

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARIŞIM SUYUNDA BULUNAN MAGNEZYUM
SÜLFAT TUZUNUN UÇUCU KÜLLÜ BETONUN
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aslı KARDEŞLER**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2005

**KARIŞIM SUYUNDA BULUNAN MAGNEZYUM SÜLFAT
TUZUNUN UÇUCU KÜLLÜ BETONUN
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aslı KARDEŞLER
(501021118)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Haziran 2005**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet UYAN
Diğer Jüri Üyeleri Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü)**

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, değerli fikirleriyle bana yol gösteren, çalışmam boyunca bana ilgisi ve hoşgörüsüyle destek olan hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet UYAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda çalışmam sırasında, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Anabilim Dalı'ndaki araştırma görevlileri ve laboratuvar görevlilerine gösterdikleri ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca, benden maddi manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, her zaman ilgi ve hoşgörüsüyle yanımda olan aileme en içten sevgilerimle teşekkür ederim.

Haziran 2005

Aslı KARDEŞLER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xviii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
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	8
2.1.3 Karışım suyundaki yabancı maddelerin standartlarda bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri	9
2.1.4 Karışım suyundaki yabancı maddelerin taze beton özelliklerine etkisi	12
2.1.5 Karışım suyundaki yabancı maddelerin sertleşmiş beton özelliklerine etkisi	13
2.1.6 Magnezyum sülfat tuzunun etki mekanizması	16
2.2 Puzolanlar	17
2.2.1 Puzolanların tanımı ve sınıflandırılması	18
2.2.2 Puzolanik reaksiyon	18
2.2.3 Uçucu küller	19
2.2.4 Uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri	20
2.2.5 Uçucu küllerin kimyasal özellikleri	21
2.2.6 Uçucu küllerin fiziksel özellikleri	21
2.3 Puzolanların Sülfatlı Ortamlardaki Davranışları	22
2.4 Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar	23
2.5 Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi	31
2.6 Araştırmanın Kapsamı	31

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
3.1 Malzemenin Tanımlanması	33
3.1.1 Kum, kırmakum, kırmataş I	33
3.1.2.Çimento	33
3.1.3 Uçucu kül	35
3.1.4 Su	35
3.1.5 Magnezyum sülfat heptahidrat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	35
3.2 Beton Karışımları	36
3. 3 Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme, saklama, numune boyutları	38
3.4. Deneylerin Tanımlanması, Yöntemler	39
3.4.1 Çimento hamuru deneyleri	39
3.4.2 Taze beton deneyleri	39
3.4.3 Sertleşmiş beton deneyleri	40
4. DENEY SONUÇLARI	41
4.1. Çimento Hamuru Deney Sonuçları	41
4.2 Taze Beton Deney Sonuçları	42
4.2.1. Taze birim ağırlık deneyi sonuçları	42
4.2.2. Yayılma deneyi sonuçları	42
4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	42
4.3.1 Eğilme mukavemeti sonuçları	43
4.3.2 Basınç mukavemeti sonuçları	45
4.3.3 Ultrases hızı sonuçları	47
4.3.4 Rötire ve şişme sonuçları	49
4.3.5 Kılcallık sonuçları	51
4.3.6 Su emme sonuçları	52
5.DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	53
5.1 Çimento Hamuru Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
5.2 Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	54
5.2.1 Taze birim ağırlık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	54
5.2.2 Yayılma deney sonuçlarının değerlendirilmesi	54
5.3 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	55
5.3.1 Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	55
5.3.2 Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	57
5.3.3 Ultrases deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	60
5.3.4 Rötire ve şişme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	62
5.3.5 Kılcallık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	63
5.3.6 Su emme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	64

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
6.1 Sonuçlar	67
6.2 İleriki Çalışmalar İçin Öneriler	68
KAYNAKLAR	69
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	166

