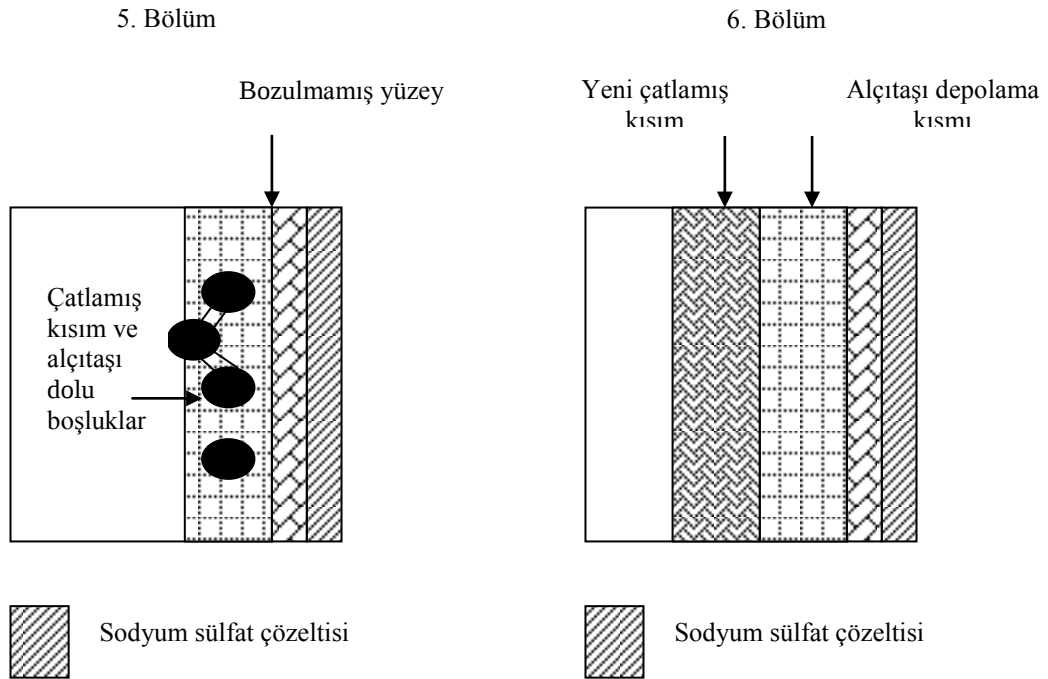
Dördüncü bölümde ise bunun sonucunda harç kütleinde çatlaklar meydana gelir. Bu çatlaklar çözeltinin difüzyonuyla gittikçe artar.

Beşinci bölümde ise çözelti çatlaklara ulaştıkça çimentonun hidrate ürünleri ile reaksiyona girer ve bu çatlaklarda alçıtaşı birikir. Harç içinde bu çatlaklarda alçıtaşı birikimi sonucu yeni bir tabaka oluşur. Bu tabaka da genişlemeye çalışır. Buna karşılık harç çekmeye maruz kalır. Gittikçe yeni çatlaklar oluşur.



Şekil 2.4 Sodyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması (devamı)

Altıncı bölümde ise harç içinde üç kısım meydana gelir. Bunlar bozulmamış yüzey, alçıtaşı depolama kısmı ve çatlamış kısımdır. Çatlamış kısım arttıkça harcın dayanım ve durabilite özellikleri azalır.



Şekil 2.5 Sodyum sülfatın harç üzerindeki etki mekanizması (devamı)

Sodyum sülfürün etki mekanizması hakkında literatürde açık ve net bilgiler bulunmamaktadır. Literatür [31]'de sodyum sülfür çözeltisindeki sülfürün çimentodaki demir ile reaksiyona girdiği, çözünmüş kalsiyum hidroksit veya fazla sodyum sülfürden dolayı kolloid bir madde oluştuğu ve oluşan kolloidin durabilite özelliklerini olumsuz etkilediği belirtilmiştir.

Sonuç olarak magnezyum sülfat çözeltili taze harçlarda ilk olarak alçıtaşı ve etrenjit oluşur. Oluşan bu alçıtaşı ve etrenjit zararsızdır. Magnezyum sülfat çözeltili sertleşmiş harçlarda ise alçıtaşı oluşumu devam eder. Sertleşme olduktan sonra oluşan alçıtaşı şişmeye neden olur. İkinci etrenjit oluşumu meydana gelmez. Ancak magnezyum sülfat C-S-H jelini ayrıştırır ve bağlayıcı özelliği olmayan M-S-H jeli oluşur. Bu da durabilite özelliklerini olumsuz etkiler. Sodyum sülfat çözeltili taze harçlarda magnezyum sülfat çözeltili harçlarda olduğu gibi ilk olarak alçıtaşı ve etrenjit oluşur. Oluşan bu alçıtaşı ve etrenjit zararsızdır. Sodyum sülfat çözeltili sertleşmiş harçlarda ise alçıtaşı oluşumu devam eder. Sertleşme olduktan sonra oluşan alçıtaşı şişmeye neden olur. oluşur. Burada ikinci etrenjit oluşumu meydana gelir. Bu da durabilite özelliklerini olumsuz etkiler. Sodyum sülfür çözeltili harçlarda ise çözeltideki sülfür çimentodaki demir ile reaksiyona girer, çözünmüş kalsiyum hidroksit veya fazla sodyum sülfürden dolayı kolloid bir madde oluşur ve oluşan kolloid durabilite özelliklerini olumsuz etkiler.

2.2 Bu konuda yapılmış çalışmalar

Konuyla ilgili yapılan literatür taramalarında, yapılmış araştırmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür.

1924 yılında Abrams yaptığı araştırmalarda %1 Na₂SO₄ (Sodyum sülfat) içeren bir suyun şehir suyu kadar ortalama sonuçlar verdiğini bulmuştur [20, 32]. Abrams'ın yaptığı araştırmalar sonunda şu sonuçlara varılmıştır:

- %1 konsantrasyonuna kadar SO₄ içeren sülfatlı sular az bir etki yaratmış veya hiç bir etki yapmamıştır. %0,5 konsantrasyonunda mukavemetteki ortalama azalmanın %4 civarlarında olduğu görülmüştür. %1 konsantrasyonunda ise mukavemetteki azalma %10' dan fazla olmuştur.

- %3.5 oranında tuz (çoğunlukla sodyum klorür) içeren deniz suyuyla dökülmüş ve nemli odada kür edilmiş beton numuneleri, taze su ile dökülen numunelerden daha iyi mukavemet değerleri vermiştir. Burada mukavemetler 3 günlük ve 7 günlük mukavemetlerdir. 28 gün ve üstünde deniz suyu kullanılan numunelerin mukavemet oranı %80-%88 arasındadır. Deniz suyu ile dökülen ve açıkta kür edilen betonların mukavemetinin, taze su ile dökülen numunelerin mukavemetinden daha düşük olduğu görülmüştür. Buradaki mukavemet ise 3 aylık mukavemettir. Fakat ileri zamanlarda mukavemette bir düzelme görülmüştür. Mukavemet değerlerinin, kontrol

suyun mukavemet değerlerine eşit olduğu görülmüştür. (Uygun mukavemet sonuçlarına rağmen, güçlendirilmiş beton yapımında korozyon riskinden dolayı deniz suyunun kullanılması tavsiye edilmez.)

- North Dakota, Devil's Lake'den alınan su (%0.15 Na_2SO_4 içeren) normal beton mukavemet değerleri vermiştir. Numunelerde herhangi bir zararlı etki görülmemiştir.

- South Dakota, Medicine Lake'den alınan suyun [%3.5 oranında SO_4^- (sülfat) çözeltisi, çoğunlukla magnezyum sülfat çözeltisi (SO_4^- konsantrasyonu %2.8)] mukavemet değerleri, deniz suyu ile elde edilen mukavemet değerlerine benzer yani yakındır. En düşük mukavemet oranının %84 olduğu görülmüştür.

- Sülfatlı bölgelerdeki kanallar ve küçük akıntılardan elde edilen sular, $2^{1/3}$ yıla kadar uygun mukavemet değerleri vermişlerdir. En düşük mukavemet oranlarının yaklaşık %90 olduğu görülmüştür.

- %10 ve daha az tuz çözeltileri kullanılarak dökülen betonlar nemli odada kür edilmiştir. 3 günlük mukavemetinde az bir artışın olduğu görülmüştür. Düşük konsantrasyondaki çözeltilerde de (%1 ve %2) 7 günlük mukavemette az bir artış olmuştur. 7 günden sonra ise tüm konsantrasyon değerleri mukavemette azalmaya neden olmuştur. %20 oranında çözelti için erken yaşlarda mukavemet oranının %60 kadar düşük olduğu görülmüştür. %10 ve %15 oranlarında ise geç yaşlarda mukavemet oranının %60 kadar düşük olduğu görülmüştür. Tuz çözeltileri kullanılarak dökülen betonlar nemli odada 28 gün kür edilmiştir. Daha sonra açık havaya çıkarılmıştır. Bu betonlar mukavemet olarak nemli odada 3 ay bekletilen numunelerin mukavemet değerlerine eş değerdedir. Bu kür durumu için, örneğin %12 oranında bir tuz oranı ele alındığında 1 yıllık mukavemette azalma görülmüştür. $2^{1/3}$ yılda ise mukavemette azalma görülmemiştir.

Rohland ise yaptığı deneyler sonucunda sodyum sülfatın prizi geciktirdiğini gözlemlemiştir [33].

1927 yılında Giesecke, Thomas ve Parkinson yaptığı araştırmada magnezyum sülfat tuzunu negatif iyon %4 konsantrasyonuna kadar olan çözeltiler halinde kullanmıştır ve 28 günden üç yıla kadar deneyler yapmıştır [20, 33]. Ve şunu farketmiştir ki; harç basınç mukavemetleri, kontrol mukavemetleri kadar iyi çıkmıştır. Diğer araştırmacılar da bu magnezyum tuzlarının iyi davranışının belirtilerini elde etmişlerdir. Giesecke, Thomas ve Parkinson, farklı konsantrasyonlarda sodyum sülfat

çözeltileri ile deneyler yapmıştır (magnezyum tuzlarında olduğu gibi). Anyon konsantrasyonu %0,5 olan çözeltiler bir kumla kullanıldığında 28 günden 3 yıla kadar olan mukavemetlerde kontrol değerlerine göre %10 azalma olmuştur. Diğer bir kumla yapıldığında ise bir düşük değer (%15 azalma) hariç yine %10 azalma olduğu görülmüştür. Konsantrasyonlar iki katına çıkarıldığında birisi hariç kontrol değerlerine göre %16 azalma olduğu görülmüştür. Witt [21], daha yüksek oranda azalmalar gözlemlemiştir fakat numuneler hazırlanmadan önce tropikal (Filipin) iklimde saklanan çimentoların bozulmaya uğradığı zannedilmiştir. Giesecke, Thomas ve Parkinson [33], yaptığı araştırmalar sonunda ilginç ve önemli gerçekler görmüşlerdir. Görünen temel olaylar şudur:

- 1.) Sodyum sülfat Portland çimentosu harçlarına zararlıdır. Sodyum sülfat mukavemette büyük bir azalmaya sebep olur. Magnezyum sülfat'ın harç mukavemetinde çok az bir etkisi vardır. Biraz da yararlıdır denilebilir.
- 2.) Sonuçlara bakıldığında aslında karışım suyu iyi analiz edildiğinde sülfat iyonunun Portland çimento harçlarının mukavemetine yeterli derecede zararlı olmadığı görülmüştür. Kullanılan sodyum sülfatın zararlı olduğu görülmüştür. Magnezyum sülfat az bir etki yaratmıştır.
- 3.) Genelde mukavemet oranları yaşla birlikte artar. Yani mukavemet azalması ileriki yaşlarda daha azdır. 3 yıldaki mukavemet yüzdesi artması 28 gündeki artmadan fazladır.

1994 yılında Hindistan'da Harcourt Butler Teknoloji Enstitüsünde Sunil Kumar ve C.V.S. Kameswara Rao, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltileri kullanarak deneysel çalışmalar yapmıştır [34]. Deneylerde normal Portland çimentosu ve saf su kullanmışlardır. Sülfat konsantrasyonu 1000 ppm'e karşılık gelen sodyum sülfat ve magnezyum sülfat miktarları sırasıyla 1.48 mg/litre ve 2.56 mg/litre alınmıştır. Sülfat konsantrasyonu 0, 500, 1000, 3000, 5000 ve 10000 ppm olan çözeltiler hazırlanmış ve bu çözeltilerle hazırlanan çimento hamurlarının başlangıç ve bitiş priz süreleri incelenmiştir. Basınç deneyleri 15x15 cm küp numuneler üzerinde uygulanmıştır. Su/çimento oranı 0.45 alınmıştır. Deneyler sonucunda şu sonuçlara varıldığı görülmüştür:

- 3000 ppm SO_4^{2-} konsantrasyonuna kadar priz sürelerinde gecikme meydana gelmiştir. 3000 ppm SO_4^{2-} konsantrasyonunda ve konsantrasyonundan sonra ise bir

düşme olup priz başlangıç sürelerindeki gecikmede azalma meydana gelmiştir. Priz bitiş sürelerinde ise 3000 ppm SO_4^{2-} konsantrasyonunda ve konsantrasyonundan sonra bir düşme olmamıştır.

- Aynı konsantrasyonlarda priz başlangıç süresindeki gecikme değeri, priz bitiş süresindeki gecikme değerinden fazla olmuştur.
- Sülfat çözeltilerindeki katyonlar, sülfat etkisinin derecesini belirlemişlerdir. Priz sürelerini en fazla etkileyen tuz sodyum sülfat olmuştur.
- Sülfat konsantrasyonu arttıkça basınç mukavemetindeki azalma da artmıştır.
- Basınç mukavemetini en olumsuz etkileyen tuz ise magnezyum sülfat olmuştur.

1916 yılında Witt yaptığı araştırmada ağırlıkça %0.024, %0.24, %1.22 ve %2.44 oranlarında sodyum sülfür içeren sodyum sülfür çözeltileri kullanmış ve farklı çimentolar kullanılarak dökülen harçlarda çekme mukavemeti deneyleri yapmıştır. Tüm konsantrasyonlar mukavemette azalmaya sebep olmuştur fakat Witt, %0.024 ve %0.24 oranlarında mukavemetlerin sınır değerlerin altına düşmediğini gözlemiştir. Yine de, tüm bu konsantrasyonlarda farklı çimentolar için 7 günlük mukavemette %10 ve %20 azalmalar meydana gelmiştir. İleri ki günlerde yüzde değerlerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Genelde, düşük konsantrasyonlar prizi geciktirmiş, yüksek konsantrasyonlar ise prizi hızlandırmıştır. Ancak modern inceliğe sahip çimentolar için %0.024 ve %0.24 oranlarında geciktirici etkinin çok fazla olmayabileceği görülmüştür [20, 31].

Witt, yaptığı deneyler sonunda şu sonuçlara varmıştır:

- Düşük sodyum sülfür oranları prizi geciktirir fakat yüksek oranlar prizi hızlandırır. Çekme mukavemeti azalmıştır. Genelde demir oranı yüksek olan çimentolar en fazla etkilenmiştir.
- Priz etkisine bakıldığında sodyum sülfür çimentoyla reaksiyona girdiğinde düşük tuz oranı priz gecikmesine neden olur. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra priz malzeme artışıyla hızlanır. Bu hızlanma orijinal priz süresine ulaşılan kadar devam eder.

Renezeder sodyum sülfür çözeltilerinin çimento harç numuneleri üzerindeki etkisi konusunda bazı araştırmalar yürütmüştür [31]. Hem cüruflu hem de Portland çimentoları kullanmıştır. Farklı konsantrasyonlarda sodyum sülfür çözeltileri

kullanmıştır. Numuneleri bu çözeltiler içinde bekletmiştir. Aynı tip diğer numuneler de kıyaslama amacı için suda bekletilmiştir. 1 ay, 3 ay, 6 ay, 12 ay sonunda numuneler kırılmıştır. Sülfür çözeltilerinde bekletilen numunelerin değerleri, suda bekletilen numunelerin değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Ancak bir numune ilk birkaç hafta suda tutulur daha sonra sülfür çözeltisinde bekletilirse hiçbir kötü etki görülmez.

Renezeder, bu çalışmasında ayrıca şu sonuçlara varmıştır. Bu çalışmada ilk 60 gündeki numuneler kırılmıştır. Buradaki sonuçlar tüm çimentolara ait olmamasına rağmen sülfür çözeltisinin verilen bir çimento üzerindeki etkisini tahmin etmede bir rehber olabilir:

1.) Bir çimentonun priz süresi sodyum sülfür etkisinden dolayı büyük oranda değişebilir. Düşük konsantrasyonlarda priz gecikir. Fakat maksimum bir değere ulaştıktan sonra konsantrasyon arttıkça priz hızlanır. Genelde demir oranı yüksek olan çimentolar, bu etkiye en duyarlı, en hassas çimentolardır.

2.) Çekme mukavemetinde kararlı bir azalma vardır. Yüzde kaybı, sülfür konsantrasyonuna ve çimentonun demir oranına göre değişir. Numuneler renk dışında tamamen normaldirler. Herhangi bir çatlama veya çarpıklık görülmemiştir.

3.) Çoğu durumda sülfür çekme mukavemetini United States Government düzenlemelerinin altına düşürmeden litresinde 1 gr olan konsantrasyonlarda bulunabilir.

4.) Kesin sonuçlar, sodyum sülfürün çimentodaki demirle reaksiyona girerek kolloid meydana getirdiğini göstermiştir.

5.) Hem kimyasal, hem de fiziksel sonuçlara dayanarak çekme mukavemetindeki azalma şu şekilde açıklanabilir:

(a) Çökelen kolloid çimento boyunca soy malzemenin film tabakalarını oluşturur. Bu da kohezyona mani olur. Yani kohezyonu engeller.

(b) Kolloid çökeldiğinde çözünür kalsiyum hidroksitin bir kısmı çözeltiden uzaklaşır. Kalsiyum hidroksit çimento mukavemeti için çok önemli bir faktör olduğundan dolayı burada mukavemet düşecektir.

6.) Ayrıca birçok başka faktörler sülfürün çimento üzerindeki etkisini etkiler. Ör: çimentonun inceliği, karıştırmadaki sıcaklık, kullanılan su yüzdesi, çözünür kalsiyum hidroksit oranı.

1993 yılında Tayland'da Khon Kaen Üniversitesinde Saharat Buddhawanna tarafından yapılan “ The influence of sulfides on properties of Portland cement ” (Sülfürlerin Portland çimentosu özellikleri üzerindeki etkisi) isimli tezde amaç olarak sülfürlerin Portland çimentosu özelliklerine etkisi ele alınmıştır [35]. Normal kıvam, priz süresi ve çimento hamurunun terlemesi deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, basınç mukavemeti, çekme mukavemeti, kimyasal dayanıklılık, şişme ve rötre (boy değişimi) deneyleri yapılmıştır. Sodyum sülfür konsantrasyonu 0, 500, 1220, 2440, 4880, 12200 ve 73200 ppm olan karışım suları deneylerde kullanılmıştır. Bu çalışmada sodyum sülfür kullanılmıştır.

Bu çalışma sonunda şu sonuçlara varılmıştır:

- Özellikle yüksek sodyum sülfür konsantrasyonlarında çimento hamurunun normal kıvamında az bir azalma görülmüştür.
- Sodyum sülfür çimento hamurunun başlangıç ve bitiş priz sürelerini hızlandırmıştır.
- Çimento hamurunun terlemesine bakıldığında ise, 200–1000 ppm düşük konsantrasyonlarında sodyum sülfürün çimento hamurunun terlemesini azalttığı görülmüştür. Yüksek konsantrasyonlarda ise terleme, normal çimento hamurundaki terleme ile hemen hemen aynı düzeydedir.
- Mukavemet ve kimyasal dayanıklılığa bakıldığında ise sodyum sülfür hem basınç mukavemetini hem de harcın kimyasal dayanıklılığını azaltmıştır.
- Ayrıca sodyum sülfürün harcın şişme ve rötresini arttırdığı görülmüştür. Çünkü sülfür, çimento hamurundaki alüminyum oksitle reaksiyona girer ve bu reaksiyonun sonucunda etrenjit oluşur. Şişme ve rötredeki artmanın sebebi de budur.

2.3 Araştırmanın amacı ve gerekçesi

Beton ve harç üretiminde “ karışım suyu “ olarak kullanılacak suyun içerisinde bulunabilecek yabancı maddelerin en çok ne miktarda olabileceğine dair ilgili standartlarda farklı sınır değerleri verilmektedir. Bu nedenle çeşitli yabancı maddelerin karışım suyunda farklı bileşim parametrelerine bağlı olarak ne miktarda

bulunabileceği hususunda daha geniş bilgi birikimine ihtiyaç vardır. Bu konuda yapılacak kapsamlı çalışmalar sayesinde konunun daha ayrıntılı bilinmesi mümkün olacaktır.

Bu çalışmada karışım suyuna katılacak farklı oranlardaki magnezyum sülfat ($MgSO_4$), sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve sodyum sülfür (Na_2S) tuzlarının taze ve sertleşmiş çimento harçlarının özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2.4 Araştırmanın Kapsamı

Çimento türü PÇ 42.5 ve dozaj 400 kg/m^3 seçilmiştir. Agregada olarak maksimum tane boyutu 8 mm olan sürekli granülometrilik kum kullanılmıştır. Su/çimento oranları 0.60 ve 0.75 olan 2 tür harç üretilmiştir. $MgSO_4$ ile 1 lt su için 20.000 ppm (%2.0), 40.000 ppm (%4.0), 60.000 ppm (%6.0) ve 80.000 ppm (%8.0) çözeltileri, Na_2SO_4 ile 5.000 ppm (% 0.5), 10.000 ppm (%1.0), 20.000 ppm (%2.0) ve 30.000 ppm (%3.0) çözeltileri, Na_2S ile 50 ppm (%0.005), 100 ppm (%0.01), 200 ppm (%0.02) ve 300 ppm (%0.03) çözeltileri hazırlanmıştır ve karışım suyu olarak kullanılmıştır. Ayrıca kontrol için su ile şahit harçlar üretilmiştir. Böylece toplam $2 \times 13 = 26$ farklı karışımda harç üretilmiştir. Boy değişimi deneyleri ve diğer deneyler için $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ boyutlarında her bir karışım için toplam 8 adet numune üretilmiştir. Üretilen harçların işlenebilirlik özelliği sarsma tablası deneyi ile belirlenmiştir. Ayrıca taze harçların taze birim ağırlık değerleri ölçülmüş ve gerçek bileşim miktarları bulunmuştur. Öte yandan denenen kimyasal maddelerin priz sürelerine etkisini belirlemek için çimento hamurları hazırlanıp priz deneyleri (Vicat aleti ile) yapılmıştır. Her karışımda numunelerin 6 adedi $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 'lık su içinde deney gününe kadar saklanmıştır. Daha sonra bu numuneler üzerinde (2 adedi 7 gün, 2 adedi 28 gün ve 2 adedi 90 gün) birim ağırlık, ultrases, eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Boy değişim deneyi için 2 adet numune 20°C ve %50–60 rutubetli ortamda tutularak 90. güne kadar boy değişim ölçmeleri yapılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzemenin Tanımlanması

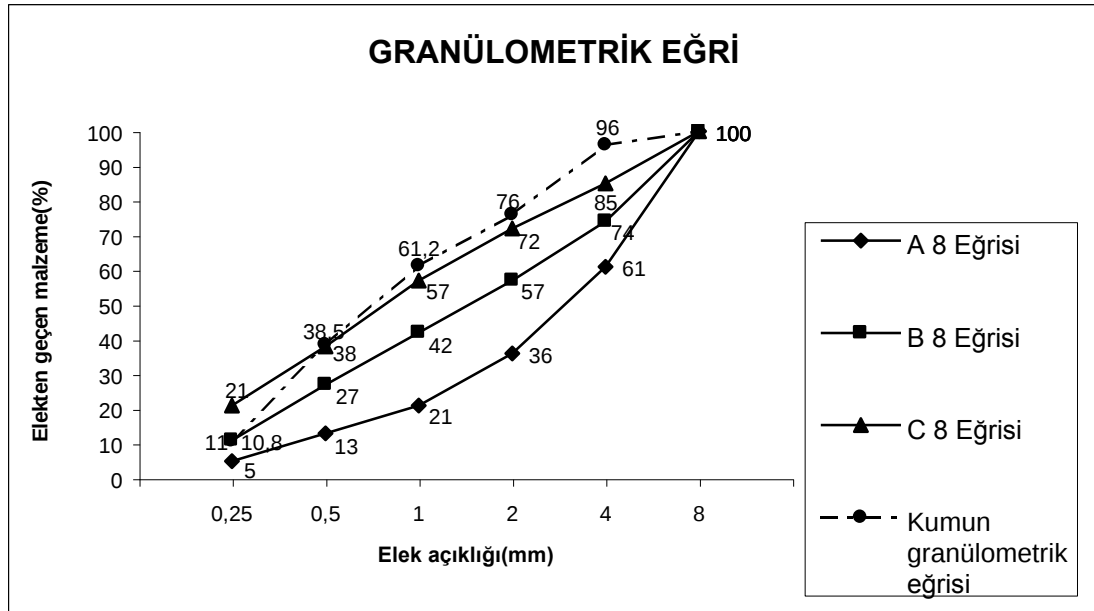
3.1.1 Kum

Üretilen harç numunelerinin tümünde agrega olarak maksimum tane boyutu 8 mm olan sürekli granülometrilik kum kullanılmıştır. Kumun T.S. 2717 [36]'ye göre yapılan elek analizi sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Kumun elek analizi sonuçları

	Elekten geçen (%)					
Elek göz açıklığı (mm)	8	4	2	1	0.5	0.25
Kum	100	96	76	61.2	38.5	10.8

Kumun elek analizi sonuçlarına göre çizilen granülometrik eğrisi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kumun granülometrik eğrisi

Kumun T.S. 3529'a göre ölçülmüş birim ağırlığı ve T.S. 3526'ya göre ölçülmüş özgül ağırlığı Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Kumun birim ağırlık ve özgül ağırlık ölçüm değerleri

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Birim ağırlık (gr/cm ³)
Kum	2.62	1.95

3.1.2 Çimento

Deneylerin tamamında Akçansa tarafından üretilmiş PÇ 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento kullanılmadan önce TS 24'e [37] göre fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve sonuçların TS 19'da [38] belirtilen PÇ 42.5 standardına uygunluğu tespit edilmiştir. TS 24'e göre bulunan fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Blaine özgül alanı	(m ² /kg)	352
200 µm elek üzerinde kalan	(%)	0.2
90 µm elek üzerinde kalan	(%)	2.0
Özgül ağırlık	(kg/m ³)	3150
Normal kıvam suyu	(%)	28
Le Chatelier Deneyi	Soğukta	1.7
(İğnelerin açılması, mm)	Sıcakta	0.7
	Toplam	2.4
Priz başlangıcı		3 saat
Priz sonu		4 saat 45 dakika

Çimento mekanik özelliklerinin tayininde, 450 gr çimento, 225 gr su ve özel granülometriye sahip kum karışımıyla oluşturulan harcın 4x4x16 cm boyutlarındaki Rilem kalıplarına yerleştirilerek elde edilen 6 adet numunenin 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

Yapılan deneylerde üçer numune kullanılarak elde edilen ortalama sonuçların TS.19'da belirtilen koşulları sağladığı görülmüştür.