KISALTMALAR

ASTM	: American Society For Testing and Materials (Amerikan Deney ve Malzeme Cemiyeti)
BS	: British Standarts (İngiliz Standartları)
TS	: Türk Stnadrtları
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.....	9
Tablo 2.2	Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri.....	9
Tablo 2.3	Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri.....	9
Tablo 2.4	Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri.....	10
Tablo 2.5	Beton karışım suyu için kimyasal sınırlar	10
Tablo 2.6	Şüpheli sularda kabul kriterleri.....	10
Tablo 2.7	Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri.....	11
Tablo 2.8	Standartlarda ve diğer kaynaklarda sülfatlar için verilen sınırlar....	12
Tablo 2.9	Puzzolan sınıfları.....	18
Tablo 3.1	Malzemelerin fiziksel özellikleri.....	33
Tablo 3.2	Çimentonun fiziksel özellikleri	34
Tablo 3.3	Çimentonun mekanik özellikleri.....	34
Tablo 3.4	Çimentonun kimyasal özellikleri.....	35
Tablo 3.5	Uçucu külün kimyasal özellikleri.....	35
Tablo 3.6	Malzemelerin elek analizi sonuçları.....	36
Tablo 3.7	Kontrol betonu ve diğer betonların 1m ³ bileşimi ve taze beton özellikleri.....	37
Tablo 4.1	Sabit kıvam suyuyla yapılan çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş süreleri.....	41
Tablo 4.2	Yayılma değerleri.....	42
Tablo 4.3	Eğilme mukavemeti değerleri.....	43
Tablo 4.4	Eğilme mukavemeti oranlanmış değerleri.....	44
Tablo 4.5	Basınç mukavemeti değerleri	45
Tablo 4.6	Basınç mukavemeti oranlanmış değerleri.....	46
Tablo 4.7	Ultrases hızı değerleri.....	47
Tablo 4.8	Ultrases hızı oranlanmış değerleri.....	48
Tablo 4.9	Rötre değerleri.....	49
Tablo 4.10	Şişme değerleri.....	50
Tablo 4.11	Kılcallık katsayıları.....	51
Tablo 4.12	Su emme değerleri.....	52

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1	Malzemelerin granülometri eğrisi..... 36
Şekil 5.1	Kontrol çimento hamuru ve $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş sürelerindeki artma değerleri (%)..... 73
Şekil 5.2	%10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş sürelerindeki artma değerleri (%)..... 73
Şekil 5.3	%25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş sürelerindeki artma değerleri (%)..... 74
Şekil 5.4	%37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş sürelerindeki artma değerleri(%)..... 74
Şekil 5.5	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların taze birim ağırlık değerleri (oranlanmış)..... 75
Şekil 5.6	Kontrol betonu ve %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların taze birim ağırlık değerleri (oranlanmış)..... 75
Şekil 5.7	Kontrol betonu ve %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların taze birim ağırlık değerleri (oranlanmış)..... 76
Şekil 5.8	Kontrol betonu ve %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların taze birim ağırlık değerleri (oranlanmış)..... 76
Şekil 5.9	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların yayılma değerleri (oranlanmış)..... 77
Şekil 5.10	Kontrol betonu ve %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların yayılma değerleri (oranlanmış)..... 77
Şekil 5.11	Kontrol betonu ve %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların yayılma değerleri (oranlanmış)..... 78
Şekil 5.12	Kontrol betonu ve %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların yayılma değerleri (oranlanmış)..... 78
Şekil 5.13	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)..... 79
Şekil 5.14	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)..... 79
Şekil 5.15	%10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)..... 80
Şekil 5.16	%10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)..... 80

Şekil 5.17	%25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	81
Şekil 5.18	%25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	81
Şekil 5.19	%37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	82
Şekil 5.20	%37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	82
Şekil 5.21	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	83
Şekil 5.22	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	83
Şekil 5.23	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	84
Şekil 5.24	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	84
Şekil 5.25	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 90.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	85
Şekil 5.26	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 90.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	85
Şekil 5.27	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	86
Şekil 5.28	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	86
Şekil 5.29	%2 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	87
Şekil 5.30	%2 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	87
Şekil 5.31	%4 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	88
Şekil 5.32	%4 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	88
Şekil 5.33	%6 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	89
Şekil 5.34	%6 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	89
Şekil 5.35	%8 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	90

Şekil 5.36	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	90
Şekil 5.37	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	91
Şekil 5.38	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	91
Şekil 5.39	%10 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	92
Şekil 5.40	%10 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	92
Şekil 5.41	%25 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	93
Şekil 5.42	%25 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	93
Şekil 5.43	%37.5 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	94
Şekil 5.44	%37.5 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	94
Şekil 5.45	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltisi içermeyen betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	95
Şekil 5.46	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltisi içermeyen betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	95
Şekil 5.47	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	96
Şekil 5.48	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	96
Şekil 5.49	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	97
Şekil 5.50	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	97
Şekil 5.51	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	98
Şekil 5.52	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	98
Şekil 5.53	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	99
Şekil 5.54	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	99