Tablo 3.4 Çimentonun Mekanik Özellikleri

7. gün dayanımları	: Eğilme = 6.8 (N/mm ²)
	: Basınç = 48.3 (N/mm ²)
28. gün dayanımları	: Eğilme = 7.7 (N/mm ²)
	: Basınç = 57.3 (N/mm ²)

Afyon Çimento A.Ş.'nin laboratuvarlarında yapılan deneyler sonucunda PÇ 42.5'in kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.5 Çimentonun kimyasal özellikleri

Kızdırma Kaybı	(%) : 3.80	Cl	(%) : 0.03
Çözünmeyen Kalıntı	(%) : 0.80	ScaO	(%) : 0.70
SiO ₂	(%) : 19.17	C ₃ S	(%) : 64.71
Al ₂ O ₃	(%) : 4.65	C ₂ S	(%) : 16.14
Fe ₂ O ₃	(%) : 3.33	C ₃ A	(%) : 6.68
CaO	(%) : 62.11	C ₄ AF	(%) : 10.13
MgO	(%) : 1.28		
Na ₂ O	(%) : 0.00		
K ₂ O	(%) : 0.72		
SO ₃	(%) : 2.26		

3.1.3 Su

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'na şehir şebekesinden gelen çeşme suyu kullanılmıştır.

3.1.4 Magnezyum Sülfat Heptahidrat (MgSO₄.7H₂O)

Deneylerde Merck markalı magnezyum sülfat heptahidrat kullanılmıştır. Bu çalışmada esas alınan yüzdelere magnezyum sülfat (MgSO₄) için geçerli alınmıştır.

3.1.5 Sodyum Sülfat Anhidrat (Na_2SO_4)

Deneylerde Merck markalı sodyum sülfat anhidrat kullanılmıştır. Bu çalışmada esas alınan yüzdelere sodyum sülfat (Na_2SO_4) için geçerli alınmıştır.

3.1.6 Sodyum Sülfür Nonahidrat ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)

Deneylerde Merck markalı sodyum sülfür nonahidrat kullanılmıştır. Bu çalışmada esas alınan yüzdelere sodyum sülfür (Na_2S) için geçerli alınmıştır.

3.2 Harç Karışımları

Harç karışımında agrega olarak maksimum tane boyutu 8 mm olan sürekli granülometrilik kum kullanılmıştır. Su/çimento oranları 0.60 ve 0.75 olan 2 tür harç üretilmiştir. MgSO_4 ile 1 lt su için 20.000 ppm (%2.0), 40.000 ppm (%4.0), 60.000 ppm (%6.0) ve 80.000 ppm (%8.0) çözeltileri, Na_2SO_4 ile 5.000 ppm (%0.5), 10.000 ppm (%1.0), 20.000 ppm (%2.0) ve 30.000 ppm (%3.0) çözeltileri, Na_2S ile 50 ppm (%0.005), 100 ppm (%0.01), 200 ppm (%0.02) ve 300 ppm (%0.03) çözeltileri hazırlanmış ve harç üretimlerinde karışım suyu olarak kullanılmıştır. Ayrıca kontrol amacı için şahit su ile harçlar üretilmiştir. Böylece toplam $2 \times 13 = 26$ farklı seri üretim yapılmıştır. Her bir seride 8 adet numune üretilmiştir. Üretilen her farklı bileşimdeki harçların 1 m^3 'üne giren gerçek malzeme miktarları Tablo 3.6'da verilmiştir.

Aşağıda verilen harç karışımları iki farklı su/çimento oranı ile dökülmüştür. Kullanılan su/çimento oranları 0.60 ve 0.75'dir. Üretilen harçların simgeleri aşağıda gösterilmiştir:

- K : 400 dozlu kontrol harcı
- M1 : 400 dozlu, %2 magnezyum sülfat çözeltili harç
- M2 : 400 dozlu, %4 magnezyum sülfat çözeltili harç
- M3 : 400 dozlu, %6 magnezyum sülfat çözeltili harç
- M4 : 400 dozlu, %8 magnezyum sülfat çözeltili harç
- S1 : 400 dozlu, %0.5 sodyum sülfat çözeltili harç
- S2 : 400 dozlu, %1.0 sodyum sülfat çözeltili harç
- S3 : 400 dozlu, %2.0 sodyum sülfat çözeltili harç
- S4 : 400 dozlu, %3.0 sodyum sülfat çözeltili harç

N1 : 400 dozlu, %0.005 sodyum sülfür çözeltili harç

N2 : 400 dozlu, %0.01 sodyum sülfür çözeltili harç

N3 : 400 dozlu, %0.02 sodyum sülfür çözeltili harç

N4 : 400 dozlu, %0.03 sodyum sülfür çözeltili harç

Tablo 3.6 Kontrol harcı ve diğer harçların 1m³ için bileşimi ve taze harç özellikleri

Doz (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	Kum (kg)	C (kg)	E (kg)	Hava (%)	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Kompasite
400	0.60	K	1520	401	241	5.2	2162	0.707
		M1	1532	404	243	4.5	2179	0.712
		M2	1549	409	245	3.4	2203	0.721
		M3	1507	398	239	6.0	2143	0.701
		M4	1483	391	235	7.6	2109	0.689
		S1	1543	407	244	3.9	2195	0.717
		S2	1526	403	242	4.8	2170	0.710
		S3	1529	403	242	4.7	2174	0.711
		S4	1527	403	242	4.8	2172	0.710
		N1	1548	408	245	3.5	2201	0.720
		N2	1548	408	245	3.5	2201	0.720
		N3	1552	410	246	3.2	2207	0.722
		N4	1548	408	245	3.5	2201	0.720
	0.75	K	1458	410	307	0.7	2175	0.686
		M1	1465	412	309	0.1	2186	0.690
		M2	1466	412	309	0.1	2187	0.690
		M3	1460	410	308	0.5	2178	0.687
		M4	1463	411	308	0.3	2182	0.689
		S1	1462	411	308	0.4	2181	0.688
		S2	1455	409	307	0.8	2170	0.685
		S3	1460	410	308	0.5	2177	0.687
		S4	1443	406	304	1.7	2153	0.679
		N1	1467	412	309	0.1	2188	0.690
		N2	1467	412	309	0.1	2188	0.690
		N3	1466	412	309	0.1	2186	0.690
		N4	1466	412	309	0.1	2187	0.690

3.3 Harç Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Saklama, Numune Boyutları

Bütün harç üretimleri, paslanmaz çelikten yapılmış, kapasitesi 4.7 litre olan bir çimento mikserinde gerçekleştirilmiştir. Şahit ve diğer harç üretimleri aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir:

Harçların Üretimi

1.) Su, çimento mikserine konduktan sonra üzerine çimento konulmuştur. Karıştırıcı düşük hızda 30 sn çalıştırılmıştır. 30 sn sonunda kum karıştırma devam ederken yavaş yavaş katılmıştır. 1 dakika sonunda karıştırıcı yüksek hıza ayar edilerek harç 30 saniye daha karıştırılmıştır. Bu 90 saniyelik karıştırmadan sonra karıştırıcı durdurulmuştur. Karıştırıcı durduktan sonra 15 saniye içinde karıştırma kabının cidarlarına ve karıştırıcıya bulaşmış olan harç kauçuk başlı bir çubuk ile kabın içine kazınmıştır. Kabın üzeri örtülerek 75 saniye beklenmiştir. Bu süre sonunda karıştırıcı yüksek hızda yeniden bir dakika daha çalıştırılmıştır. Böylece toplam olarak 4 dakika sonra harç kalıplarına konulmak üzere hazır hale getirilmiştir.

2.) Dört dakikalık karıştırma süresi sonunda ilk olarak taze birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Bunun için 2 litrelik birim ağırlık kovası kullanılmıştır. Yayılma deneyi çapı 25 cm. olan sarsma tablası üzerinde yapılmıştır. Yayılma deneyi sarsma tablası üzerine konulmuş küçük çapı 78 mm., büyük çapı 84 mm ve yüksekliği 40 mm olan koniğin içine yerleştirilmiş harç üzerinde yapılmıştır. Sarsma tablası üzerinde 15 kez sarsılarak elde edilen yayılmanın çap değeri tespit edilmiştir.

3.) Yayılma ve taze birim ağırlık deneylerinde kullanılan harç tekrar karıştırıcıya konulmuş ve 60 sn yüksek hızda karıştırılmıştır. Taze harç 3 adet 4x4x16 cm.'lik kalıplara iki tabaka halinde dökülmüştür ve her tabaka için makinede çarpma suretiyle yerleştirme yapılmıştır.

Tüm harç üretimlerinde kalıplarına yerleştirilen harçlar bir gün boyunca üzeri hava ile temas etmesini önlemek amacıyla cam plaklarla kapalı bir şekilde karışımın gerçekleştirildiği ve sıcaklığı $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, nem oranı $\%60\pm 5$ olan laboratuvar odasında muhafaza edilmiş ve birinci gün sonunda kalıptan alınmıştır. Numunelerden 6 tanesi deney gününe kadar sıcaklığı $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ olan su havuzlarında saklanmıştır. 2 adet numune ise $\%60\pm 5$ nemli ortamda rötre deneyi gününe kadar açıkta bekletilmiştir. Bütün deneyler için hazırlanan numuneler 4x4x16 cm boyutlarındadır.

3.4 Deneylerin Tanımlanması, Yöntemler

3.4.1 Çimento Hamuru Deneyleri

TS 2987 esaslarına göre hazırlanan çimento hamurlarının priz başlangıç ve priz bitim süreleri otomatik vicat aygıtı kullanılarak belirlenmiştir.

3.4.2 Taze Harç Deneyleri

Harç karışımları hazırlandıktan sonra ilk olarak taze birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Deneyde 2 litrelik birim ağırlık kovası kullanılmıştır.

Sarsma tablası üzerinde yayılma deneyi yapılmıştır. Bu sayede harcın işlenebilme özelliği belirlenmiştir.

3.4.3 Sertleşmiş Harç Deneyleri

Sertleşmiş harçlar üzerinde 7, 28 ve 90. günlerde sırasıyla; sertleşmiş birim ağırlık, ultrases hızı, eğilme mukavemeti ve basınç mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 1, 7, 28 ve 90. günlerde sertleşmiş numuneler üzerinde rötre (boy değişimi) deneyi yapılmıştır.

Ultrases hızı deneyinde markası Pundit 6 (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital indicating Tester) olan ultrases cihazı kullanılmıştır.

Eğilme deneylerinde deney numunelerinin mesnet açıklığı 10 cm.'dir ve tekil yük açıklığının tam ortasından uygulanmıştır.

Basınç mukavemeti deneyleri, eğilme mukavemeti deneylerinden arta kalan parçalar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde deneylerden elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilecektir. Bunun yanında sertleşmiş harç deneylerinde uygulanan hesapların nasıl yapıldığı açıklanacaktır.

4.1 Çimento Hamuru Deney Sonuçları

Burada hazırlanan çimento hamurları üzerinde priz deneyleri yapılmıştır. Priz sürelerinin belirlenmesinde iki farklı karışım hazırlanmıştır. İlk karışımda şahit su ile hazırlanan çimento hamurunda bulunan normal kıvam su miktarı sabit tutulmuş, çözeltilerle hazırlanan farklı kıvamdaki hamurlarda priz süreleri ölçülmüştür. Diğer karışımda ise normal kıvam su miktarı deneyle belirlenmiş hamurlarda priz süreleri ölçülmüştür. Çimento hamurlarının priz deneyiyle elde edilen priz başlangıç ve bitim süreleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Burada harç ve çimento hamuru arasında notasyon karışıklığı olmaması için kodların yanına (*) simgesi konulmuştur.

Tablo 4.1 İlk karışımla hazırlanan çimento hamurlarının priz başlangıç ve bitim süreleri

Çimento Hamuru Türü	Normal Kıvam (%)	Priz Başlama Süresi		Priz Bitme Süresi	
		Saat	Dakika	Saat	Dakika
K(*)	28	3	00	4	45
M1(*)	28	2	35	4	10
M2(*)	28	3	10	5	10
M3(*)	28	2	25	4	15
M4(*)	28	3	50	6	5
S1(*)	28	2	30	4	25
S2(*)	28	2	40	4	35
S3(*)	28	2	20	4	15
S4(*)	28	2	22	4	42
N1(*)	28	2	10	5	10
N2(*)	28	2	00	4	30
N3(*)	28	2	50	5	55
N4(*)	28	2	32	5	17

Tablo 4.2 İkinci karışımla hazırlanan çimento hamurlarının priz başlangıç ve bitim süreleri

Çimento Hamuru Türü	Normal Kıvam (%)	Priz Başlama Süresi		Priz Bitme Süresi	
		Saat	Dakika	Saat	Dakika
K(*)	28	3	-	4	45
M1(*)	30	2	55	5	25
M2(*)	32	2	40	5	40
M3(*)	35	2	45	6	3
M4(*)	38	2	47	6	42
S1(*)	30	2	33	5	48
S2(*)	30	2	40	6	15
S3(*)	30	2	27	6	2
S4(*)	30	2	33	5	58
N1(*)	32	2	54	6	4
N2(*)	32	2	56	6	8
N3(*)	32	2	43	6	13
N4(*)	32	3	20	6	20

(*) Çimento hamuru olduğunu belirtmek için kullanılmıştır.

4.2 Taze Harç Deney Sonuçları

4.2.1 Taze birim ağırlık deneyi sonuçları

Taze harç özellikleri Tablo 3.6’da harç bileşimiyle birlikte gösterilmiştir. Burada harç karışımı içerisindeki gerçek malzeme miktarları ve hava boşluğu yüzdeleri taze birim hacim ağırlığı sonuçlarından faydalanılarak hesapla bulunmuştur.

4.2.2 Yayılma deneyi sonuçları

Yayılma deneyi sonuçları, Tablo 4.3 ’de verilmiştir.

4.3 Sertleşmiş Harç Deney Sonuçları

Üretilen harç numunelerinin 7, 28 ve 90. gün sertleşmiş birim ağırlık, basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, ultrases hızı ve rötre(boy değişimi) değerleri sırasıyla Tablo 4.4, Tablo 4.6, Tablo 4.8, Tablo 4.10 ve Tablo 4.12’de toplu olarak verilmiştir. Ayrıca bu değerlerin oranlanarak yüzde cinsinden rölatif değerleri de Tablo 4.5, Tablo 4.7, Tablo 4.9, Tablo 4.11 ve Tablo 4.13’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.3 Yayılma değerleri

Doz (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	Yayılma Değerleri (cm)	Yayılma Değerleri (%)
400	0.60	K	12.10	100
		M1	9.65	80
		M2	9.40	78
		M3	8.40	69
		M4	8.40	69
		S1	11.30	93
		S2	10.85	90
		S3	10.40	86
		S4	10.15	84
		N1	11.20	93
		N2	11.55	95
		N3	11.40	94
		N4	10.65	88
	0.75	K	17.45	100
		M1	15.95	91
		M2	14.35	82
		M3	12.70	73
		M4	12.40	71
		S1	15.55	89
		S2	16.25	93
		S3	16.45	94
		S4	16.75	96
		N1	16.10	92
		N2	17.25	99
		N3	17.90	103
		N4	16.40	94

4.3.1 Sertleşmiş birim ağırlık deneyi sonuçları

Sertleşmiş birim ağırlık değerleri, deneyden önceki numune ağırlıklarının numune hacmine bölünmesiyle bulunmuştur.

Sertleşmiş birim ağırlık mutlak sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 400 dozlu harçlarda sertleşmiş birim ağırlık değerleri (mutlak)

Dozaj (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	SERTLEŞMİŞ BİRİM AĞIRLIK (Δ)		
			(kg/m ³)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	2248	2289	2348
		M1	2292	2334	2348
		M2	2277	2299	2357
		M3	2264	2325	2330
		M4	2120	2235	2263
		S1	2253	2273	2294
		S2	2239	2246	2312
		S3	2291	2322	2368
		S4	2245	2257	2307
		N1	2275	2286	2292
		N2	2285	2296	2327
		N3	2277	2314	2324
		N4	2275	2304	2311
	0.75	K	2205	2301	2329
		M1	2213	2252	2303
		M2	2231	2300	2328
		M3	2252	2317	2331
		M4	2262	2280	2299
		S1	2308	2313	2331
		S2	2311	2348	2392
		S3	2268	2281	2300
		S4	2286	2308	2360
		N1	2269	2290	2311
		N2	2295	2315	2356
		N3	2263	2302	2315
		N4	2260	2287	2332

Sertleşmiş birim ağırlık oranlanmış sonuçları ise Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5 400 dozlu harçlarda sertleşmiş birim ağırlık değerleri (oranlanmış)

Dozaj (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	SERTLEŞMİŞ BİRİM AĞIRLIK (Δ)		
			(%)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	98	100	103
		M1	100	102	103
		M2	99	101	103
		M3	99	102	102
		M4	93	98	99
		S1	98	99	100
		S2	98	98	101
		S3	100	101	103
		S4	98	99	101
		N1	99	100	100
		N2	100	100	102
		N3	99	101	102
		N4	99	101	101
	0.75	K	96	100	101
		M1	96	98	100
		M2	97	100	101
		M3	98	101	101
		M4	98	99	100
		S1	100	101	101
		S2	100	102	104
		S3	99	99	100
		S4	99	100	103
		N1	99	100	100
		N2	100	101	102
		N3	98	100	101
		N4	98	99	101

4.3.2 Basınç mukavemeti sonuçları

Basınç mukavemeti deneylerinin değerlendirilmesinde mukavemetten bilinen basit gerilme formülü kullanılarak sonuçlar (N/mm^2) cinsinden hesaplanmıştır. Basınç mukavemeti mutlak sonuçları aşağıda Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6 400 dozlu harçlarda basınç mukavemeti değerleri (mutlak)

Dozaj (kg/m^3)	E/C	Harç Türü	BASINÇ MUKAVEMETİ (N/mm^2)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	36.5	46.1	48.4
		M1	39.6	46.1	51.7
		M2	39.9	46.6	52.2
		M3	32.8	48.5	51.5
		M4	20.4	27.9	34.3
		S1	37.6	45.9	46.0
		S2	34.7	42.6	45.7
		S3	32.1	40.1	40.7
		S4	31.0	37.8	41.6
		N1	38.0	43.1	48.5
		N2	38.7	45.9	50.4
		N3	39.3	47.6	51.4
		N4	39.2	46.7	48.1
	0.75	K	23.4	36.1	43.3
		M1	24.3	34.7	44.2
		M2	25.2	36.1	41.4
		M3	21.6	34.3	39.7
		M4	17.7	34.5	38.9
		S1	24.6	33.6	37.6
		S2	24.6	31.0	39.4
		S3	24.1	30.3	35.5
		S4	23.8	29.1	33.4
		N1	25.8	35.4	37.7
		N2	26.8	34.4	39.7
		N3	26.2	33.0	39.3
		N4	25.5	33.7	40.7

Basınç mukavemeti oranlanmış sonuçları ise Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 400 dozlu harçlarda basınç mukavemeti değerleri (oranlanmış)

Dozaj (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	BASINÇ MUKAVEMETİ (%)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	79	100	105
		M1	86	100	112
		M2	86	101	113
		M3	71	105	112
		M4	44	61	74
		S1	82	100	100
		S2	75	92	99
		S3	70	87	88
		S4	67	82	90
		N1	83	93	105
		N2	84	100	110
		N3	85	103	112
		N4	85	101	104
	0.75	K	65	100	120
		M1	67	96	123
		M2	70	100	115
		M3	60	95	110
		M4	49	96	108
		S1	68	93	104
		S2	68	86	109
		S3	67	84	98
		S4	66	81	92
		N1	72	98	104
		N2	74	95	110
		N3	73	91	109
		N4	71	93	113

4.3.3 Eğilme mukavemeti sonuçları

Eğilme mukavemeti sonuçları (N/mm^2) cinsinden hesaplanmıştır. Eğilme mukavemeti mutlak sonuçları aşağıda Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 400 dozlu harçlarda eğilme mukavemeti değerleri (mutlak)

Dozaj (kg/m^3)	E/C	Harç Türü	EĞİLME MUKAVEMETİ (N/mm^2)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	6.1	6.7	7.3
		M1	6.6	6.8	7.6
		M2	6.3	6.8	7.3
		M3	6.3	6.9	7.2
		M4	3.9	5.2	5.8
		S1	6.6	7.3	7.7
		S2	7.0	7.1	7.4
		S3	6.4	6.7	7.0
		S4	5.5	6.2	6.5
		N1	6.5	6.7	7.1
		N2	7.2	7.7	8.0
		N3	6.5	7.3	7.6
		N4	6.2	6.8	7.2
	0.75	K	4.9	6.7	6.8
		M1	4.5	6.4	7.4
		M2	4.3	6.0	6.8
		M3	5.2	6.4	6.9
		M4	4.3	5.8	6.4
		S1	6.0	6.8	7.3
		S2	5.9	6.4	6.7
		S3	5.7	6.4	6.7
		S4	5.4	5.8	6.1
		N1	5.0	6.4	6.7
		N2	5.4	5.6	6.1
		N3	5.0	5.9	6.2
		N4	5.3	5.6	6.0

Eğilme mukavemeti oranlanmış sonuçları ise Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9 400 dozlu harçlarda eğilme mukavemeti değerleri (oranlanmış)

Dozaj (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	EĞİLME MUKAVEMETİ (%)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	92	100	110
		M1	99	102	114
		M2	95	102	110
		M3	92	103	108
		M4	58	79	87
		S1	100	110	115
		S2	105	107	111
		S3	96	101	105
		S4	83	94	97
		N1	98	101	107
		N2	108	116	121
		N3	97	110	115
		N4	93	102	108
	0.75	K	73	100	101
		M1	66	95	111
		M2	64	89	101
		M3	77	95	103
		M4	64	86	96
		S1	90	101	108
		S2	88	95	100
		S3	84	96	99
		S4	80	87	90
		N1	75	95	100
		N2	81	84	91
		N3	74	87	92
		N4	80	84	89

4.3.4 Ultrases hızı sonuçları

Ultrases deneyinin sonucunda numune içinden geçen sesin hızı bulunmuştur. Ultrases hızı mutlak sonuçları aşağıda Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10 400 dozlu harçlarda ultrases hızı değerleri (mutlak)

Dozaj (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	ULTRASES HIZI (km/sn)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	4.1	4.3	4.4
		M1	4.2	4.4	4.5
		M2	4.2	4.3	4.5
		M3	4.2	4.3	4.5
		M4	4.0	4.3	4.4
		S1	4.1	4.3	4.4
		S2	4.1	4.2	4.3
		S3	4.2	4.4	4.4
		S4	4.1	4.3	4.4
		N1	4.0	4.2	4.4
		N2	4.1	4.2	4.3
		N3	4.1	4.3	4.3
		N4	4.1	4.2	4.3
	0.75	K	4.0	4.2	4.3
		M1	3.8	4.2	4.4
		M2	3.8	4.1	4.3
		M3	3.8	4.1	4.2
		M4	3.6	4.0	4.2
		S1	3.9	4.2	4.2
		S2	3.9	4.1	4.3
		S3	4.0	4.2	4.3
		S4	4.0	4.2	4.2
		N1	3.9	4.0	4.2
		N2	3.8	4.1	4.2
		N3	3.9	4.1	4.2
		N4	3.8	4.1	4.2

Ultrases hızı oranlanmış sonuçları ise Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11 400 dozlu harçlarda ultrases hızı değerleri (oranlanmış)

Dozaj (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	ULTRASES HIZI (%)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	95	100	102
		M1	97	102	104
		M2	99	100	104
		M3	99	101	105
		M4	94	100	103
		S1	97	101	102
		S2	96	99	101
		S3	97	102	103
		S4	96	101	102
		N1	94	99	102
		N2	96	98	100
		N3	95	100	101
		N4	96	98	100
	0.75	K	94	100	102
		M1	91	101	104
		M2	91	98	102
		M3	91	97	100
		M4	86	95	99
		S1	94	100	101
		S2	94	97	102
		S3	95	99	102
		S4	95	99	99
		N1	92	96	101
		N2	91	98	101
		N3	92	98	99
		N4	91	98	99

4.3.5 Rötire (Boy değışimi) sonuçları

Rötire deneyi sonuçlarının değeriendirilmesinde Δl (mm) olarak bulunan boy değışimi değeri numune boyu değeriine bölünerek ϵ değeri bulunmuştur. Rötire değeri mutlak sonuçları aşağıda Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12 400 dozlu harçlarda rötire değeri (mutlak)

Dozaj (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	RÖTİRE DEĞERLERİ (ϵ) ($\times 10^{-9}$)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	4219	7500	7500
		M1	4844	7813	8125
		M2	6719	9375	9375
		M3	7031	9844	10313
		M4	7188	10313	11250
		S1	5000	7969	8438
		S2	5156	7344	8438
		S3	4375	6563	7969
		S4	4688	6406	8281
		N1	4844	6406	7500
		N2	4375	6563	7344
		N3	3281	6406	6719
		N4	3594	7656	8125
	0.75	K	5938	7656	7813
		M1	5469	8281	8438
		M2	7969	10625	10625
		M3	8125	11094	11875
		M4	8281	12656	14063
		S1	4375	7813	8438
		S2	4219	5938	6406
		S3	4688	7031	7188
		S4	4375	8906	9219
		N1	4688	5938	7031
		N2	4375	6094	7344
		N3	3125	6875	7656
		N4	3438	6250	6875

Rötre değeri oranlanmış sonuçları ise Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13 400 dozlu harçlarda rötre değerleri (oranlanmış)

Dozaj (kg/m ³)	E/C	Harç Türü	RÖTRE DEĞERLERİ (ε) (%)		
			7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
400	0.60	K	56	100	100
		M1	65	104	108
		M2	90	125	125
		M3	94	131	138
		M4	96	138	150
		S1	67	106	113
		S2	69	98	113
		S3	58	88	106
		S4	63	85	110
		N1	65	85	100
		N2	58	88	98
		N3	44	85	90
		N4	48	102	108
	0.75	K	78	100	102
		M1	71	108	110
		M2	104	139	139
		M3	106	145	155
		M4	108	165	184
		S1	57	102	110
		S2	55	78	84
		S3	61	92	94
		S4	57	116	120
		N1	61	78	92
		N2	57	80	96
		N3	41	90	100
		N4	45	82	90

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, bölüm 4'te verilen çimento hamuru deney sonuçları, taze ve sertleşmiş harç deney sonuçları değerlendirilecek ve irdelenecektir.

5.1 Çimento Hamuru Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Priz sürelerinin belirlenmesinde iki farklı karışım kullanılmıştı. Priz başlama ve bitim süreleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de gösterilmişti.

Burada iki farklı karışım ve her farklı tuz çözeltili çimento hamurları için priz süreleri deneyi sonuçları irdelenecektir. Ancak priz süreleri deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde ikinci karışımında bulunan sonuçlar esas alınacaktır. Çünkü ilk karışımında belirlenen şahit su normal kıvamı, tuz çözeltili çimento hamurlarının gerçek normal kıvamı değildir. Burada iki farklı karışım kullanılmasının sebebi farklı sonuçlar görebilmek ve karşılaştırma yapabilmektir. Priz süreleri deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde eklerde bulunan Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 dan faydalanılmıştır. İlk olarak ilk karışım esas alınarak hazırlanan çimento hamurlarının priz süreleri deneyi sonuçları irdelenecektir.

Normal Kıvam %28 ve magnezyum sülfat çözeltili çimento hamurlarında durum şu şekildedir: %2 $MgSO_4$ ve %6 $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarında priz kontrole oranla hızlanmıştır. Diğer konsantrasyonlarda ise priz kontrole oranla gecikmiştir. Buradaki farklı davranışın sebebi çimento hamurlarının gerçek normal kıvamlarında olmaması olarak yorumlanabilir.

Normal Kıvam %28 ve sodyum sülfat çözeltili çimento hamurlarında durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda priz kontrole oranla hızlanmıştır. Yani priz daha erken başlamış ve daha erken sona ermiştir. Aynı şekilde burada da çimento hamurları gerçek normal kıvamlarında değildir, bundan dolayı da sonuçlarda farklılıklar görülmüştür.

Normal Kıvam %28 ve sodyum sülfür çözeltili çimento hamurlarında durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda priz kontrole oranla erken başlamıştır. %0.01 Na₂S konsantrasyonu haricinde priz kontrole oranla geç sona ermiştir.

İkinci karışımda ise her farklı tuz çözeltili çimento hamurlarının normal kıvam yüzdeleri ayrı ayrı bulunmuştur. Burada da her farklı tuz çözeltili çimento hamurlarının priz süreleri ayrı ayrı irdelenecektir.

Magnezyum sülfat çözeltili çimento hamurlarında durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda priz, kontrole oranla erken başlamış ve kontrole oranla geç sona ermiştir. Konsantrasyon arttıkça gecikme de artmıştır. Bunun sebebi olarak bir katyon olan Mg⁺² iyonunun çimento hamurundaki Ca⁺² iyonunun ve diğer anyonların da (alüminat ve silikatlar) çözünürlüğünü etkilemiş olduğu söylenebilir.

Sodyum sülfat çözeltili çimento hamurlarında durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda priz kontrole oranla erken başlamış, geç sona ermiştir. Sodyum sülfatın priz bitme süresine etkisi magnezyum sülfatta olduğu gibidir. Ancak magnezyum sülfatın prizi daha fazla etkilediği görülmüştür. Bunun sebebi de yüksek konsantrasyonlarda magnezyum sülfatın bulunması ve bundan dolayı Ca⁺² iyonunun çözünürlüğünün daha fazla etkilenmesi olarak yorumlanabilir.

Sodyum sülfür çözeltili çimento hamurlarında durum şu şekildedir: %0.03 Na₂S konsantrasyonu haricinde diğer konsantrasyonlarda priz kontrole oranla erken başlamıştır. Tüm konsantrasyonlarda priz kontrole oranla geç sona ermiştir.

Sonuçlardan görüldüğü üzere tüm sülfatlarda genelde priz kontrole oranla erken başlamış ancak geç sona ermiştir. Sodyum sülfürde de aynı durum gözlenmiştir. O halde magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum sülfürün priz başlama süresini hızlandırdığı, priz bitme süresini geciktirdiği söylenebilir.

5.2 Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1 Taze Birim Ağırlık Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Taze birim ağırlık deney sonuçları, her farklı E/C ve her farklı tuz çözeltili harçlar için ayrı ayrı irdelenecektir. Taze birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesinde eklerde bulunan Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 den faydalanılmıştır.

$E/C=0.60$ ve magnezyum sülfat çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: %4 $MgSO_4$ (M2) konsantrasyonuna kadar taze birim ağırlık değerleri kontrole oranla artmıştır. Bu konsantrasyon değerinden sonra ise taze birim ağırlık değerlerinde kontrole oranla ortalama %2 azalma meydana gelmiştir.

$E/C=0.60$ ve sodyum sülfat çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: %1 Na_2SO_4 (S2) konsantrasyonunda taze birim ağırlık değeri kontrol değeri ile aynı çıkmıştır. Diğer konsantrasyonlarda taze birim ağırlık değerlerinde kontrole oranla artma gözlenmiştir. Bu artma değeri düşük olup ortalama %1-2 civarlarında olmuştur. Buradan sodyum sülfatın taze birim ağırlığı çok fazla etkilemediği görülmüştür.

$E/C=0.60$ ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda taze birim ağırlık değeri kontrole oranla artmış ve bu artma %2 olmuştur.

Şekillere toplu olarak bakıldığında $E/C=0.75$ durumunda da taze birim ağırlık değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak tuzların taze birim ağırlık değerini çok fazla etkilemediği, sadece ortalama %2-%3 civarında artırdığı veya azalttığı söylenebilir.

5.2.2 Yayılma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yayılma deney sonuçları, her farklı E/C ve her farklı tuz çözeltili harçlar için ayrı ayrı irdelenecektir. Yayılma deney sonuçlarının değerlendirilmesinde eklerde bulunan Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 den faydalanılmıştır.

$E/C=0.60$ ve magnezyum sülfat çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda yayılma değerleri kontrole oranla azalmıştır. Bu azalma konsantrasyon arttıkça fazla olmuştur. Yayılma değerlerinde ortalama %30 azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi konsantrasyon arttıkça harcın kıvamının katılaşması ve bundan dolayı az yayılması olarak yorumlanabilir.

$E/C=0.60$ ve sodyum sülfat çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda yayılma değerleri kontrole oranla azalmıştır. Konsantrasyon arttıkça bu azalmada fazlalaşmıştır. Sodyum sülfatlı harçlarda yayılma değerlerindeki azalmanın magnezyum sülfatlı yayılma değerlerindeki azalmadan düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi magnezyum sülfatın daha yüksek konsantrasyonlarda

bulunması, magnezyum sülfatın harcın kıvamını daha fazla katılaştırması olarak yorumlanabilir.

$E/C=0.60$ ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda yayılma değerleri kontrole oranla azalmıştır. Burada yayılma değerlerindeki azalma da sodyum sülfatlı harçların yayılma değerlerindeki azalma gibi düşük olmuştur.

$E/C=0.75$ ve magnezyum sülfat çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda yayılma değerlerinde kontrole oranla azalma görülmüştür. Buradaki azalmaların $E/C=0.60$ durumundaki azalmalardan düşük olduğu görülmüştür.

$E/C=0.75$ ve sodyum sülfat çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: Tüm konsantrasyonlarda yayılma değerlerinde kontrole oranla azalma görülmüştür. Buradaki azalmaların $E/C=0.60$ durumundaki azalmalardan düşük olduğu görülmüştür.

$E/C=0.75$ ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda durum şu şekildedir: %0.02 Na_2S (S3) konsantrasyonunda yayılma değerinde kontrole oranla %3 artma meydana gelmiştir. Diğer konsantrasyonlarda yayılma değerleri kontrole oranla azalmıştır.

Sonuç olarak magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum sülfürün yayılma değerlerini azalttığı söylenebilir. Sodyum sülfürün yayılma değerlerini az etkilemesi Na_2S konsantrasyonunun düşük olmasına bağlanabilir.

5.3 Sertleşmiş Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sertleşmiş harç deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Bölüm 4'te verilen ilgili tablolardan faydalanılmıştır ve çizilen şekillerle birlikte irdeleme yapılmıştır.

5.3.1 Sertleşmiş birim ağırlık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Sertleşmiş birim ağırlık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.4'de verilen 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleriyle, Tablo 4.5'de verilen 7, 28 ve 90 günlük kontrole oranlanmış sertleşmiş birim ağırlık değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerden faydalanılarak çizilen ve eklerde bulunan Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 den yararlanılarak irdeleme yapılmıştır.

Şekillere toplu olarak bakıldığında tuzların sertleşmiş birim ağırlık değerlerini çok fazla etkilemediği belirlenmiştir. Tuzların sertleşmiş birim ağırlık değerlerini ortalama %2-%3 civarında artırdığı görülmüştür. Tüm tuzların 7 günden 90 güne doğru sertleşmiş birim ağırlık değerlerini artırdığı gözlenmiştir.

5.3.2 Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.6’da verilen 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleriyle, Tablo 4.7’de verilen 7, 28 ve 90 günlük kontrole göre oranlanmış basınç mukavemeti değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerden faydalanılarak çizilen ve eklerde bulunan Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30 dan yararlanılarak irdeleme yapılmıştır. Burada da basınç mukavemeti sonuçları her farklı E/C ve her farklı tuz çözeltisi harçlar için ayrı ayrı irdelenecektir.

E/C=0.60 ve magnezyum sülfat çözeltisi harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti %4 $MgSO_4$ (M2) konsantrasyonuna kadar kontrole oranla artmıştır. Bu konsantrasyon değerinden sonra kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir. %8 $MgSO_4$ (M4) konsantrasyonunda kontrole oranla %35 azalma meydana gelmiştir. Burada %4 $MgSO_4$ (M2) konsantrasyonuna kadar basınç mukavemeti artmasının nedeni literatürde de belirtildiği üzere çimentoda dayanımı etkileyen iki önemli bileşen C_3S ve C_2S ‘in hidrasyonu sonucunda oluşan C-S-H jelinin varlığı olabilir. Ayrıca literatürde belirtildiği üzere, çimento hamurundaki boşluklar mukavemeti artırıcı kristallerle dolar. C-S-H jeli çimento hamurunun mukavemet kazanmasında ana etkidir. %4 $MgSO_4$ (M2) konsantrasyonuna kadar C-S-H jelinin yapısı çözülmemiştir. %4 $MgSO_4$ (M2) konsantrasyon değerinden sonra basınç mukavemetindeki %30-%35 azalmanın sebebi magnezyum sülfatın C-S-H jelini çözerek çimento hamuru için kuvvetli bir olumsuz etki meydana getiren M-S-H (magnezyum silika hidrat) jelini oluşturması ve alçıtaşı oluşumunun artmasıdır. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti sonuçlarında ise %6 $MgSO_4$ (M3) konsantrasyonuna kadar kontrole oranla artma görülmüştür. Burada %6 $MgSO_4$ (M3) konsantrasyonuna kadar basınç mukavemetindeki artmanın sebebi yaş faktörü olabilir. Ayrıca literatürde belirtildiği üzere sülfat etkisi uzun süreli olduğundan 28 ve 90 günlük numunelerde basınç mukavemetinin %6 $MgSO_4$ (M3) konsantrasyonundan sonra azaldığı görülmektedir.

$E/C=0.60$ ve sodyum sülfat çözeltili harçlarda 7 ve 28 günlük basınç mukavemeti sonuçları, %0.5 Na_2SO_4 (S1) konsantrasyonundan sonra kontrole oranla azalmıştır. Bunun sebebi etrenjit oluşumunun artması ve oluşan etrenjitin mukavemeti azaltması olarak yorumlanabilir. Sodyum sülfatın çimento hamurundaki C-S-H jellerini ayrıştırmadığından dolayı magnezyum sülfata oranla mukavemeti az etkilediği görülmüştür. Ancak magnezyum sülfata oranla sodyum sülfat düşük konsantrasyonlarda basınç mukavemetini olumsuz etkilemiştir. Magnezyum sülfat ise yüksek konsantrasyonlarda olumsuz etki göstermiştir. 90 günlük basınç mukavemeti sonuçları tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla azalmıştır. Çimentonun kimyasal bileşimine bakıldığında C_3A yüzdesinin %5'den fazla olmasının da sülfat etkisinin belirgin bir şekilde meydana gelmesine neden olduğu söylenebilir.

$E/C=0.60$ ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla artmıştır. Bunun sebebi literatür [39]'da belirtildiği gibi Na^{+1} iyonunun erken yaşlarda mukavemeti artırması olarak yorumlanabilir. 28 günlük basınç mukavemeti sonuçlarında ise %0.005 Na_2S (N1) konsantrasyonunda kontrole oranla azalma görülmüştür. % 0.02 Na_2S (N3) ve %0.03 Na_2S (N4) konsantrasyonlarında ise kontrole oranla artma görülmüştür. %0.01 Na_2S (N2) konsantrasyonunda ise basınç mukavemeti kontrol değeri ile aynı çıkmıştır. 90 günlük basınç mukavemeti sonuçlarında ise %0.005 Na_2S (N1) konsantrasyonunda mukavemet değeri kontrol değeri ile aynı çıkmıştır. %0.01 Na_2S (N2) ve %0.02 Na_2S (N3) konsantrasyonlarında basınç mukavemeti değeri kontrole oranla artmıştır. %0.03 Na_2S (N4) konsantrasyonunda ise basınç mukavemeti kontrole oranla azalmıştır. Burada farklı sonuçların çıkmasının sebebi su/çimento oranının yüksek olması ve sodyum sülfürün düşük miktarları olarak yorumlanabilir.

$E/C=0.75$ ve magnezyum sülfat çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti $E/C=0.60$ durumunda olduğu gibi %4 $MgSO_4$ (M2) konsantrasyon değerinden sonra kontrole oranla azalmıştır. Aynı şekilde sebepler $E/C=0.60$ durumunda olduğu gibi yorumlanabilir. Literatürde ayrıca su/çimento oranı 0.60 ve 0.60 'dan sonraki durumlarda çimento hamurunda kapiler boşlukların çok fazla olduğu belirtilmiştir. 28 günlük basınç mukavemeti sonuçlarında ise bütün konsantrasyonlarda kontrole oranla artma görülmemiştir. 90 günlük basınç mukavemeti sonuçlarında %2 $MgSO_4$ (M1) konsantrasyonuna kadar kontrole oranla artma görülmüştür. Bu konsantrasyon

değerinden sonra basınç mukavemeti kontrole oranla azalmıştır. Ancak buradaki azalma $E/C=0.60$ 'da olduğu gibi büyük oranlarda görülmemiştir. Burada $E/C=0.75$ olmasının sonuçların farklı çıkmasında en önemli etken olduğu söylenebilir. $E/C=0.60$ ve $E/C=0.75$ durumlarına bakıldığında $E/C=0.60$ durumunda basınç mukavemetindeki artma ve azalmaların, $E/C=0.75$ durumundaki artma ve azalmalardan yüksek olduğu gözlenmiştir.

$E/C=0.75$ ve sodyum sülfat çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti sonuçları tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla artmıştır. Bu artma değeri ortalama %2 olmuştur. Artmanın sebebi sıcaklık, nem, çimentonun kimyasal bileşimi vb. olarak yorumlanabilir. Ayrıca sülfat etkisi uzun süreli bir etki olduğundan dolayı erken yaşlarda etrenjit oluşumunun fazla olmaması olarak da yorumlanabilir. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti sonuçlarında tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla azalma görülmüştür. Bunun sebebi NaOH çözünmesiyle gittikçe alçıtaşı ve etrenjit oluşumunun artması, alçıtaşı ve etrenjit oluşumunun şişmeye neden olması olarak yorumlanabilir.

$E/C=0.75$ ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla artmıştır. Bunun sebebi $E/C=0.60$ durumunda olduğu gibi Na^{+1} iyonunun erken yaşlarda mukavemeti artırması olarak yorumlanabilir. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti sonuçlarında ise tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla azalma meydana gelmiştir. Azalmanın sebebi ise literatür [39]'da belirtildiği gibi Na^{+1} iyonunun geç yaşlarda mukavemeti düşürmesi olarak yorumlanabilir.

Sonuç olarak magnezyum sülfat çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti değerlerinin şartnamelerde yer alan standart değeri olan %4 $MgSO_4$ konsantrasyon değerinden sonra azaldığı görülmüştür. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerlerinde ise %6 $MgSO_4$ konsantrasyon değerinden sonra azalma meydana gelmiştir. Sodyum sülfat çözeltili harçlarda düşük konsantrasyonlarda basınç mukavemeti değerlerinin azaldığı görülmüştür. Magnezyum sülfat çözeltili harçlarda ise azalma değerleri yüksek konsantrasyonlarda meydana gelmiştir. Ancak yüksek konsantrasyonlarda azalma değerleri, sodyum sülfattaki azalma değerlerine oranla büyük olmuştur. Sodyum sülfür çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti değerleri tüm konsantrasyonlarda artmıştır. Bunun sebebi Na^{+1} iyonunun erken yaşlarda mukavemeti artırması olarak yorumlanabilir. 28 ve 90 günlük basınç

mukavemeti deęerlerindeki azalmanın sebebi Na^{+1} iyonunun geç yařlarda mukavemeti dūřürmesi olarak yorumlanabilir.

5.3.3 Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Eęilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde;Tablo 4.8’de verilen 7, 28 ve 90 gūnlük eğilme mukavemeti değerleriyle, Tablo 4.9’da verilen 7, 28 ve 90 gūnlük kontrole göre oranlanmış eğilme mukavemeti değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerden faydalanılarak çizilen ve eklerde bulunan şekil 5.31, şekil 5.32, şekil 5.33, şekil 5.34, şekil 5.35 ve şekil 5.36 dan yararlanılarak irdeleme yapılmıştır.

Genelde eğilme mukavemeti etkileri, basınç mukavemeti etkilerine benzer şekilde olmaktadır. Ancak belli başlı farklar şu şekilde olmaktadır:

- $E/C=0.60$ durumunda sodyum sūlfat dūřūk konsantrasyonlarda eęilme mukavemetini artırmıştır.
- $E/C=0.60$ durumunda sodyum sūlfūr çözeltili harçlarda genelde tūm konsantrasyonlarda 7, 28 ve 90 gūnlük eęilme mukavemeti deęerleri artmıştır.
- $E/C=0.75$ durumunda magnezyum sūlfat çözeltili harçlarda %4 MgSO_4 konsantrasyon deęerine kadar 7 gūnlük eęilme mukavemetinde azalma grūlmūřtur.
- $E/C=0.75$ durumunda sodyum sūlfat çözeltili harçlarda 28 ve 90 gūnlük eęilme mukavemeti deęerlerinde %0.5 Na_2SO_4 konsantrasyon deęerine kadar artma meydana gelmiř, bu konsantrasyon deęerinden sonra ise azalmalar olmuřtur.

5.3.4 Ultrases hızı deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Ultrases hızı deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde;Tablo 4.10’da verilen 7, 28 ve 90 gūnlük ultrases hızı değerleriyle, Tablo 4.11’de verilen 7, 28 ve 90 gūnlük kontrole göre oranlanmış ultrases hızı değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerden faydalanılarak çizilen ve eklerde bulunan şekil 5.37, şekil 5.38, şekil 5.39, şekil 5.40, şekil 5.41 ve şekil 5.42 den yararlanılarak irdeleme yapılmıştır.

řekillere toplu olarak bakıldığında magnezyum sūlfat, sodyum sūlfat ve sodyum sūlfūr çözeltili harçlarda ultrases hızı deęerlerinin çok fazla deęiřmedięi grūlmūřtur. Genelde magnezyum sūlfat ve sodyum sūlfatın ultrases hızını ortalama %3-%4 civarında artırdıęı, sodyum sūlfūrūn ise %2-%3 civarında azalttıęı belirlenmiştir. Ayrıca sonuçlara bakıldığında ultrases hızındaki deęiřimin basınç mukavemetindeki deęiřimi aksettirmedięi grūlmūřtur.

5.3.5 Rötre (boy değişimi) deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Rötre(boy değişimi) deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde;Tablo 4.12’de verilen 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleriyle, Tablo 4.13’de verilen 7, 28 ve 90 günlük kontrole göre oranlanmış rötre değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerden faydalanılarak çizilen ve eklerde bulunan şekil 5.43, şekil 5.44, şekil 5.45, şekil 5.46, şekil 5.47 ve şekil 5.48 den yararlanılarak irdeleme yapılmıştır. Burada rötre sonuçları her farklı E/C ve her farklı tuz çözeltili harçlar için ayrı ayrı irdelenecektir.

E/C=0.60 ve magnezyum sülfat çözeltili harçlarda tüm konsantrasyonlarda 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri kontrole oranla artmıştır. Magnezyum sülfat konsantrasyonu arttıkça rötre değerlerinde ciddi artmalar gözlenmiştir. En yüksek artma %8 MgSO₄ (M4) konsantrasyonunda 90 günlük rötre değerlerinde görülmüştür ve %50 oranında bir artma meydana gelmiştir.

E/C=0.60 ve sodyum sülfat çözeltili harçlarda 7 ve 90 günlük rötre değerleri tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla artmıştır. 28 günlük rötre değerlerinde ise %0.5 Na₂SO₄ (S1) konsantrasyonundan sonra kontrole oranla azalma gözlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında sodyum sülfat çözeltili harlardaki rötre değerlerindeki artmaların magnezyum sülfat çözeltili harlardaki rötre değerlerindeki artmalardan daha az olduğu görülmüştür.

E/C=0.60 ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda 7 günlük rötre değerlerinde %0.01 Na₂S (N2) konsantrasyonundan sonra kontrole oranla azalma gözlenmiştir. 28 günlük rötre değerleri ise sadece %0.03 Na₂S (N4) konsantrasyonunda kontrole oranla artmıştır. Diğer konsantrasyonlarda 28 günlük rötre değerleri kontrole oranla azalmıştır. 90 günlük rötre değerlerinde ise %0.01 Na₂S (N2) ve %0.02 Na₂S (N3) konsantrasyonlarında kontrole oranla azalma meydana gelmiştir. %0.005 Na₂S (N1) konsantrasyonunda 90 günlük rötre değeri kontrol değeri ile aynı çıkmıştır. %0.03 Na₂S (N4) konsantrasyonunda 90 günlük rötre değerinde kontrole oranla %8 artma meydana gelmiştir.