Şekil 5.55	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	100
Şekil 5.56	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	100
Şekil 5.57	%10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	101
Şekil 5.58	%10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	101
Şekil 5.59	%25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	102
Şekil 5.60	%25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	102
Şekil 5.61	%37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	103
Şekil 5.62	%37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	103
Şekil 5.63	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	104
Şekil 5.64	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	104
Şekil 5.65	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	105
Şekil 5.66	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	105
Şekil 5.67	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 90.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	106
Şekil 5.68	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 90.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	106
Şekil 5.69	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	107
Şekil 5.70	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	107
Şekil 5.71	%2 $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	108

Şekil 5.72	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	108
Şekil 5.73	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	109
Şekil 5.74	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	109
Şekil 5.75	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	110
Şekil 5.76	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	110
Şekil 5.77	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	111
Şekil 5.78	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	111
Şekil 5.79	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	112
Şekil 5.80	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	112
Şekil 5.81	%10 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	113
Şekil 5.82	%10 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	113
Şekil 5.83	%25 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	114
Şekil 5.84	%25 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	114
Şekil 5.85	%37.5 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	115
Şekil 5.86	%37.5 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	115
Şekil 5.87	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltisi içermeyen betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	116
Şekil 5.88	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltisi içermeyen betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	116
Şekil 5.89	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	117
Şekil 5.90	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	117
Şekil 5.91	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	118
Şekil 5.92	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	118
Şekil 5.93	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	119
Şekil 5.94	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	119

Şekil 5.95	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	120
Şekil 5.96	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	120
Şekil 5.97	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	121
Şekil 5.98	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	121
Şekil 5.99	%10 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	122
Şekil 5.100	%10 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	122
Şekil 5.101	%25 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	123
Şekil 5.102	%25 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	123
Şekil 5.103	%37.5 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	124
Şekil 5.104	%37.5 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	124
Şekil 5.105	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların 7.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	125
Şekil 5.106	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların 7.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	125
Şekil 5.107	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların 28.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	126
Şekil 5.108	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların 28.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	126
Şekil 5.109	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların 90.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	127
Şekil 5.110	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların 90.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	127
Şekil 5.111	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	128
Şekil 5.112	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	128
Şekil 5.113	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	129
Şekil 5.114	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	129

Şekil 5.115	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	130
Şekil 5.116	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	130
Şekil 5.117	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	131
Şekil 5.118	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	131
Şekil 5.119	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	132
Şekil 5.120	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	132
Şekil 5.121	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	133
Şekil 5.122	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	133
Şekil 5.123	%10 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	134
Şekil 5.124	%10 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	134
Şekil 5.125	%25 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	135
Şekil 5.126	%25 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	135
Şekil 5.127	%37.5 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	136
Şekil 5.128	%37.5 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	136
Şekil 5.129	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltisi içermeyen betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	137
Şekil 5.130	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltisi içermeyen betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	137
Şekil 5.131	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	138
Şekil 5.132	%2 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	138
Şekil 5.133	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	139
Şekil 5.134	%4 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	139
Şekil 5.135	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	140
Şekil 5.136	%6 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	140
Şekil 5.137	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	141

Şekil 5.138	%8 MgSO ₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	141
Şekil 5.139	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların rötre değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri.....	142
Şekil 5.140	%10 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri.....	142
Şekil 5.141	%25 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri.....	143
Şekil 5.142	%37.5 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri.....	143
Şekil 5.143	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların rötre değerlerinin günlere göre MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri.....	144
Şekil 5.144	%10 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin günlere göre MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri.....	144
Şekil 5.145	%25 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin günlere göre MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri.....	145
Şekil 5.146	%37.5 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin günlere göre MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri.....	145
Şekil 5.147	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların şişme değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri.....	146
Şekil 5.148	%10 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri.....	146
Şekil 5.149	%25 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri.....	147
Şekil 5.150	%37.5 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri.....	147
Şekil 5.151	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların şişme değerlerinin günlere göre MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri.....	148
Şekil 5.152	%10 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin günlere göre MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri.....	148
Şekil 5.153	%25 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin günlere göre MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri.....	149
Şekil 5.154	%37.5 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin günlere göre MgSO ₄ yüzdelerindeki değişimleri.....	149
Şekil 5.155	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların kılcallık katsayısı değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	150
Şekil 5.156	Kontrol betonu ve MgSO ₄ çözeltili betonların kılcallık katsayısı değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	150
Şekil 5.157	%10 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	151
Şekil 5.158	%10 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	151
Şekil 5.159	%25 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin MgSO ₄ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	152