E/C=0.75 ve magnezyum sülfat çözeltili harçlarda 7 günlük rötre değerleri %2 MgSO₄ (M1) konsantrasyonundan sonra kontrole oranla artmıştır. 28 ve 90 günlük rötre sonuçları ise tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla artmıştır. En yüksek artma %8 MgSO₄ (M4) konsantrasyonunda 90 günlük rötre değerlerinde görülmüştür. Bu artma değeri %82 olmuştur. Sonuçlara bakıldığında E/C=0.75 durumundaki rötre değerlerinin E/C=0.60 durumundaki rötre değerlerine oranla yüksek olduğu

gözlenmiştir. Bunun sebebi su/çimento oranının yüksek olması, bundan dolayı daha az jel oluşması ve daha fazla kapiler boşluk bulunması, C-S-H jellerindeki suyun buharlaşması olarak yorumlanabilir. Ayrıca şu da belirtilmelidir ki rötre kimyasal değil fiziksel bir olaydır. Burada jellerin kimyasal değil fiziksel yapısı önemlidir.

E/C=0.75 ve sodyum sülfat çözeltili harçlarda 7 günlük rötre değerleri tüm konsantrasyonlarda kontrole oranla azalmıştır. Bunun sebebi su/çimento oranının yüksek olması olarak yorumlanabilir. 28 ve 90 günlük rötre değerlerinde ise birbirine benzer davranış gözlenmiştir. %0.5 Na₂SO₄ (S1) konsantrasyonunda kontrole oranla artma gözlenmiş, %2.0 Na₂SO₄ (S3) konsantrasyonuna kadar kontrole oranla azalma meydana gelmiş ve bu konsantrasyon değerinden sonra rötre değerleri kontrole oranla artmıştır. Buradaki farklı davranışın sebebi deney ortamı sıcaklığı, nem, rötre ölçümleri, su/çimento oranının yüksek olması olarak yorumlanabilir.

E/C=0.75 ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda tüm konsantrasyonlarda 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri kontrole oranla azalmıştır. En yüksek azalma %0.03 Na₂S (N4) konsantrasyonunda 7 günlük rötre değerlerinde görülmüştür. Bu azalma %33 olmuştur.

Sonuç olarak magnezyum sülfat ve sodyum sülfat çözeltili harçlarda genelde rötre değerlerinin arttığı görülmüştür. Sodyum sülfür çözeltili harçlarda ise bunun aksine rötre değerlerinde kontrole oranla azalma gözlenmiştir. Ayrıca sonuçlardan görüldüğü üzere sodyum sülfat çözeltili harçların rötre değerlerindeki artmaların, magnezyum sülfat çözeltili harçların rötre değerlerindeki artmalardan daha az olduğu belirlenmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilen belli başlı sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

6.1 Sonuçlar

- 1.) Magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum sülfürün priz başlama süresini hızlandırdığı, priz bitme süresini geciktirdiği görülmüştür. En fazla etkiyi magnezyum sülfatın yaptığı belirlenmiştir.
- 2.) Magnezyum sülfat, sodyum sülfat, sodyum sülfür çözeltili harçlarda taze birim ağırlık değerlerinin çok fazla değişmediği görülmüştür. Bu değişim ortalama %2-%3 civarında olmuştur.
- 3.) Magnezyum sülfat, sodyum sülfat, sodyum sülfür çözeltili harçlarda tüm konsantrasyonlarda yayılma değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Yayılma değerlerini en az sodyum sülfür etkilemiştir. Sodyum sülfürün yayılma değerlerini az etkilemesinin sebebi olarak Na_2S konsantrasyonunun düşük olması belirtilebilir.
- 4.) Kullanılan tuzların sertleşmiş birim ağırlık değerlerini çok fazla etkilemediği belirlenmiştir. Tuzların sertleşmiş birim ağırlık değerlerini ortalama %2-%3 civarında artırdığı veya azalttığı görülmüştür. Şahit su ve tüm tuzların yaş arttıkça sertleşmiş birim ağırlık değerlerini artırdığı gözlenmiştir.
- 5.) Magnezyum sülfat için standartlarda sınır değer olarak %4 değeri verilmiştir. Magnezyum sülfat çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti değerlerinin şartnamelerde yer alan standart sınır değeri olan %4 MgSO_4 konsantrasyon değerinden sonra azaldığı görülmüştür. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerlerinde ise %6 MgSO_4 konsantrasyon değerinden sonra azalma meydana gelmiştir.
- 6.) Sodyum sülfat için standartlarda sınır değer olarak %1 değeri verilmiştir. Sodyum sülfat çözeltili harçlarda standart sınır değeri olan %1 Na_2SO_4 konsantrasyon değerinden sonra basınç mukavemeti değerlerinin azaldığı görülmüştür. Magnezyum sülfat çözeltili harçlarda ise azalma değerleri yüksek konsantrasyonlarda meydana

gelmiştir. Ancak yüksek konsantrasyonlarda azalma değerleri, sodyum sülfattaki azalma değerlerine oranla büyük olmuştur.

7.) Sodyum sülfür için standartlarda sınır değer olarak %0.01 değeri verilmiştir. Sodyum sülfür çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti değerleri tüm konsantrasyonlarda artmıştır. Bunun sebebi literatür [39]'dan bilindiği üzere Na^{+1} iyonunun erken yaşlarda mukavemeti artırması olarak yorumlanabilir. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerlerinde ise azalma meydana gelmiştir. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerlerindeki azalmanın sebebi literatür [39]'dan bilindiği üzere Na^{+1} iyonunun geç yaşlarda mukavemeti düşürmesi olarak yorumlanabilir.

8.) Şartnamelerde 7 günlük basınç mukavemetine ait bilgilerin olduğu, 28 ve 90 günlük basınç mukavemetine ait bilgilerin eksikliği gözlenmiştir. Ayrıca şartnamelerde konsantrasyon değerlerinin genelde SO_4^{-2} cinsinden verildiği görülmüştür.

9.) Magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda eğilme mukavemeti değerlerindeki değişim basınç mukavemetine yakın bir değişim olmuştur.

10.) Sodyum sülfatın magnezyum sülfata oranla eğilme mukavemetini daha az etkilediği belirlenmiştir.

11.) Magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum sülfür çözeltili harçlarda ultrases hızı değerlerinin çok fazla değişmediği görülmüştür. Ayrıca sonuçlara bakıldığında ultrases hızındaki değişimin basınç mukavemetindeki değişimi aksettirmediği görülmüştür.

12.) Magnezyum sülfatın rötreyi belirgin derecede artırdığı görülmüştür. Sodyum sülfatın ise rötreyi daha az artırdığı gözlenmiştir. Sodyum sülfürün ise aksine rötreyi azalttığı belirlenmiştir.

13.) Şartnamelerde magnezyum sülfat ve sodyum sülfat için verilen sınır değerlerin yapılan deneyler sonucunda doğruluğu gözlenmiştir. Magnezyum sülfat için bu değer %4, sodyum sülfat için ise %1 olmuştur. Sodyum sülfürde ise farklı durum gözlenmiştir. Sınır değer olan %0.01 değerinden sonra da mukavemet değerlerinin arttığı görülmüştür. O halde beton karışım suyunda magnezyum sülfat ve sodyum

sülfat tuzları sınır değerlerden fazla bulunmamalıdır. Bulundukları takdirde dayanım ve durabilite özelliklerini olumsuz etkilerler.

6.2 İleriki Çalışmalar İçin Öneriler

- 1.) Bu çalışmada çimento tipi sabit seçilip normal Portland çimentosu(PC42,5) kullanılmıştır. Bu tuzların farklı çimento tipleri üzerinde etkinliği araştırılmalıdır.
- 2.) Uçucu kül katılmış harçlarda etkilerin nasıl değiştiği incelenmelidir.
- 3.) Bu tuzlar haricinde farklı tuzlar ve kimyasal bileşikler kullanılarak taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi belirlenmelidir.
- 4.) Bu çalışmada çimento dozajı sabit seçilmiştir. Çimento dozajı değiştirilerek taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi yararlı olacaktır.
- 5.) Bu tuzların hidrate elemanları üzerindeki etkilerini incelemek te etki mekanizmalarını açığa çıkarmak açısından yararlı olacaktır.

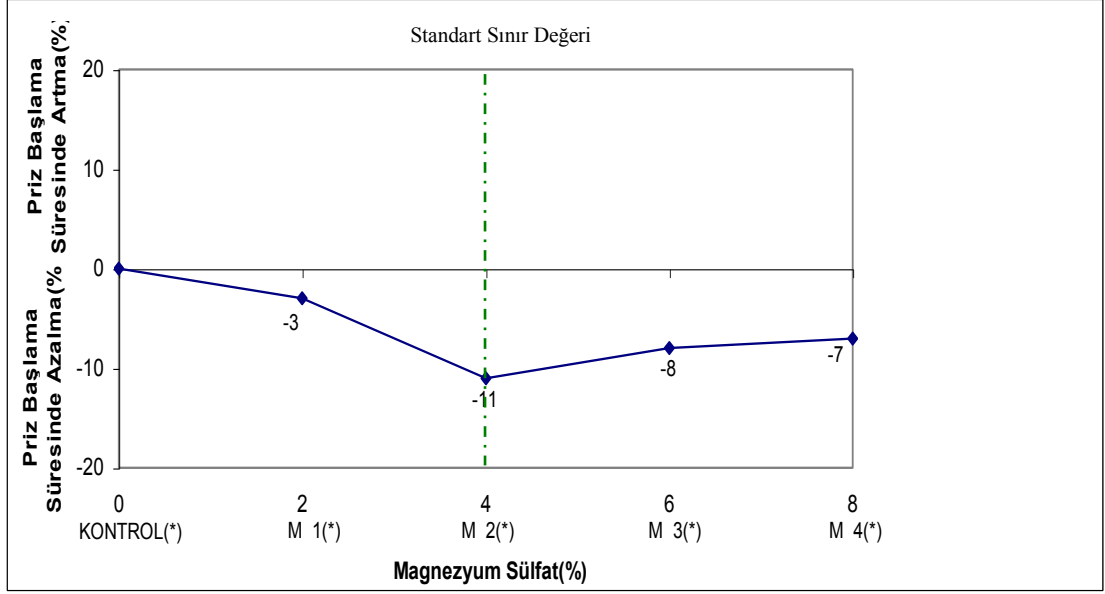
KAYNAKLAR

- [1] **Witt, J. C.** , 1918. “Some Generalizations on the Influence of Substances on Cement and Concrete, “Philippine Journal of Science, **13**, No. **1**, Sec. **A**, 29–48.
- [2] **Popovics, S.**, 1979. Concrete-Making Materials, pp. 214-217, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [3] **Mindess, S. and Young, J. F.**, 1981. Concrete, pp. 112-116, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- [4] **McCoy, W. J.** , 1964. “Water for Mixing and Curing Concrete,“ ASTM Special Technical Publication No. 169, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Aggregates, pages 515–520, American Society for Testing Materials.
- [5] **Troxell, G.E., Davis, H.E. and Kelly, J.W.**, 1968. Composition and Properties of Concrete, pp. 94-95, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [6] **Taylor, W.H.**, 1977. Concrete Technology and Practice, pp. 33, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [7] **Neville, A.M.**, 1981. Properties of Concrete, 3rd Edition, pp. 347-350, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
- [8] **Akman, M. Süheyl**, 1987. Yapı Malzemeleri, Birinci Baskı, sayfa 20-21, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [9] **Eglinton, M.S.**, 1987. Concrete and its chemical behaviour, pp. 45–47, T. Telford, London.
- [10] **Beton Laboratuvar Deneyleri**, 1985, sayfa 97-100, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [11] **Waddell**, 1962. Practical Quality Control for Concrete, pp. 137, McGraw-Hill Company, New York.
- [12] **Bayazıt, Ömer Lütfi**, 1988. Beton ve Deneyleri, sayfa 46, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [13] **Erdoğan, Turhan**, 1995. Karışım ve Bakım Suları, sayfa 10, 26-30, Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara.

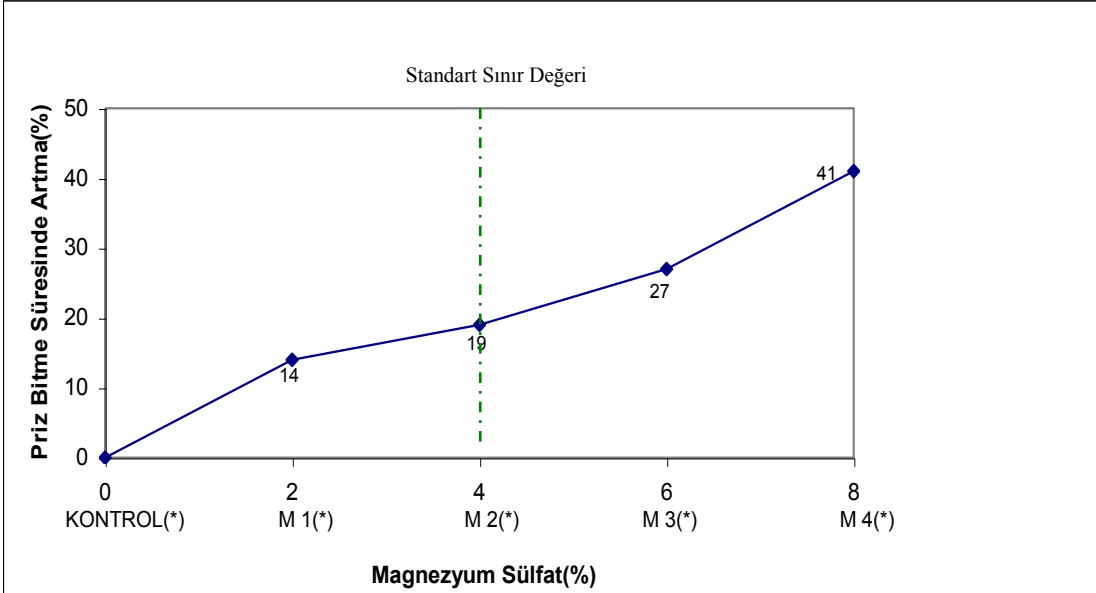
- [14] **AASHTO T26**, The American Association of State Highway Officials Specifications (Amerikan Devlet Karayolları Şartnameleri).
- [15] **BS 3148**, 1980. Water for making concrete (including notes on the suitability of the water), British Standards (İngiliz Standartları).
- [16] **ASTM C94**, Standard Specification for Ready-Mixed Concrete, The American Society for Testing and Materials (Amerikan Deney ve Malzeme Cemiyeti).
- [17] **TS EN 1008**, 2003. Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, TSE, Ankara.
- [18] **Neville, A. M.** , 2000. “Water-Cinderella Ingredient of Concrete“, Concrete International, Vol. **22**, No. **9**, pp. 66-71.
- [19] **Steven H. Kosmatka-William C. Panarese**, Design and Control of Concrete Mixtures, Thirteenth Edition, pp. 26-29, Portland Cement Association.
- [20] **H. H. Steinour**, 1960. “Concrete Mix Water-How Impure Can It Be?“ Journal, Portland Cement Assn. , Research and Development Laboratories, Vol. **2** No. **3**, pp. 32-50.
- [21] **Requirements of Mixing Water For Concrete**, 1963. Indian Concrete Journal, Vol. **37**, No. **3**, pp. 95, 98, 113.
- [22] **TS 500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- [23] **TS 11222**, 2001. Beton-Hazır Beton-Sınıflandırma, özellikler, performans üretim ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara.
- [24] **Postacıoğlu, Bekir**, 1986. BETON, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 1, Bağlayıcı Maddeler, sayfa 149-151, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [25] **Akman, Süheyl**, 1992. Deniz yapılarında beton teknolojisi, sayfa 137-141, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [26] **Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, Jan Olek**, 2003. “Mechanism of sulfate attack: a fresh look: Part 2. Proposed mechanisms“, Cement and Concrete Research, **33**, 341-346.
- [27] **Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, Jan Olek**, 2001. “Sulfate attack research-whither now?”, Cement and Concrete Research, **31**, 845-851.
- [28] **Omar S. Baghabra Al-Amoudi**, 2002, “Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments“, Cement and Concrete Composites, **24**, 305-316.

- [29] **William G. Hime, Bryant Mather**, 1999. "Sulfate attack," or is it?", *Cement and Concrete Research*, **29**, 789-791.
- [30] **M. Collepardi**, 2003. "A state-of-the-art review on delayed ettringite attack on concrete", *Cement and Concrete Composites*, **25**, 401-407.
- [31] **Witt, J. C.** , 1916. "The Effect of Sulphide On Cement, " *Philippine Journal of Science*, **11**, No. **6**, Sec. **A**, 273–289 plus plate 1.
- [32] **Abrams, Duff A.** , 1924. "Tests of Impure Waters for Mixing Concrete," *Proceedings, American Concrete Institute*, Vol. **20**, pp. 442–486.
- [33] **Giesecke, F. E. , Thomas, H. R. , and Parkinson, G. A.** , 1927. "Effects of Various Salts in the Mixing Water on the Compressive Strength of Mortars, "University of Texas, Bulletin No. **2730**, Engineering Research Series No.23, 18 pages.
- [34] **Sunil Kumar, C.V.S. Kameswara Rao**, 1994. "Effect of sulfates on the setting time of cement and strength of concrete", *Cement and Concrete Research*, **24**, 1237-1244.
- [35] **Saharat Buddhawanna**, 1993. "The influence of sulfides on properties of Portland cement", Khon Kaen University, Thailand.
- [36] **TS 2717**, 1977. Harç Kumları, TSE, Ankara.
- [37] **TS 24**, 1985. Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deneyleri, TSE, Ankara.
- [38] **TS 19**, 1988. Portland Çimentoları, TSE, Ankara.
- [39] **Uyan, Mehmet**, 1982. "Isıl işlem uygulaması ile birlikte katkı kullanımının beton özelliklerine etkisi", Doçentlik tezi, sayfa 7, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

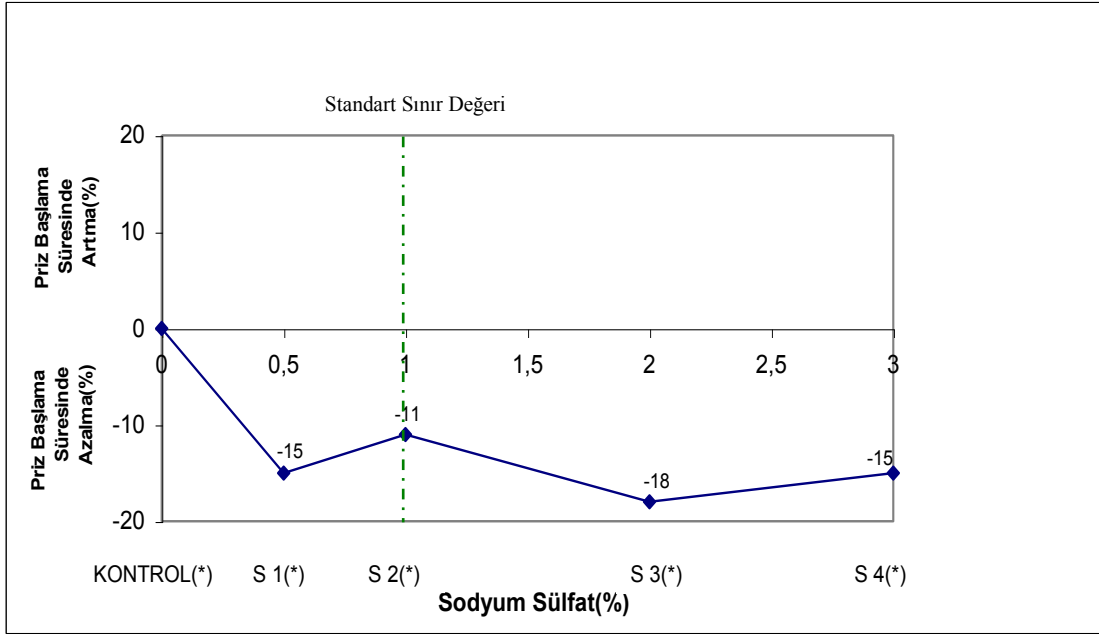
EKLER



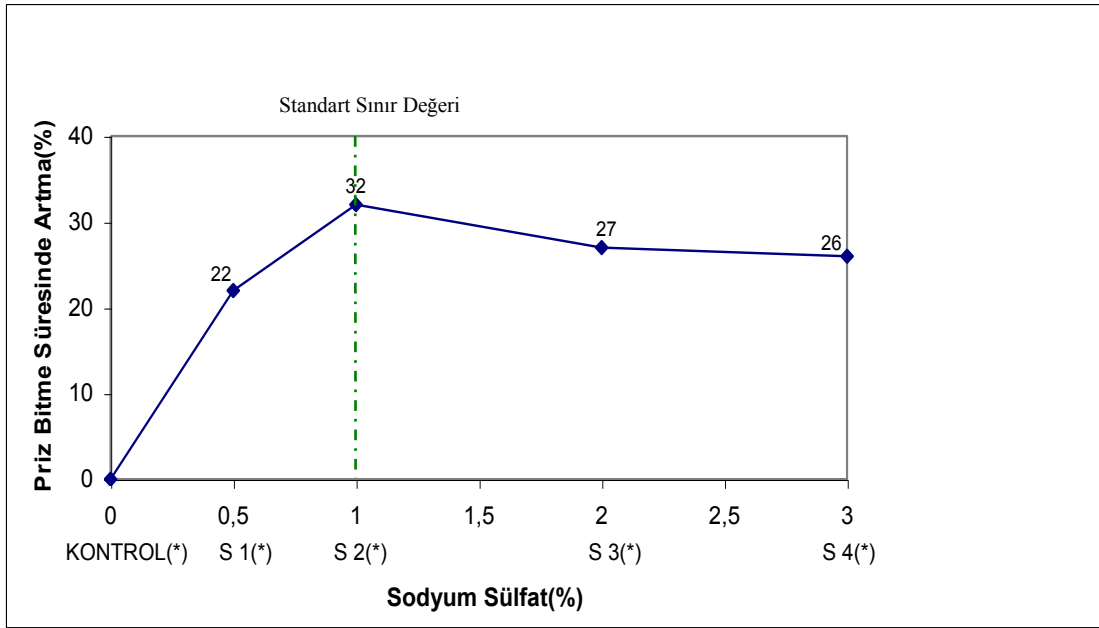
Şekil 5.1 Kontrol çimento hamuru ve magnezyum sülfat çözeltili çimento hamurlarının priz başlama sürelerindeki artma ve azalma değerleri(%)



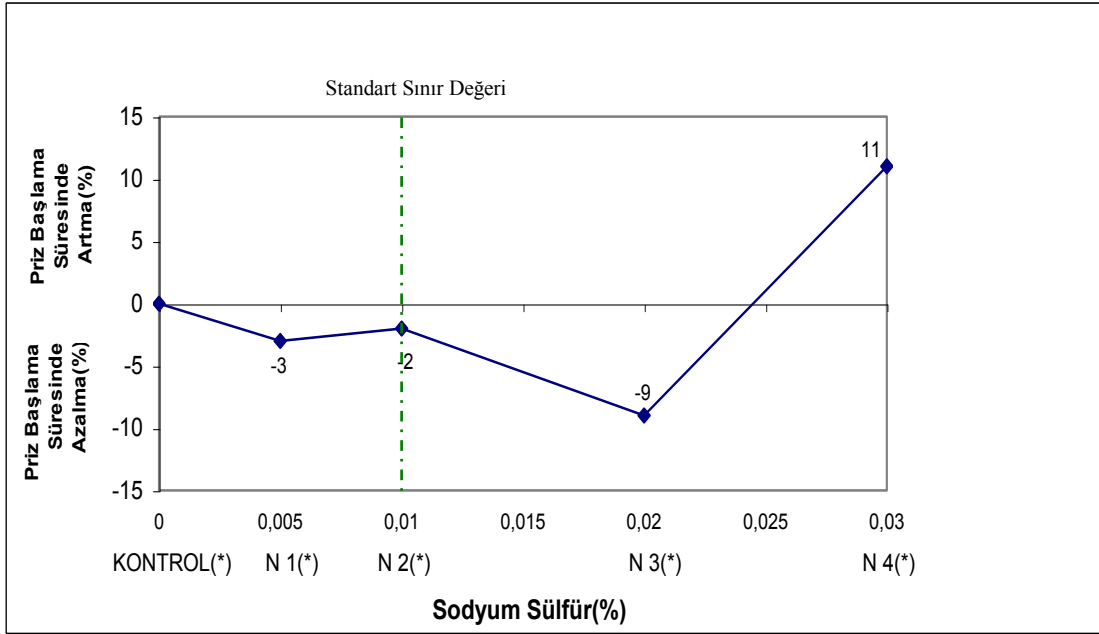
Şekil 5.2 Kontrol çimento hamuru ve magnezyum sülfat çözeltili çimento hamurlarının priz bitme sürelerindeki artma değerleri(%)



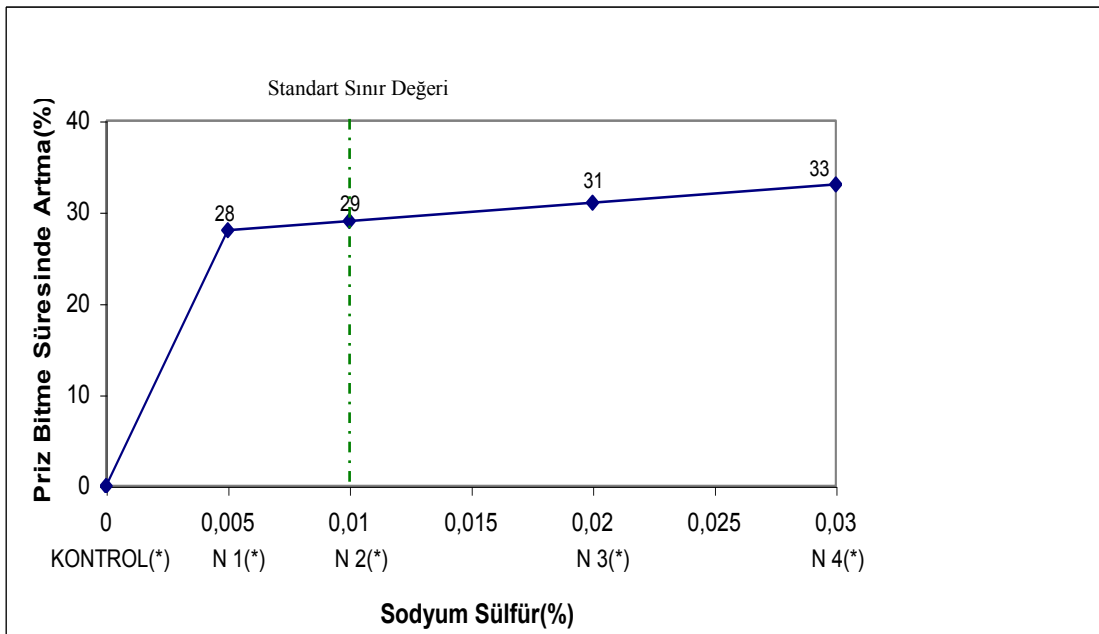
Şekil 5.3 Kontrol çimento hamuru ve sodyum sülfat çözeltili çimento hamurlarının priz başlama sürelerindeki artma ve azalma değerleri(%)



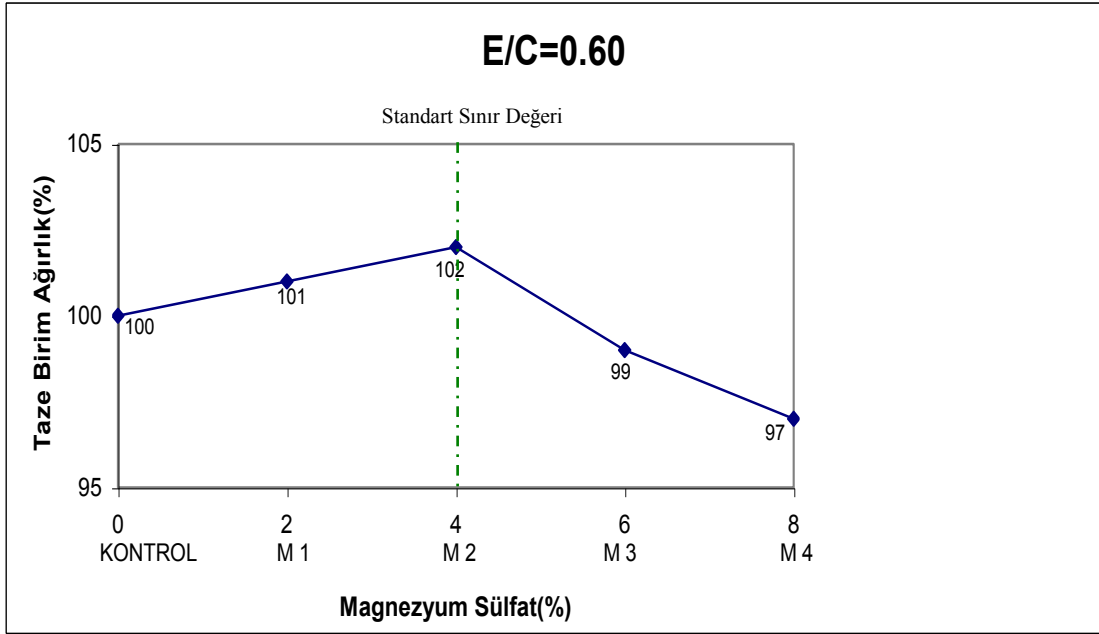
Şekil 5.4 Kontrol çimento hamuru ve sodyum sülfat çözeltili çimento hamurlarının priz bitme sürelerindeki artma değerleri(%)



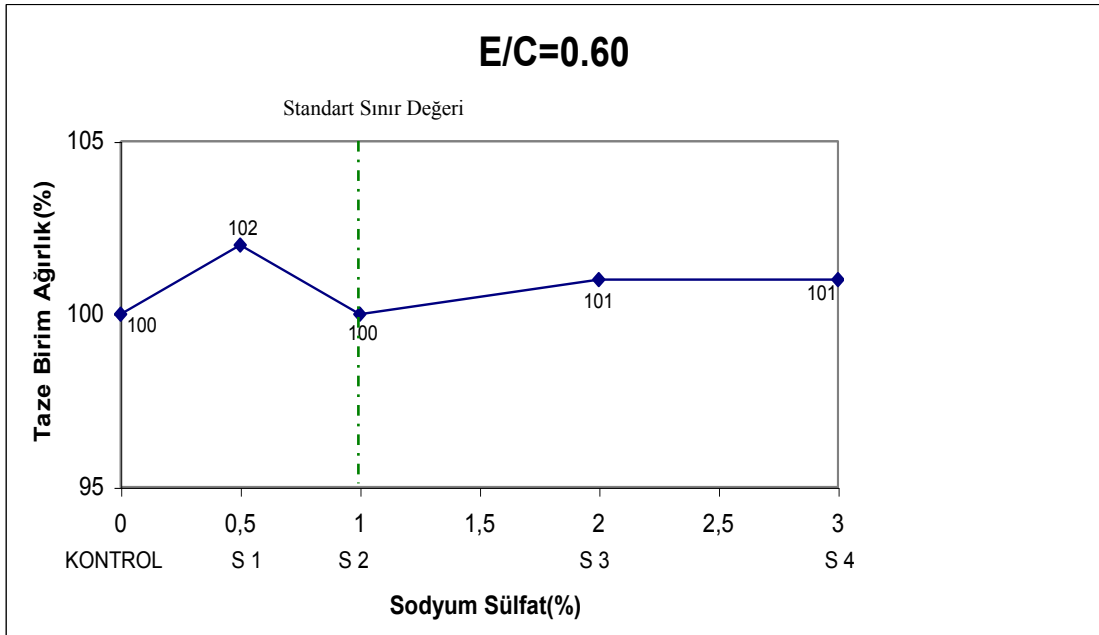
Şekil 5.5 Kontrol çimento hamuru ve sodyum sülfür çözeltili çimento hamurlarının priz başlama sürelerindeki artma ve azalma değerleri(%)



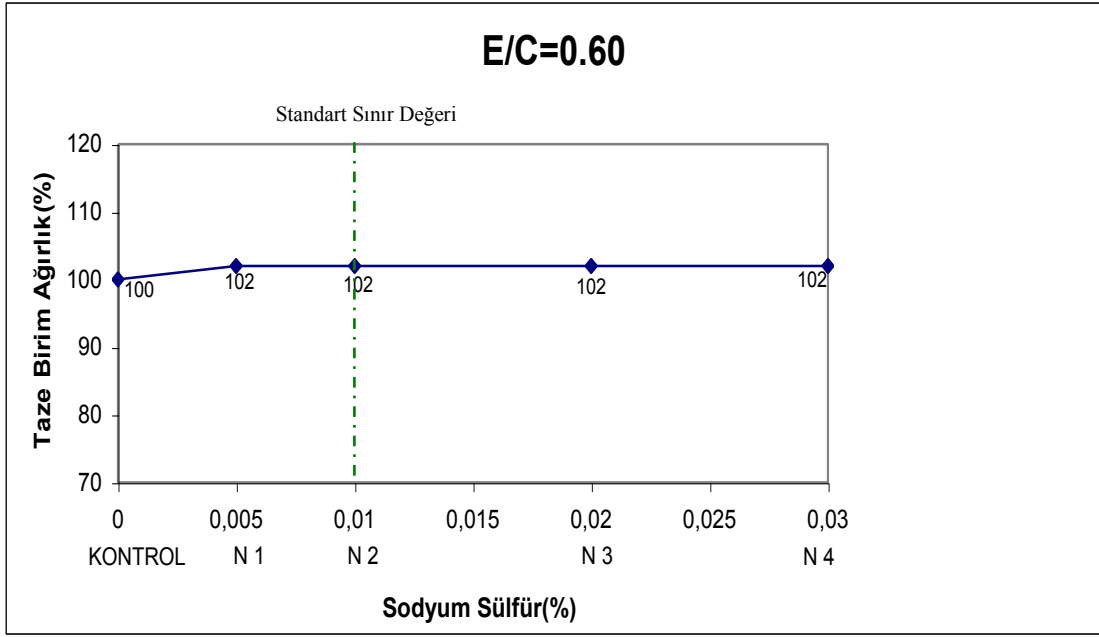
Şekil 5.6 Kontrol çimento hamuru ve sodyum sülfür çözeltili çimento hamurlarının priz bitme sürelerindeki artma değerleri(%)



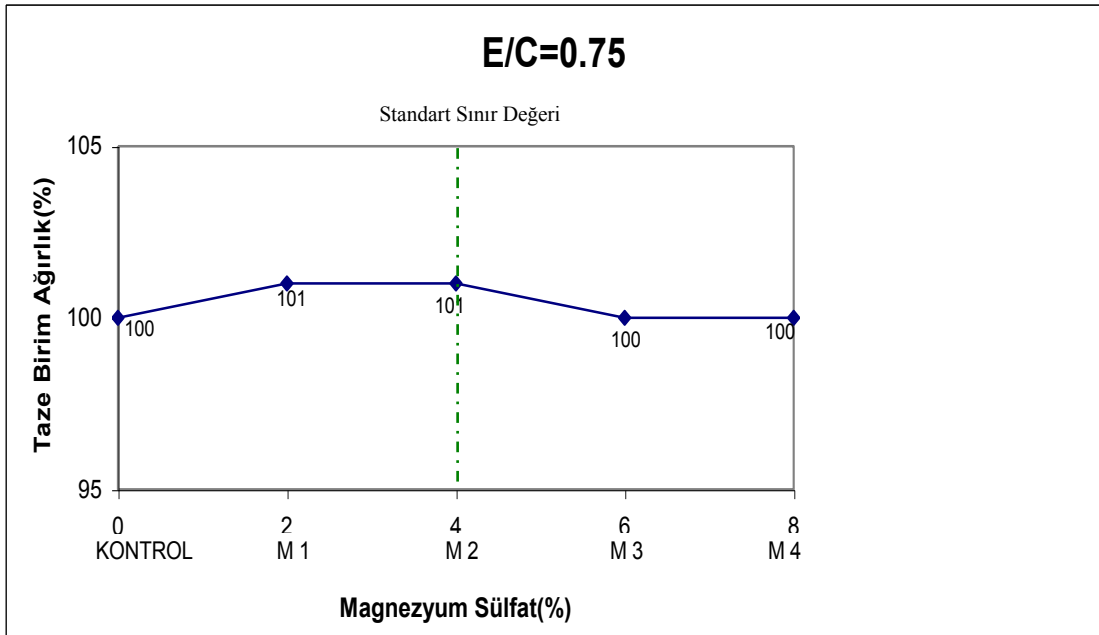
Şekil 5.7 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



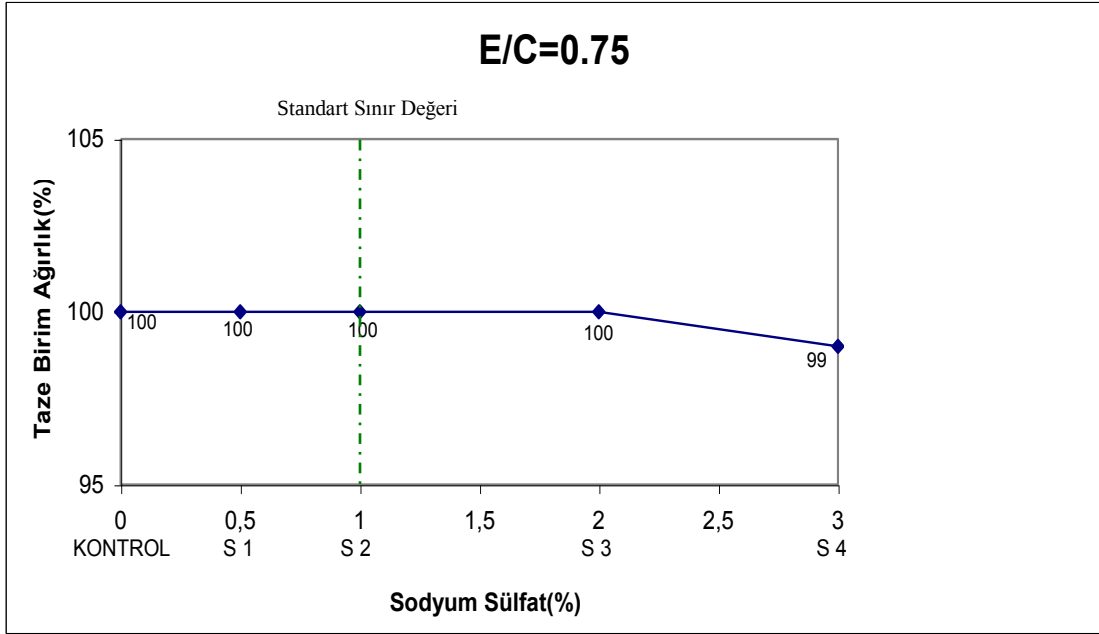
Şekil 5.8 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



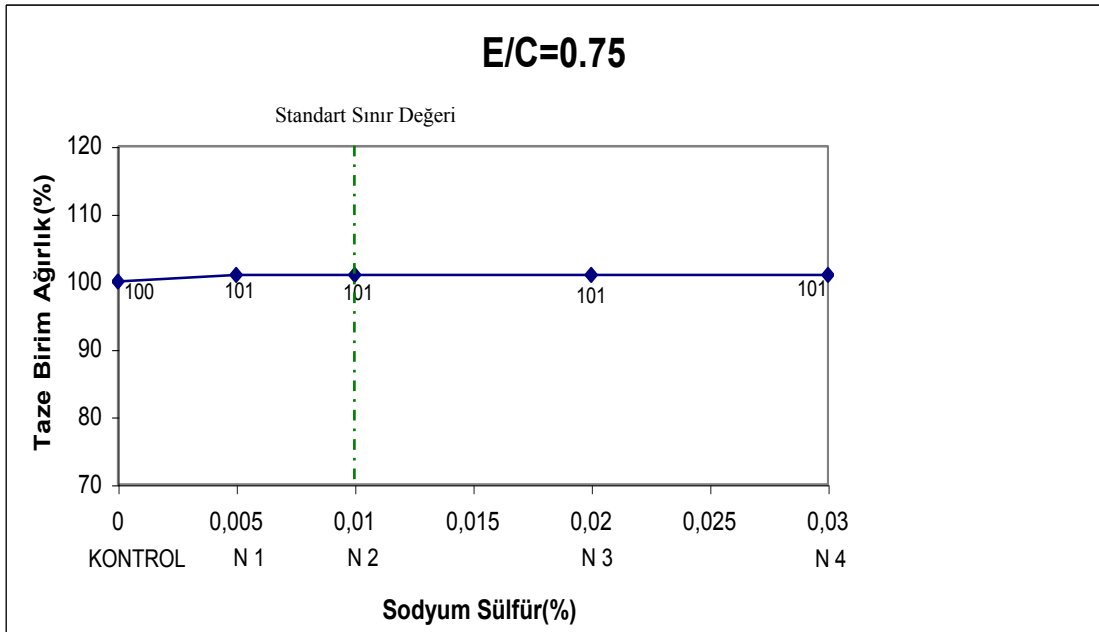
Şekil 5.9 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



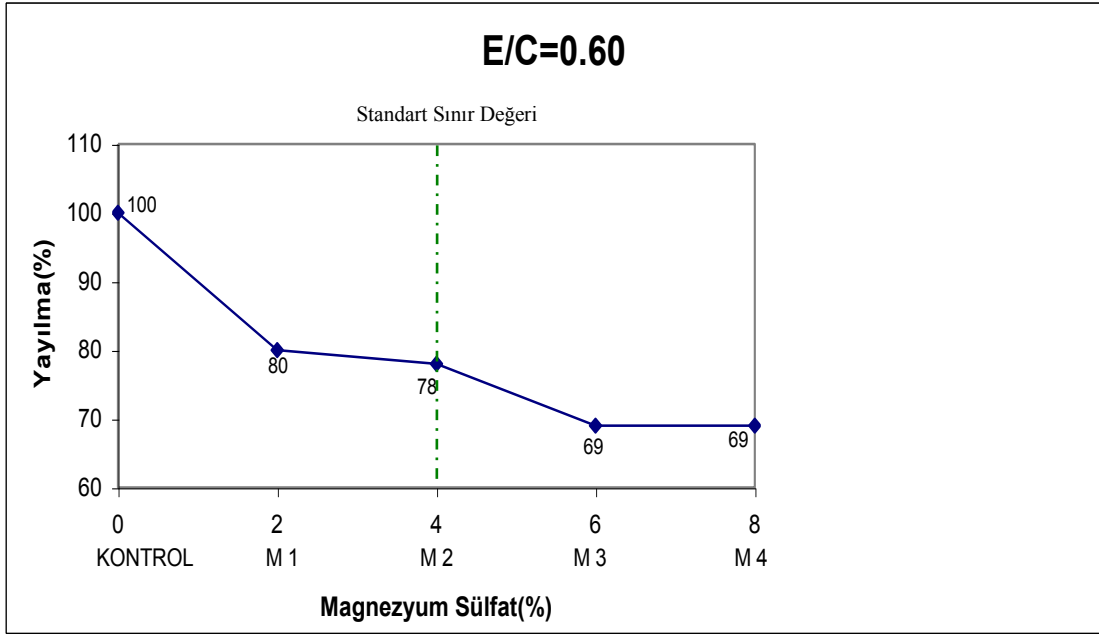
Şekil 5.10 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



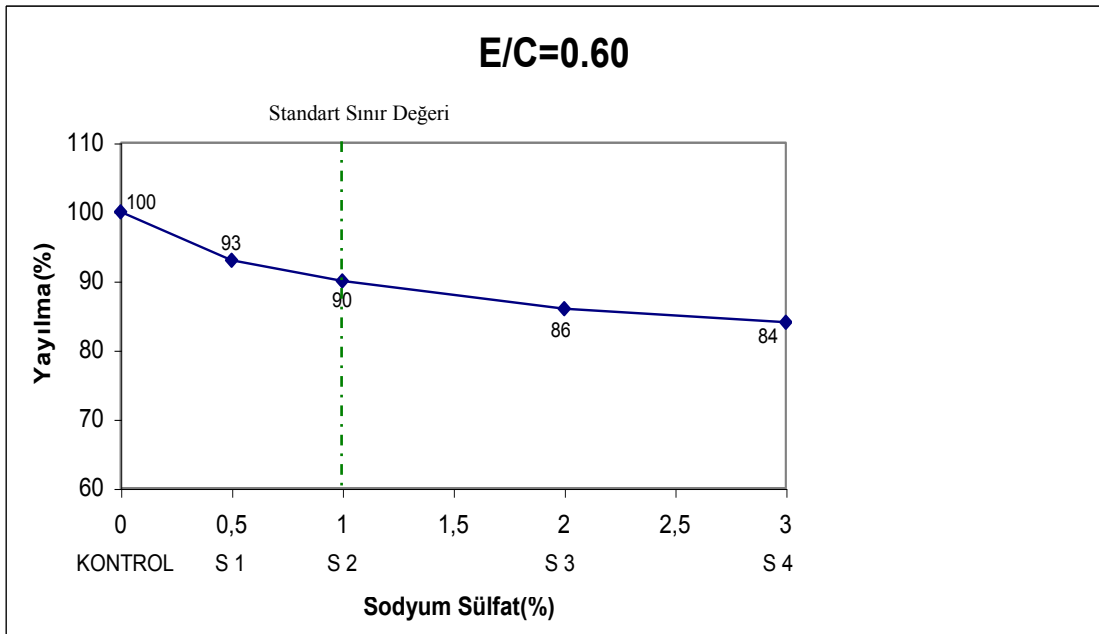
Şekil 5.11 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



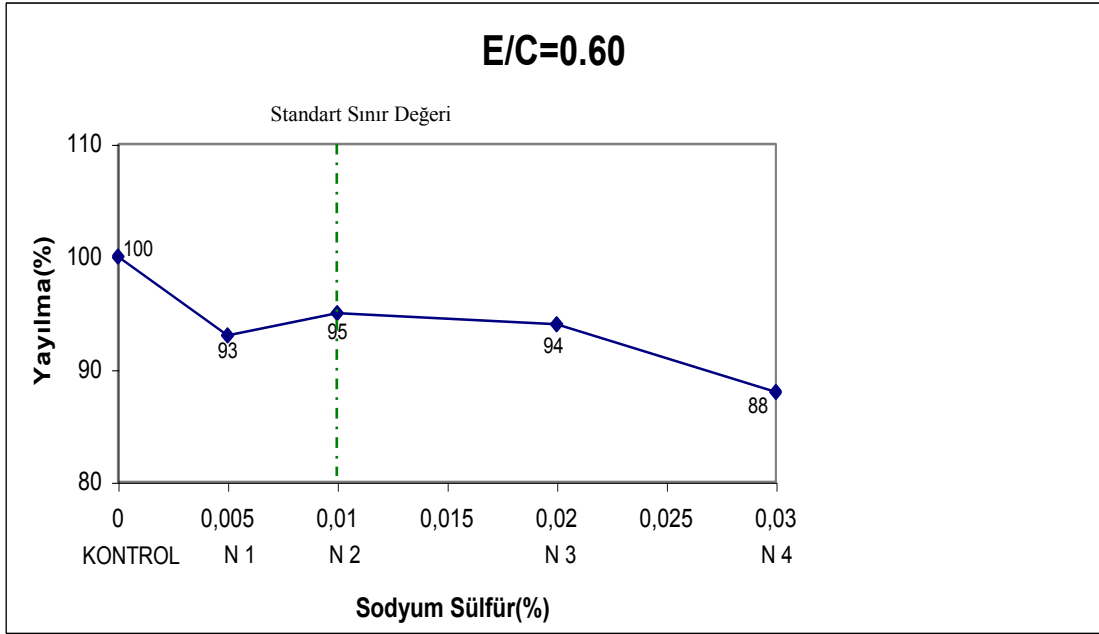
Şekil 5.12 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların taze birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



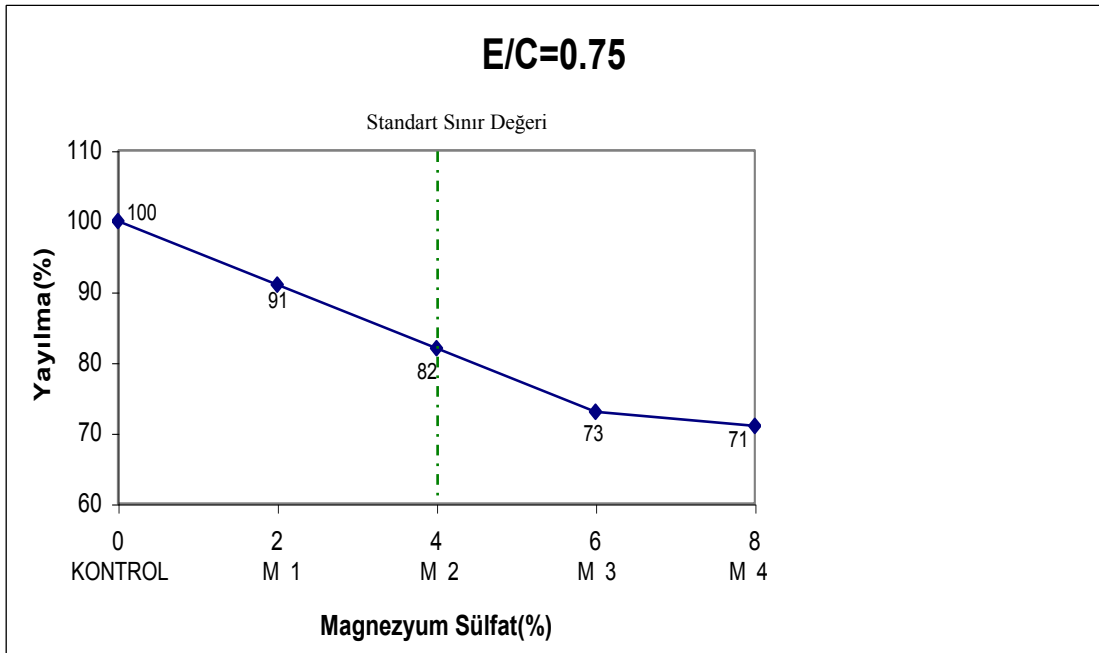
Şekil 5.13 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



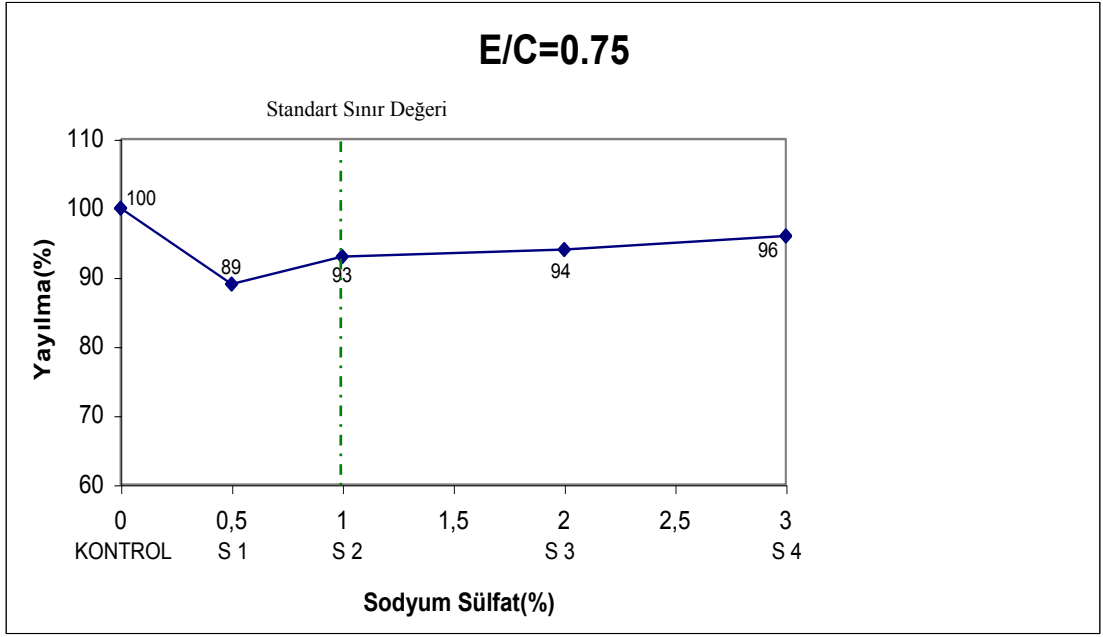
Şekil 5.14 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



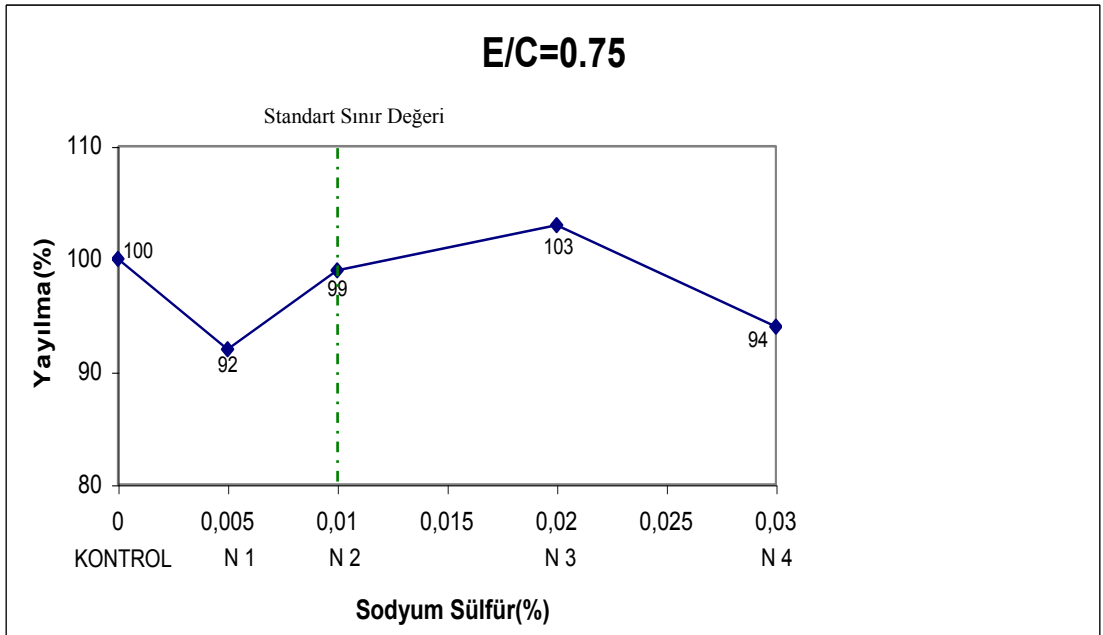
Şekil 5.15 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



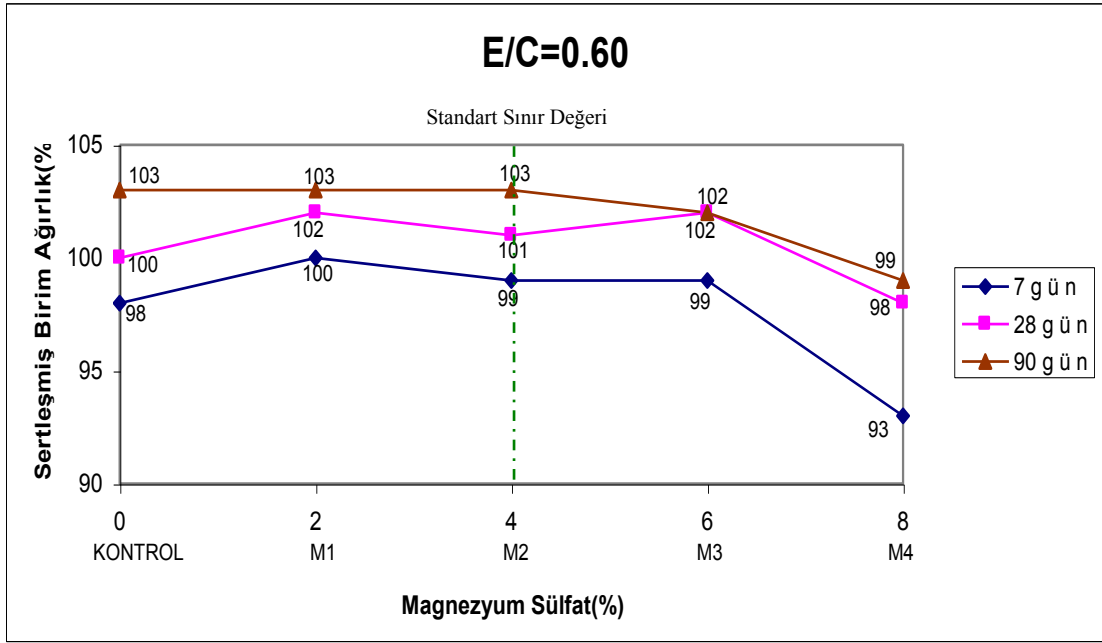
Şekil 5.16 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



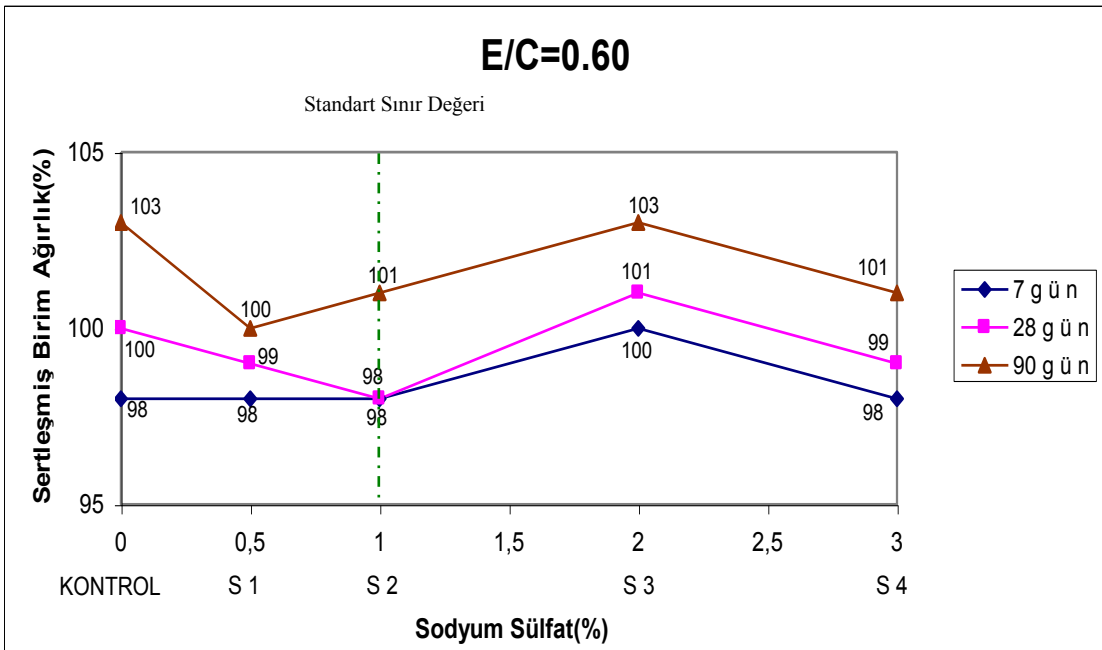
Şekil 5.17 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



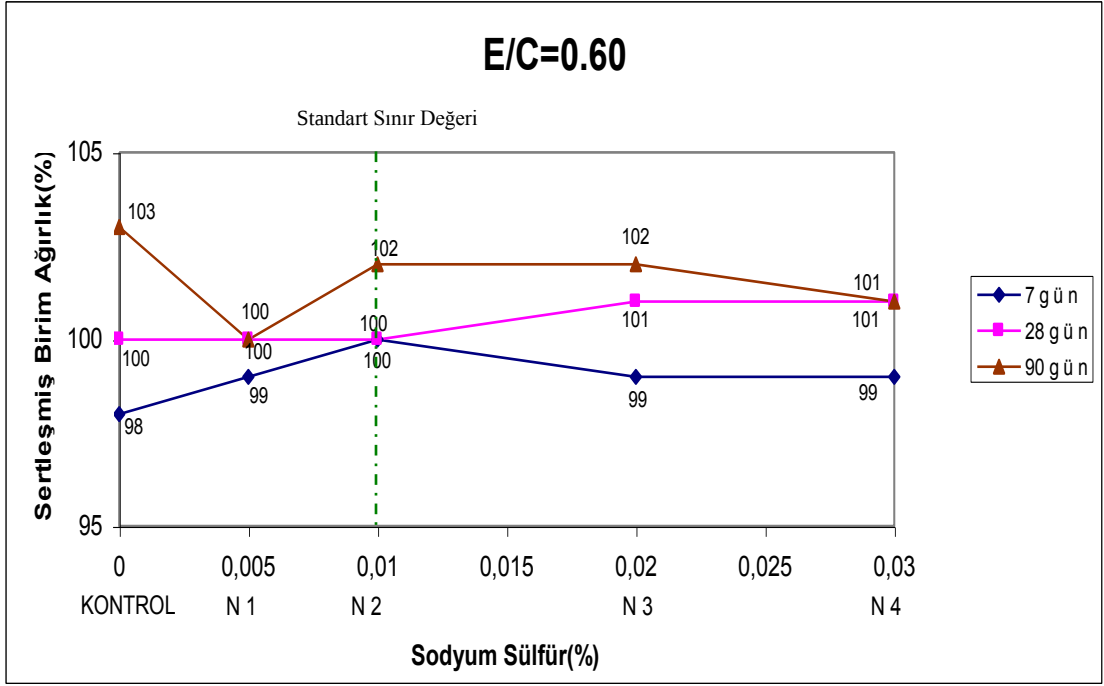
Şekil 5.18 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların yayılma değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



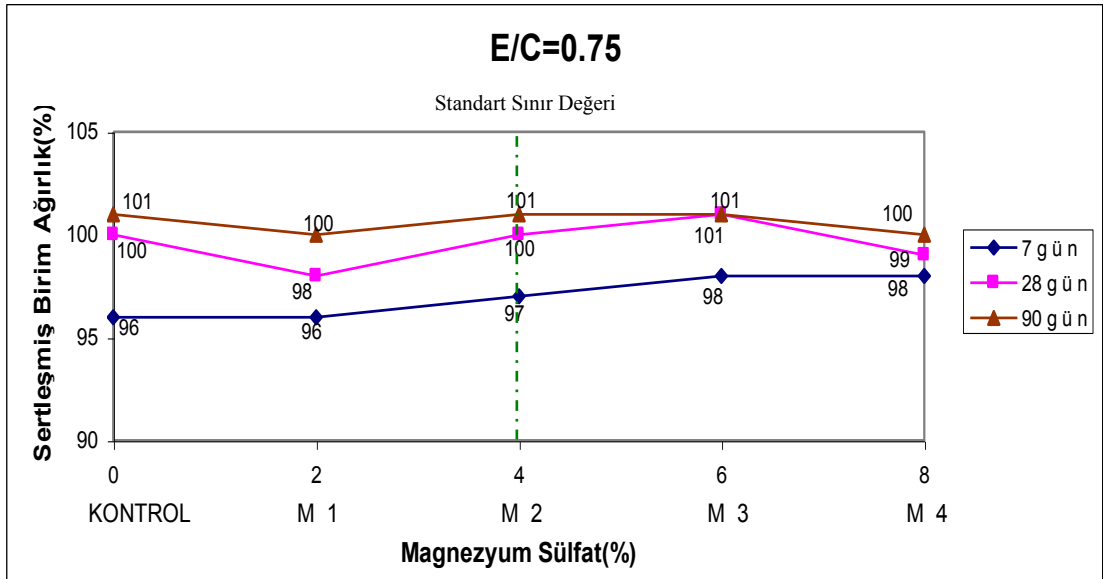
Şekil 5.19 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



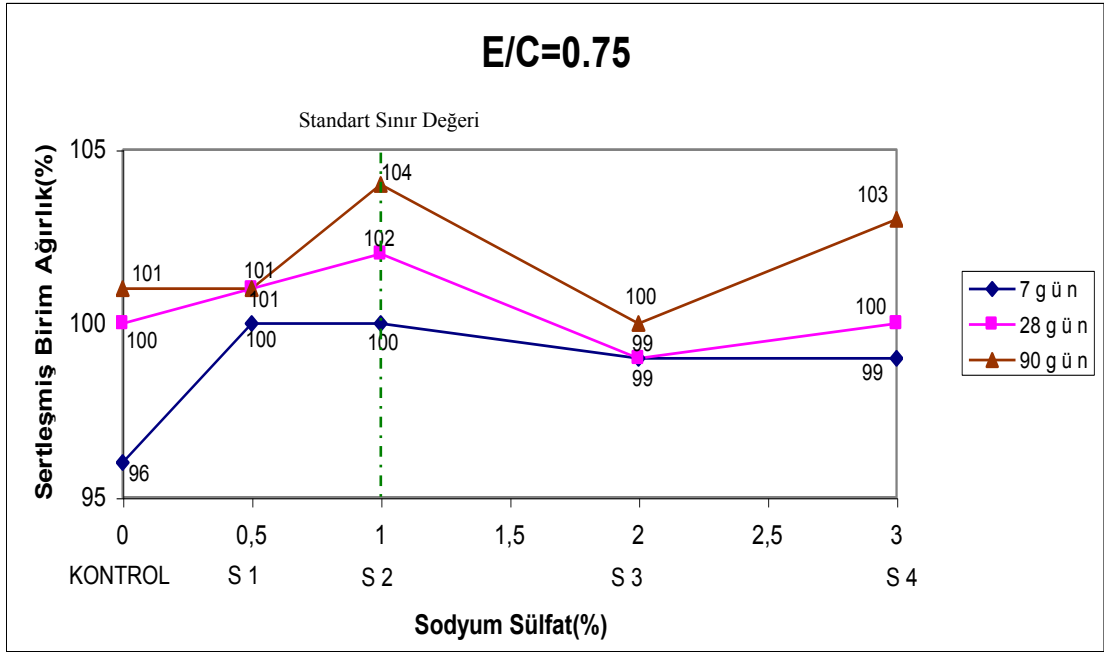
Şekil 5.20 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



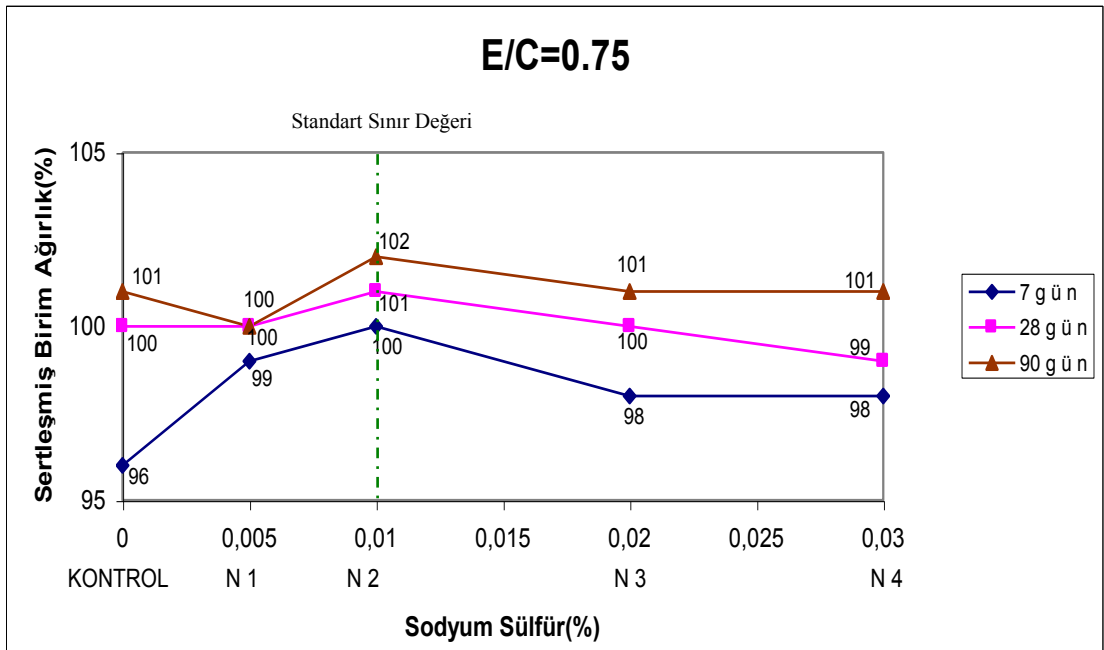
Şekil 5.21 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



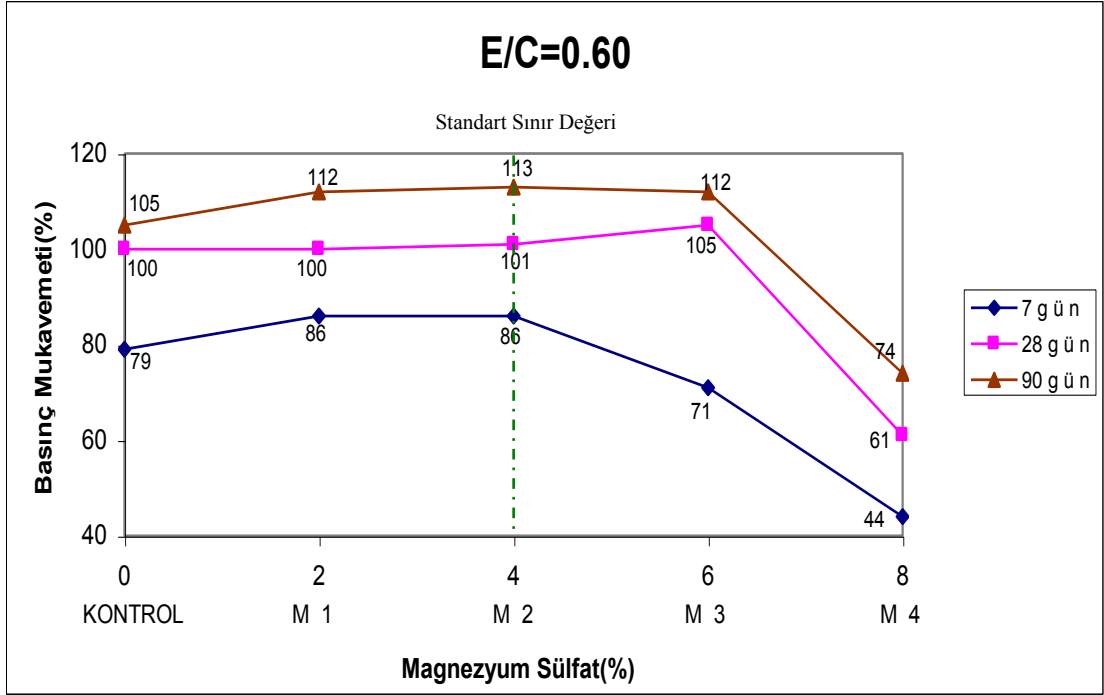
Şekil 5.22 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



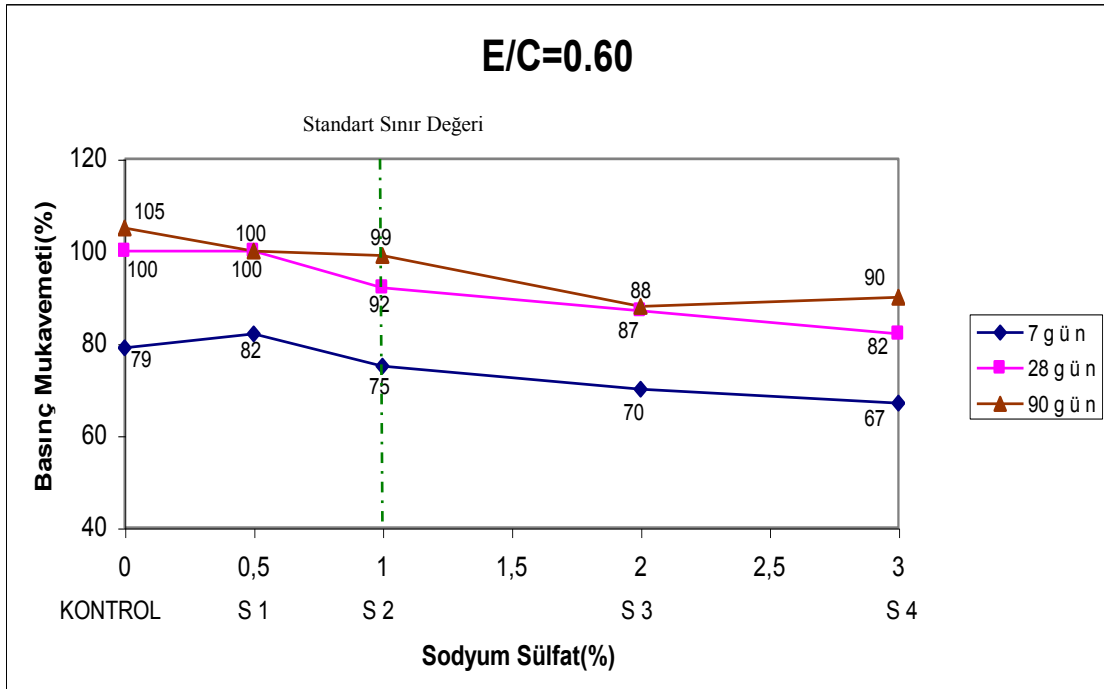
Şekil 5.23 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



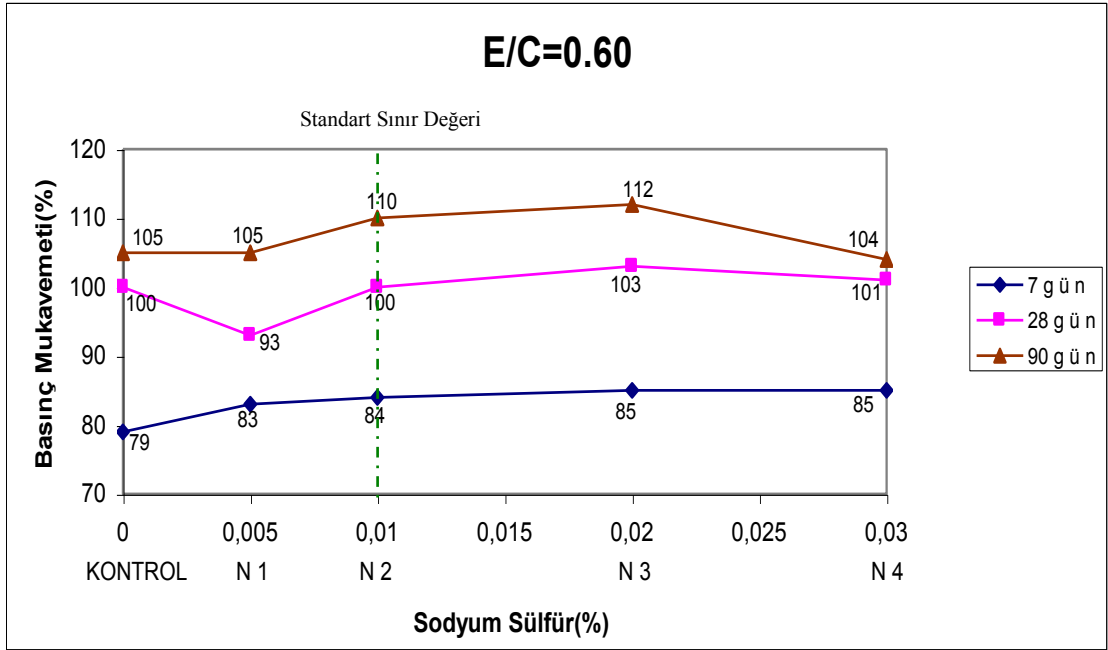
Şekil 5.24 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



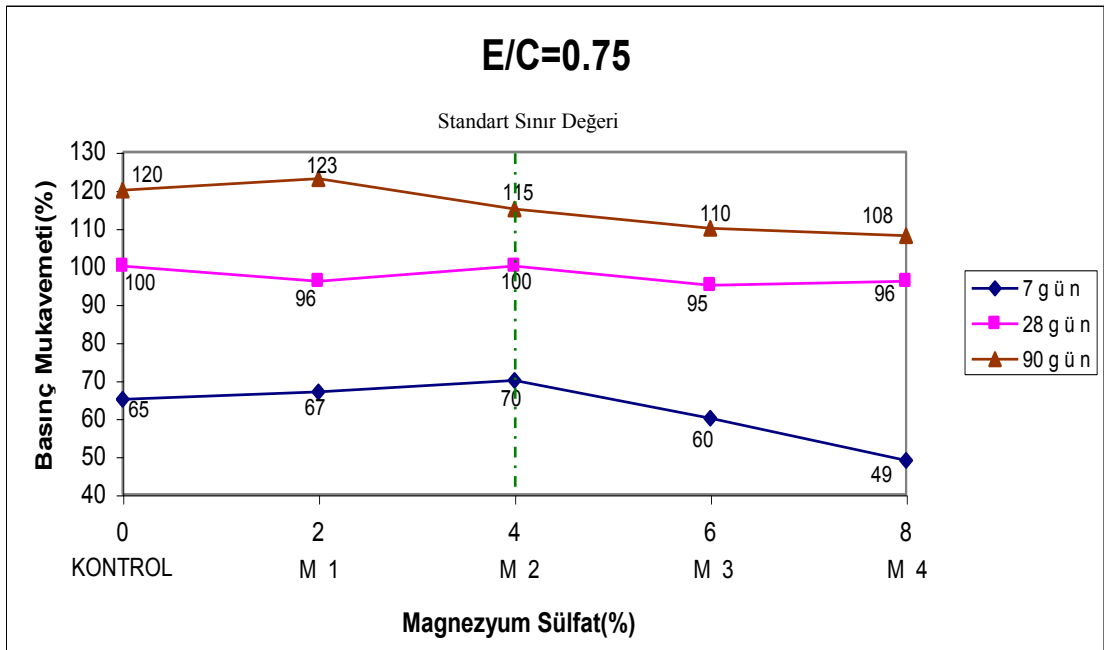
Şekil 5.25 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



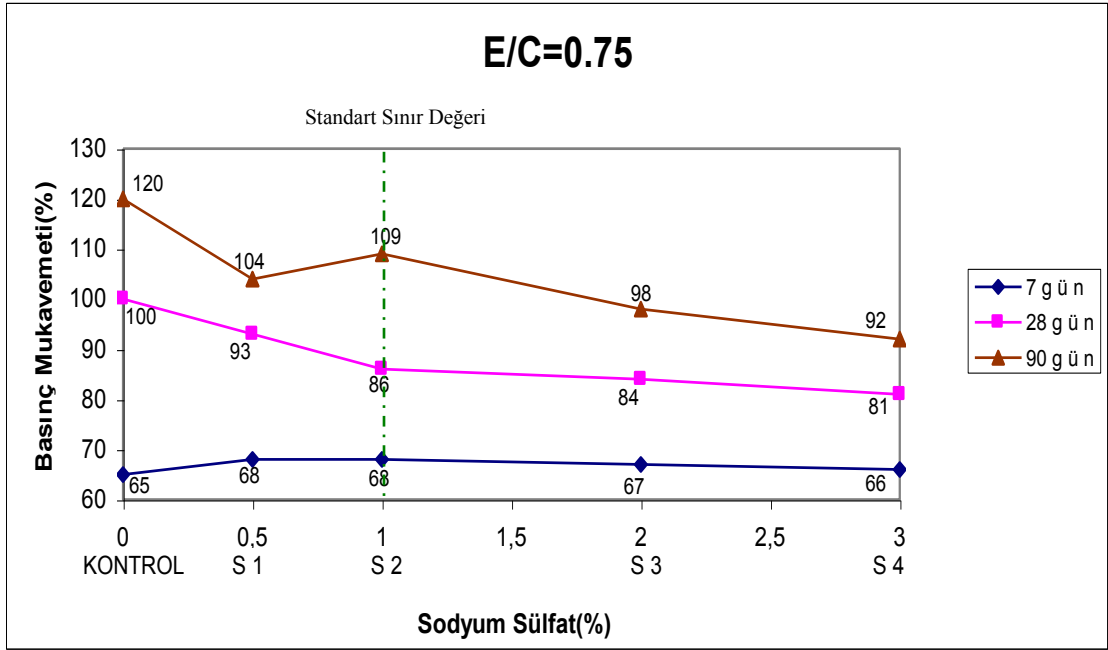
Şekil 5.26 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



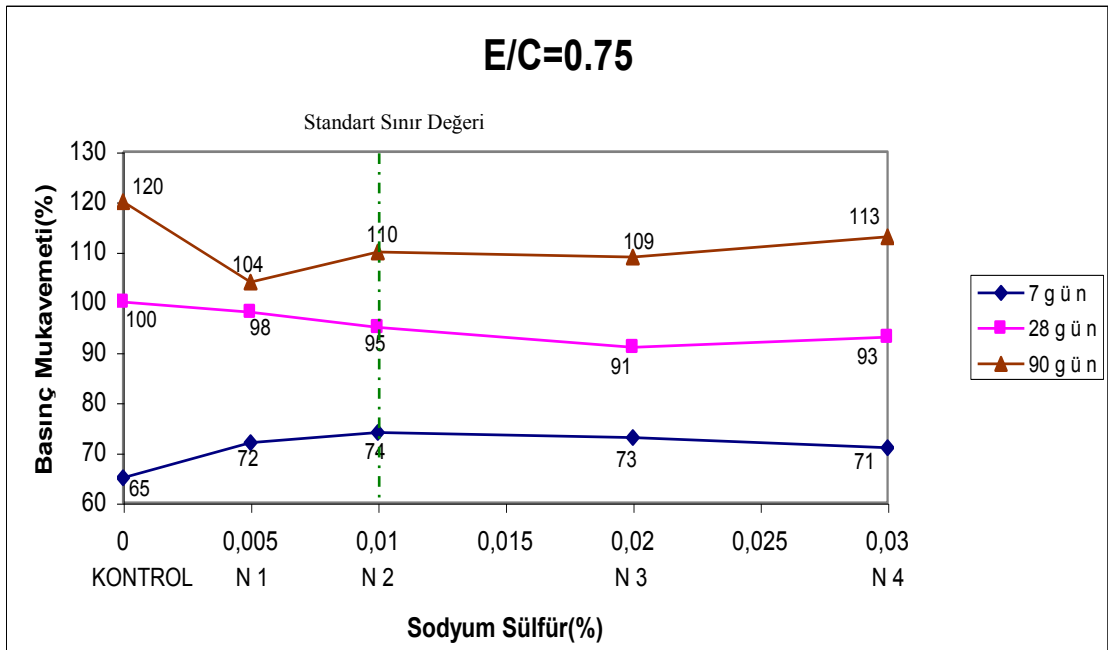
Şekil 5.27 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



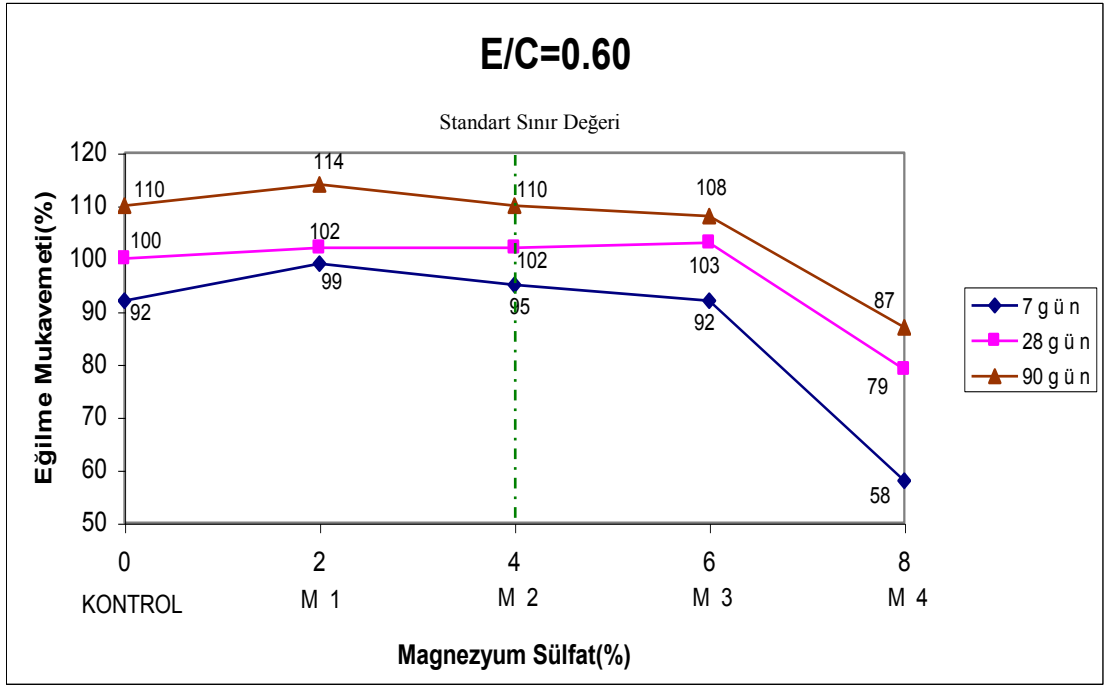
Şekil 5.28 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



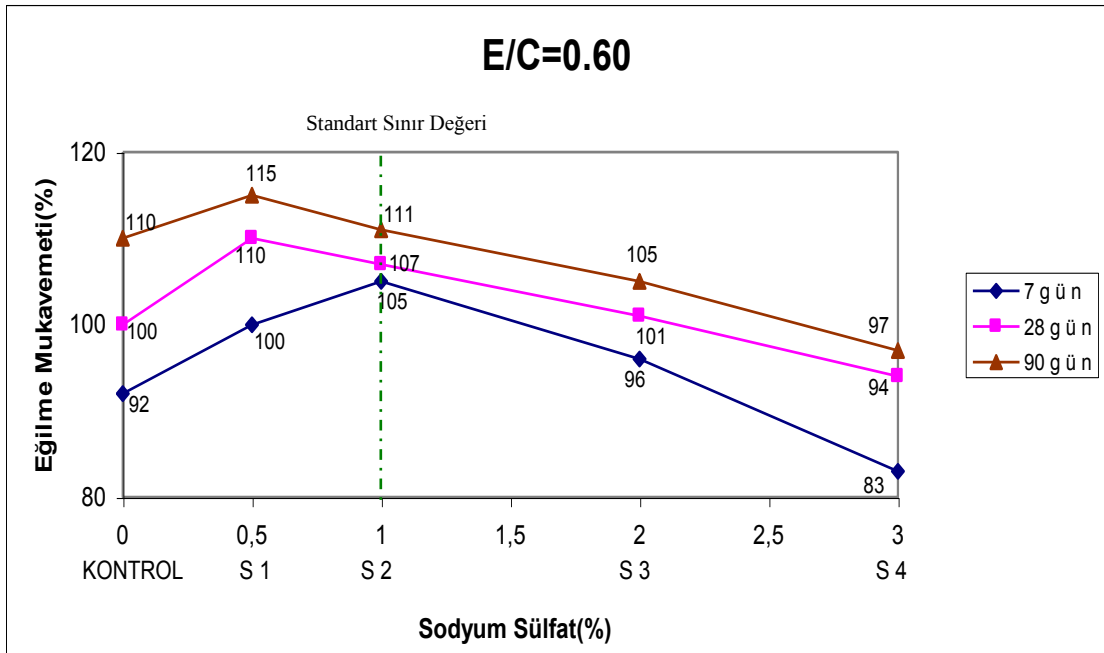
Şekil 5.29 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



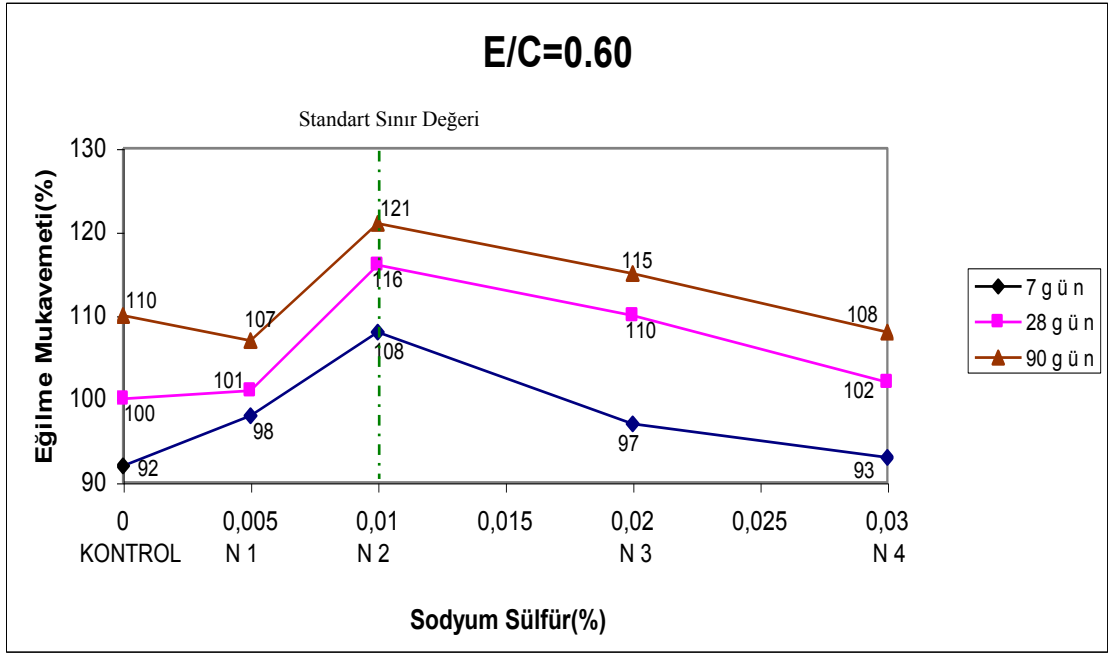
Şekil 5.30 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



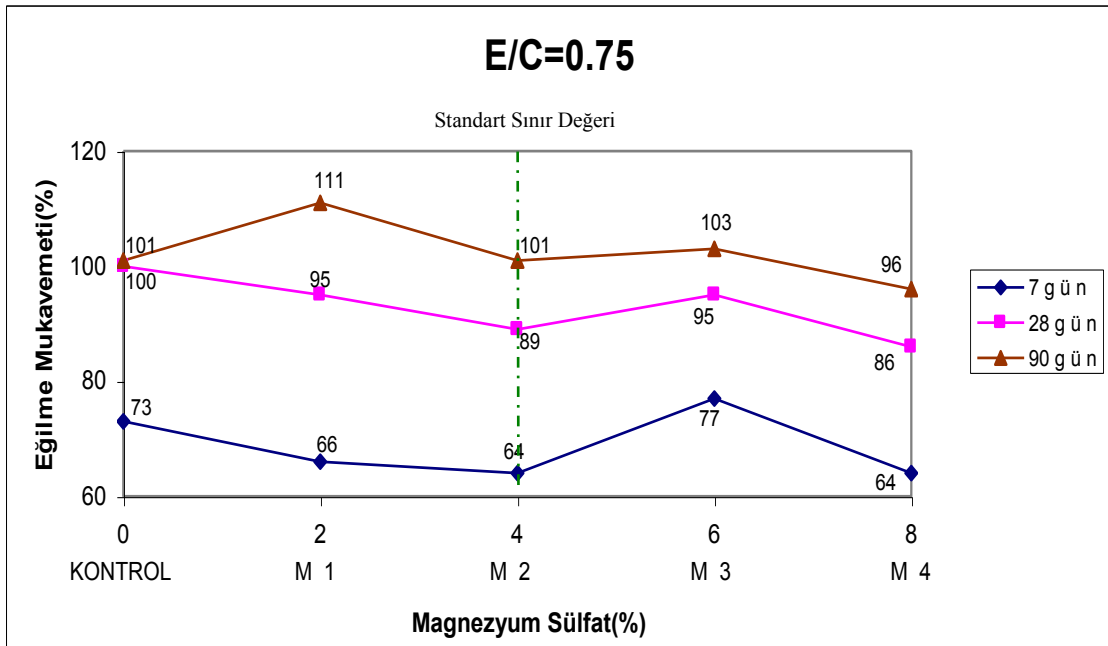
Şekil 5.31 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



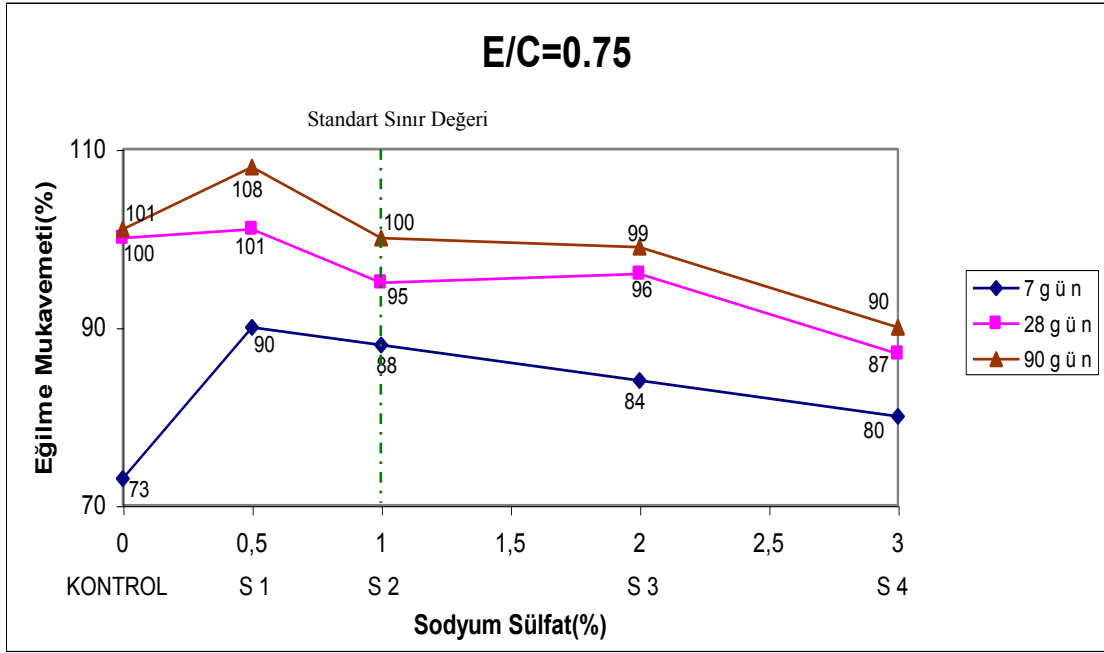
Şekil 5.32 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



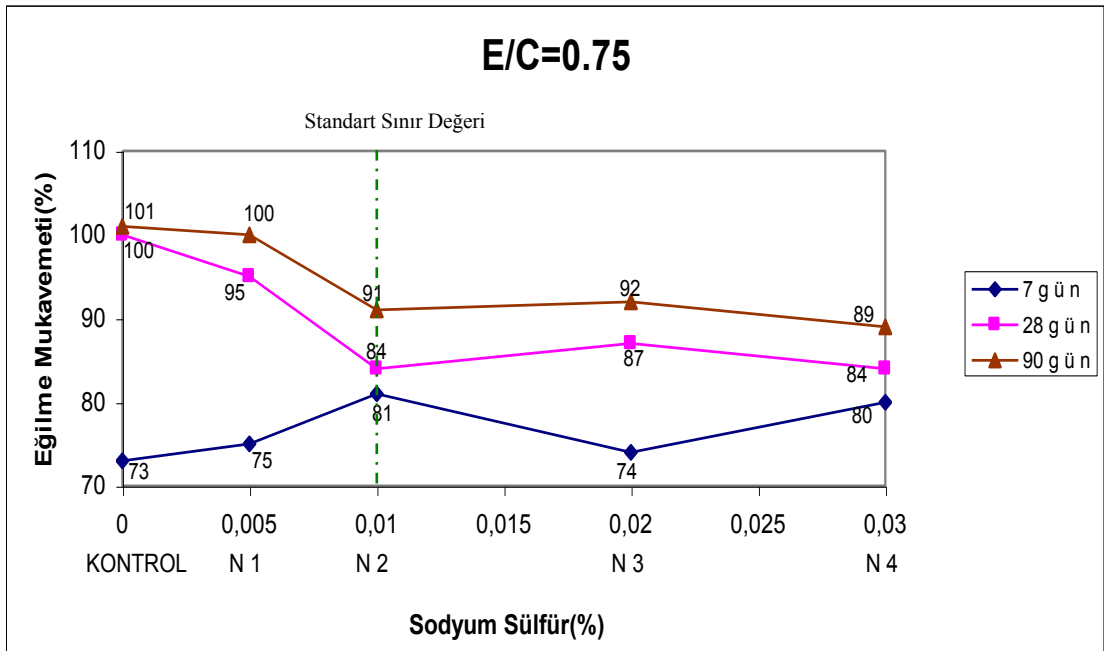
Şekil 5.33 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



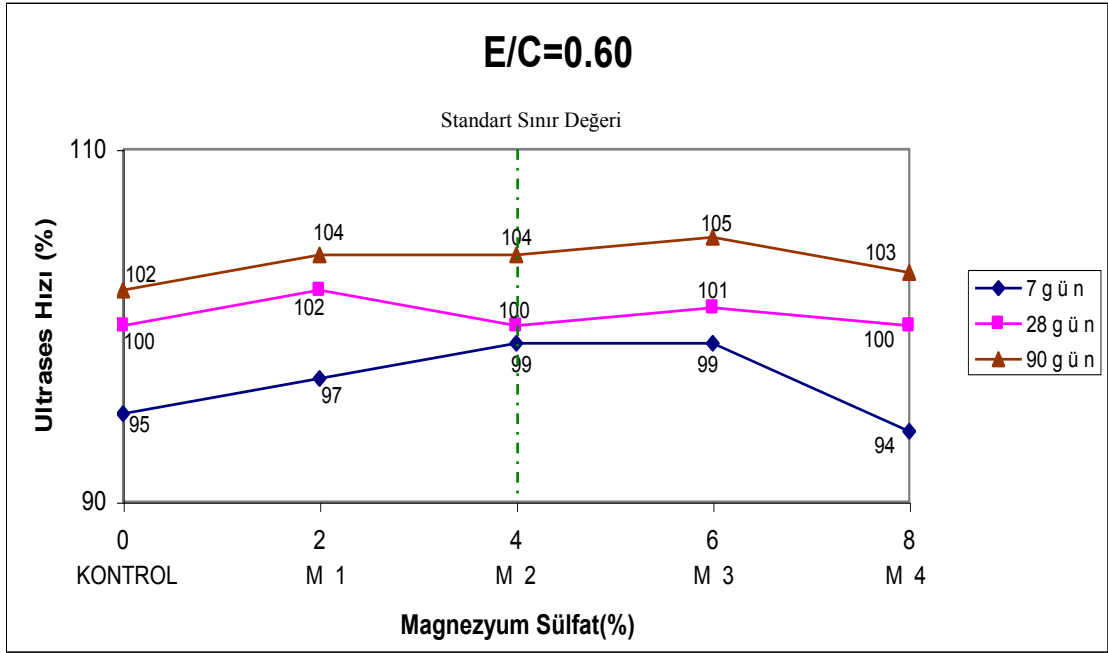
Şekil 5.34 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



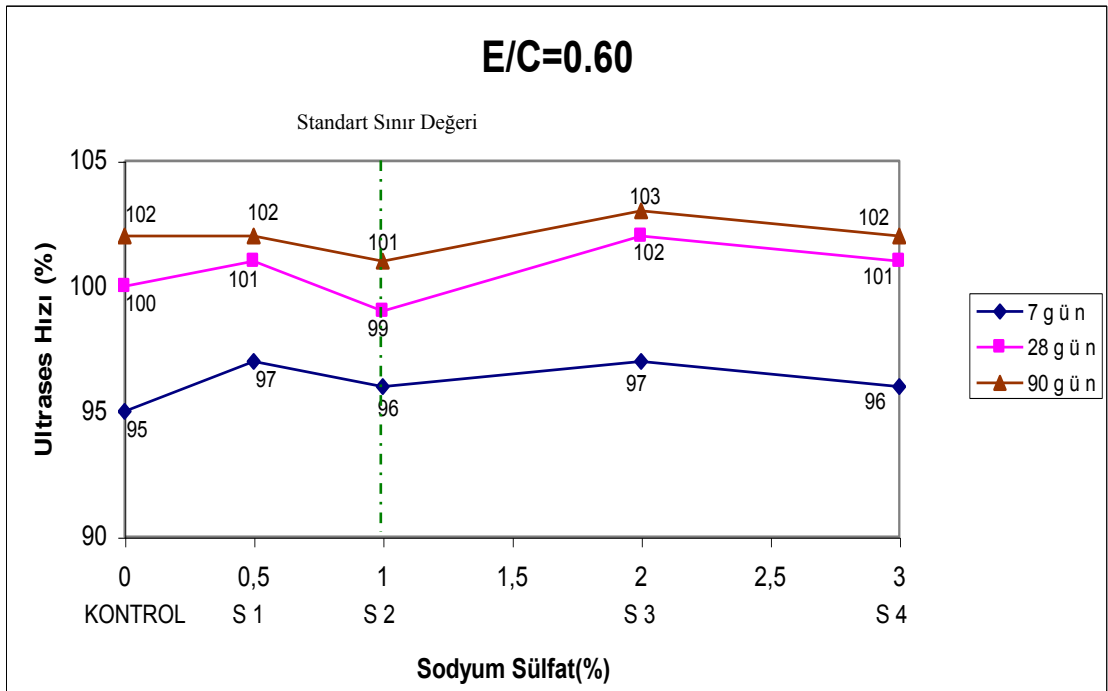
Şekil 5.35 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



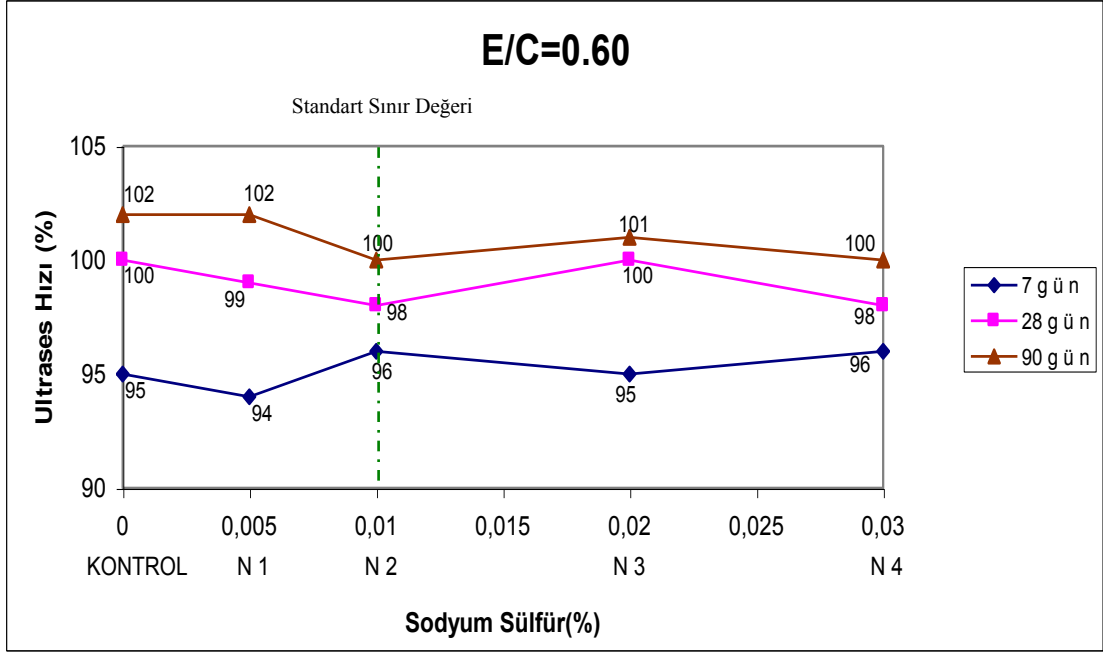
Şekil 5.36 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemeti değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



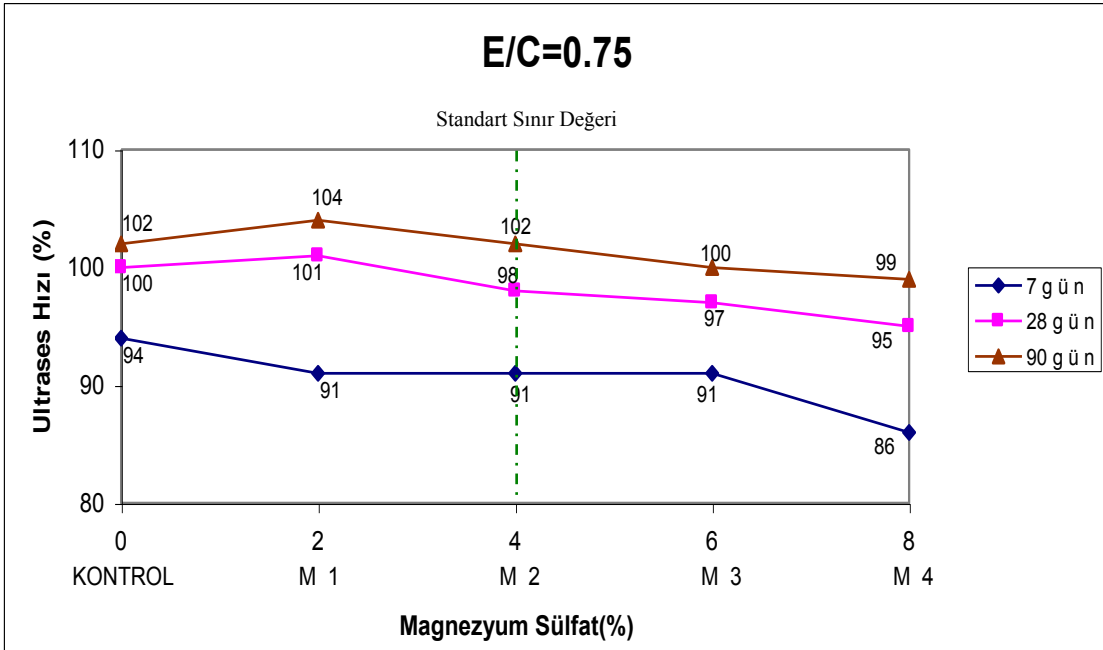
Şekil 5.37 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



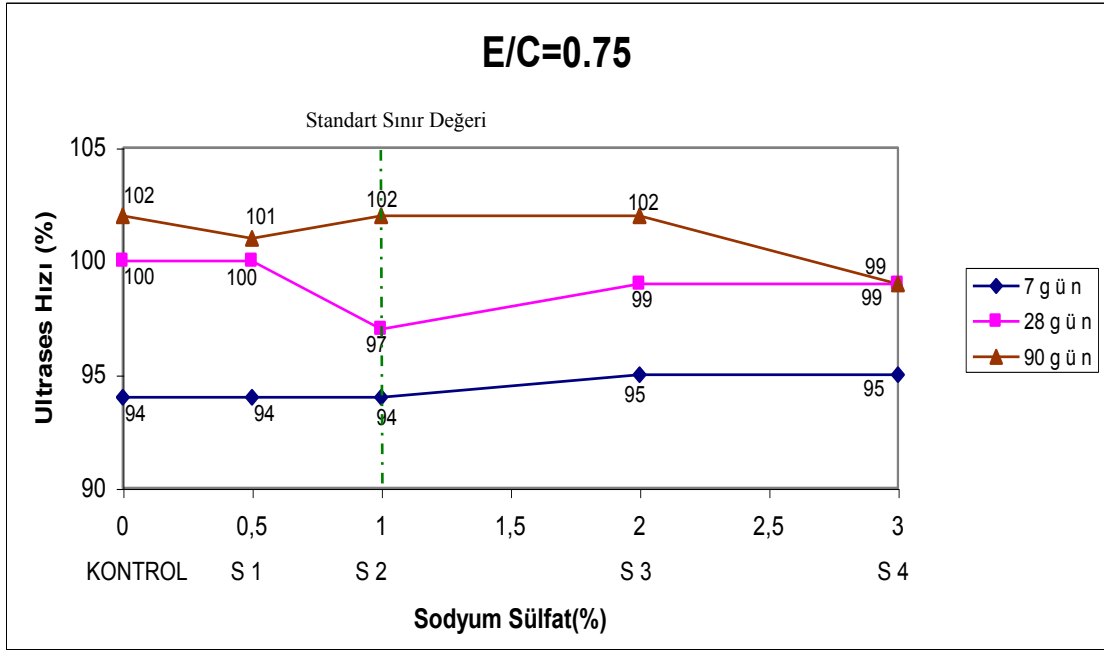
Şekil 5.38 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



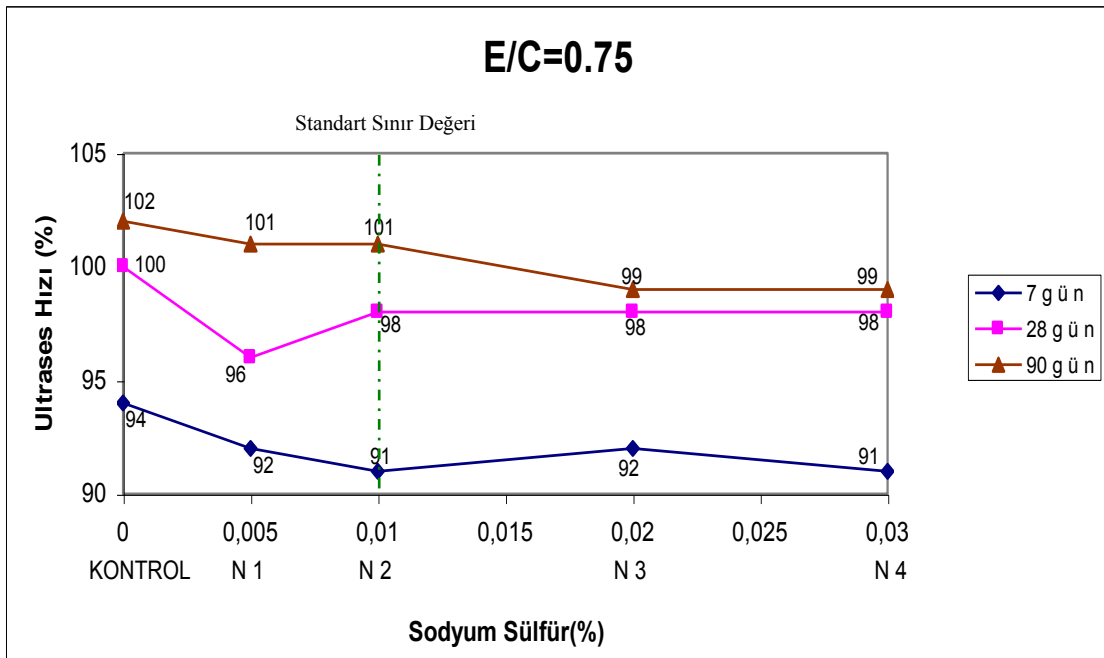
Şekil 5.39 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



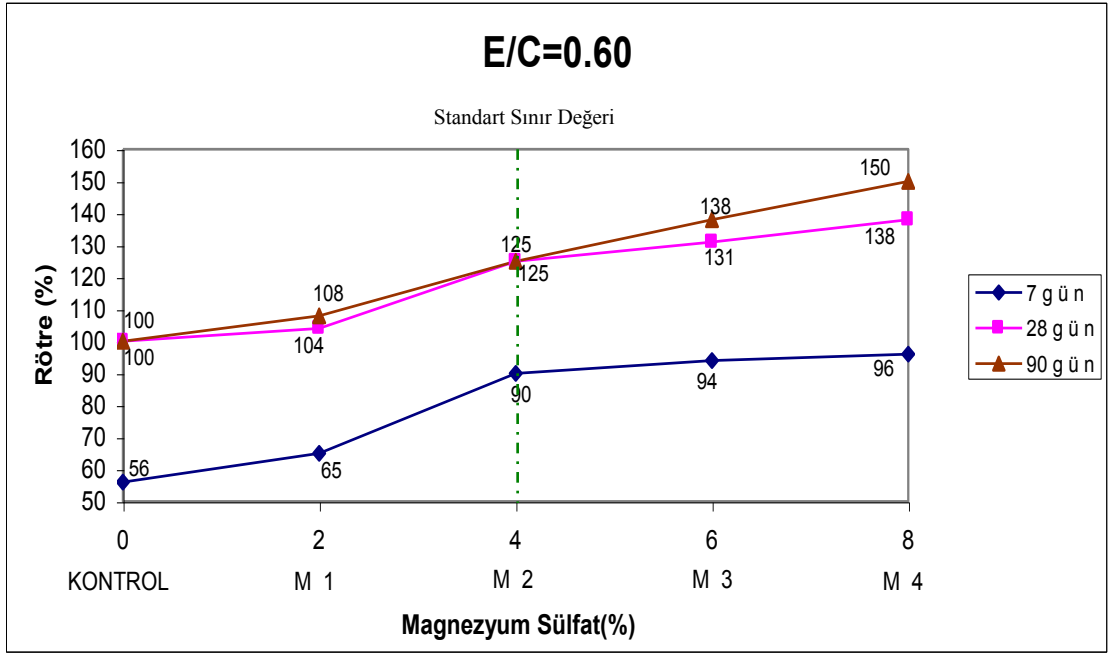
Şekil 5.40 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



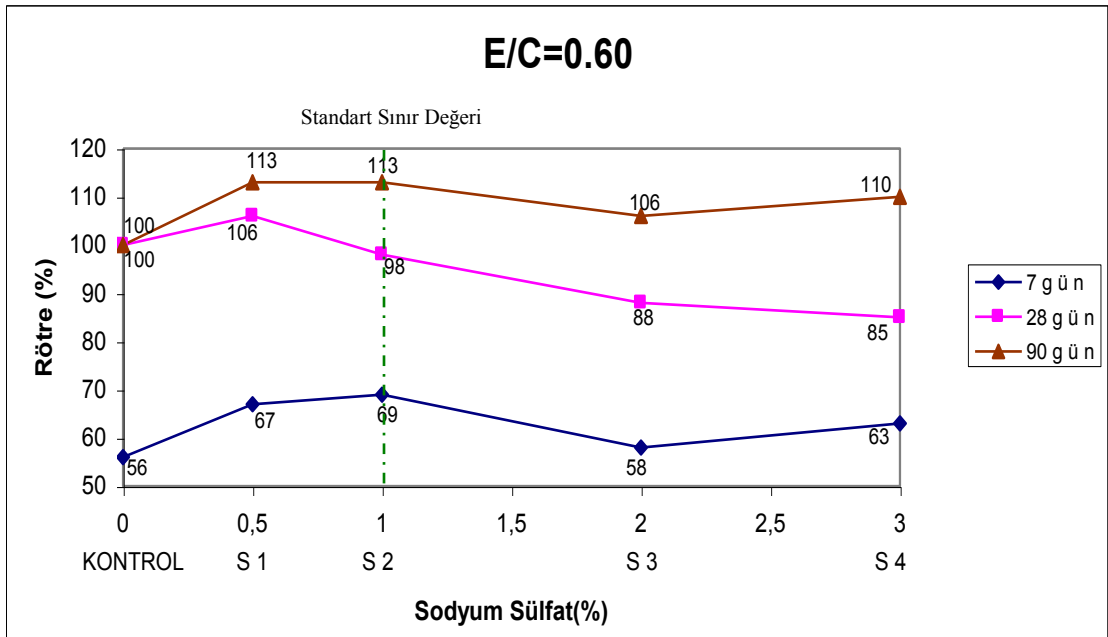
Şekil 5.41 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



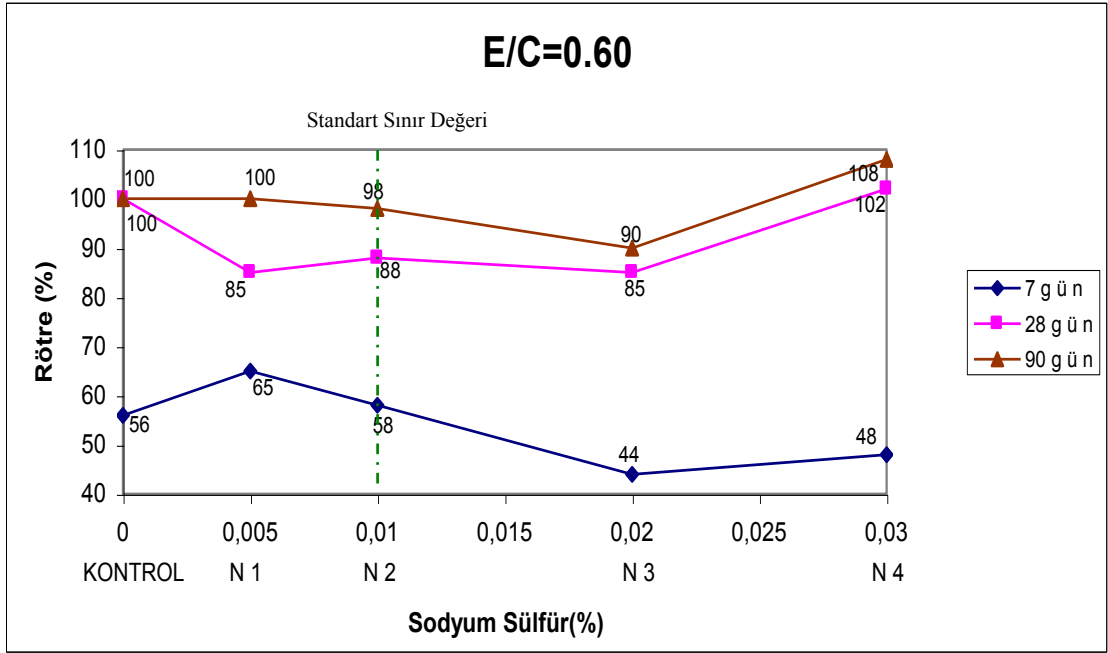
Şekil 5.42 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük ultrases hızı değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



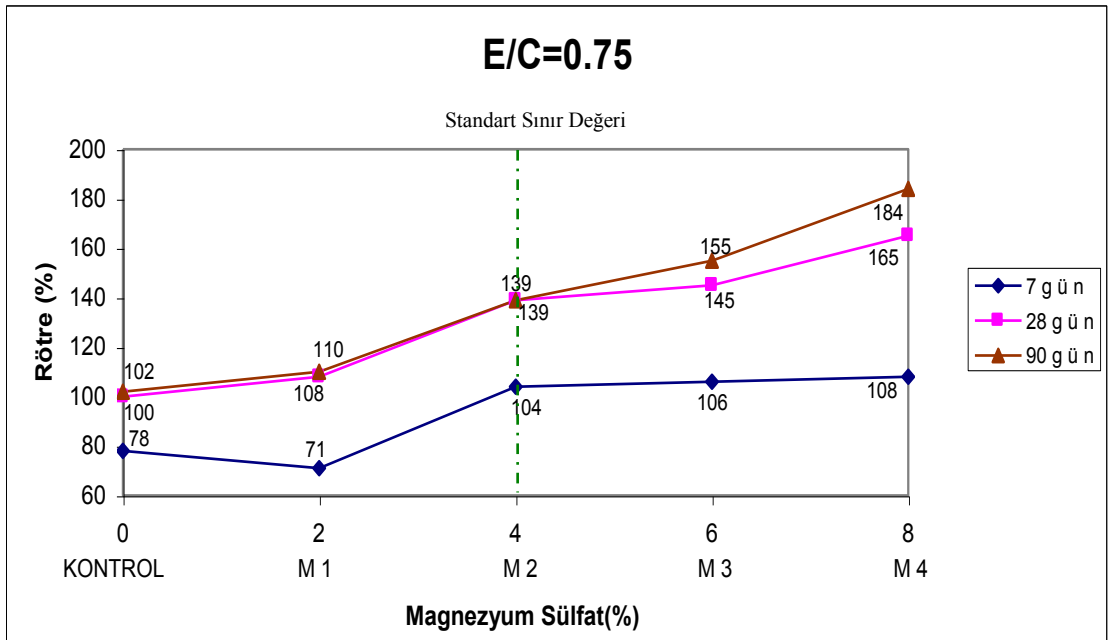
Şekil 5.43 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



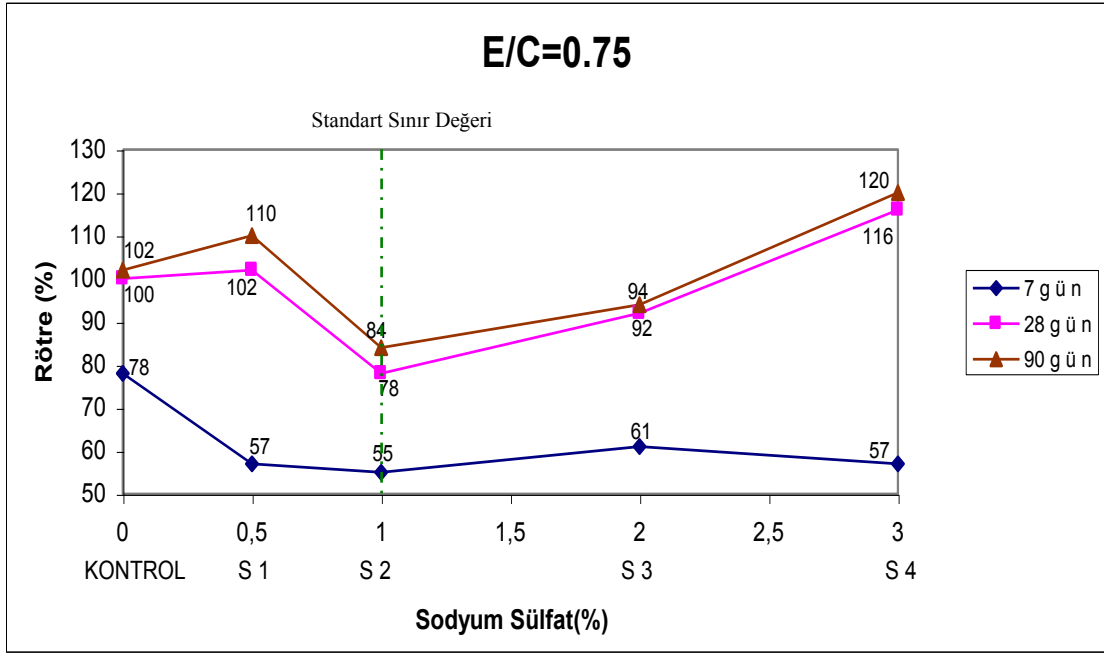
Şekil 5.44 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



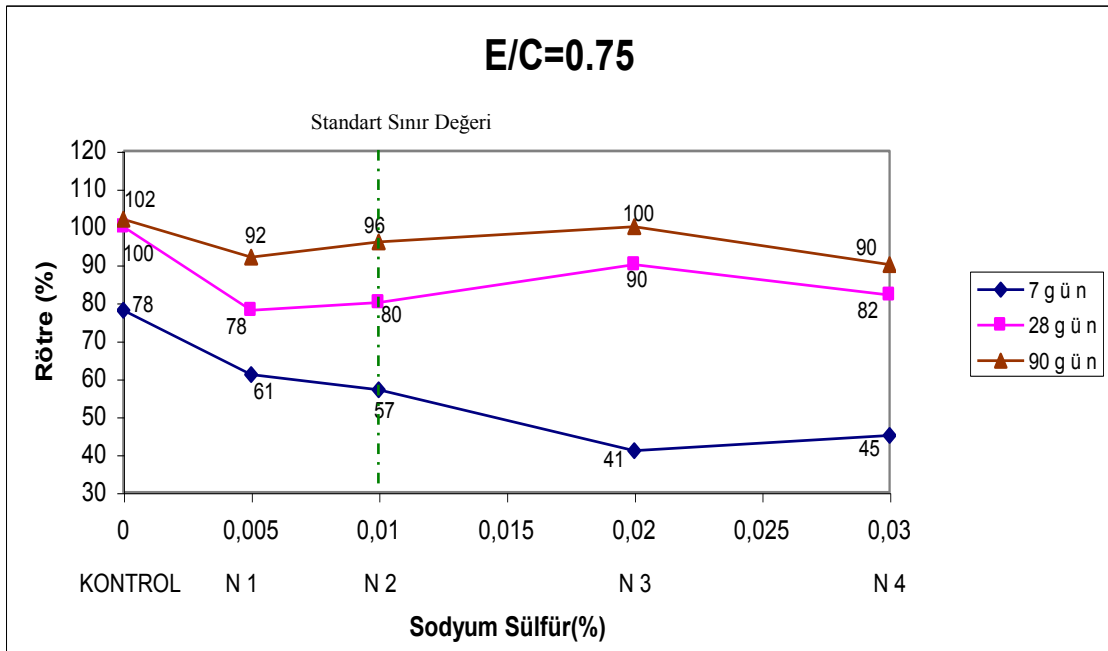
Şekil 5.45 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötür değerleri(oranlanmış)(E/C=0.60)



Şekil 5.46 Kontrol harcı ve magnezyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötür değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



Şekil 5.47 Kontrol harcı ve sodyum sülfat çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)



Şekil 5.48 Kontrol harcı ve sodyum sülfür çözeltili harçların 7, 28 ve 90 günlük rötre değerleri(oranlanmış)(E/C=0.75)

ÖZGEÇMİŞ

7 Aralık 1977 yılında Afyon’da doğan Kadir KILINÇ, ilk öğrenimini Salim Pancar İlkokulu’nda, orta öğrenimini Afyon Anadolu Öğretmen Lisesi’nde tamamladı. 1995 yılında öğrenimine başladığı Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 1999 yılında mezun oldu. 2000 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Kendisi halen Yapı Malzemesi Anabilim Dalında öğrenim görmektedir.