Şekil 5.160	%25 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	152
Şekil 5.161	%37.5 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	153
Şekil 5.162	%37.5 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	153
Şekil 5.163	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre magnezyum sülfat yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	154
Şekil 5.164	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre magnezyum sülfat yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	154
Şekil 5.165	%10 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	155
Şekil 5.166	%10 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	155
Şekil 5.167	%25 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	156
Şekil 5.168	%25 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	156
Şekil 5.169	%37.5 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	157
Şekil 5.170	%37.5 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	157
Şekil 5.171	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	158
Şekil 5.172	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	158
Şekil 5.173	%10 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	159
Şekil 5.174	%10 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	159
Şekil 5.175	%25 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	160

Şekil 5.176	%25 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	160
Şekil 5.177	%37.5 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	161
Şekil 5.178	%37.5 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	161
Şekil 5.179	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	162
Şekil 5.180	Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	162
Şekil 5.181	%10 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	163
Şekil 5.182	%10 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	163
Şekil 5.183	%25 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	164
Şekil 5.184	%25 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	164
Şekil 5.185	%37.5 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş).....	165
Şekil 5.186	%37.5 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş).....	165

SEMBOL LİSTESİ

C	: Çimento
E	: Su
U	: Uçucu kül
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
k	: Kılcallık katsayısı
S_a	: Ağırlıkça su emme değeri

BETON KARIŞIM SUYUNDAKİ MAGNEZYUM SÜLFAT ($MgSO_4$) TUZUNUN UÇUCU KÜLLÜ BETON DAYANIMINA ETKİSİ

ÖZET

Beton üretiminde kullanılan karışım suyu içerisinde bulunabilecek yabancı maddeler, karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Bu maddelerin, standartlarda belirtilen değerlerden fazla olması betonda önemli hasarlara neden olmaktadır.

Betonda mineral katkı kullanılması, taze ve sertleşmiş betonun bir çok özelliğini olumlu yönde etkilemektedir. Mineral katkılardan olan uçucu küller, beton endüstrisinde çeşitli şekillerde kullanılabilir. Aynı zamanda uçucu küllerin, yapılan araştırmalarda sertleşmiş betonun sülfata karşı direncini arttırdığı saptanmıştır.

Bu çalışmada karışım suyunda bulunan magnezyum sülfat tuzunun uçucu kül katılmış beton üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada çimento tipi sabit seçilmiş ve tüm deneylerde portland çimentosu (PÇ 42,5) kullanılmıştır.

Çalışmada su/bağlayıcı oranı 0.75 olan ve 400 kg/m^3 , 360 kg/m^3 , 300 kg/m^3 , 250 kg/m^3 dozajlı dört farklı tip beton üretilmiştir. Magnezyum sülfat tuzunun farklı oranlarda çözeltileri hazırlanarak karışım suyuna ilave edilmiş ve karışım suyu olarak kullanılmıştır. Ayrıca üretilen betonlara katkı olarak uçucu kül de ilave edilmiştir. $MgSO_4$ ile 1lt. su için %2.0, %4.0, %6.0 ve %8.0 çözeltileri ve uçucu kül için de çimento miktarının %10, %25 ve %37.5 değerleri alınarak üretilen betonlara eklenmiştir. Kontrol için şahit su ile şahit beton üretilmiştir. Sonuçta toplamda $4 \times 5 = 20$ farklı karışım elde edilmiştir. Ultrases, basınç ve eğilme mukavemeti, rötre, şişme deneyleri için $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$. boyutlarında her bir karışım için toplam 16 adet ve kılcallık ve su emme deneyleri için $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$. boyutlarında toplam 1 adet numune üretilmiştir. Üretilen betonların işlenebilme özellikleri sarsma tablası deneyi ile tayin edilmiştir; taze birim ağırlık değerleri de ölçülerek beton bileşimlerinin gerçek değerleri bulunmuştur. Karışım suyuna eklenen magnezyum sülfat tuzunun priz sürelerine olan etkisi ise Vicat aleti ile priz süresi deneyleri yapılarak bulunmuştur. Üretilen numunelerin 6 adedi $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ lik su içinde deney gününe kadar saklanmıştır. Bu numuneler üzerinde (2 adedi 7 gün , 2 adedi 28 gün , 2 adedi 90 gün) ultrases , eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aynı deneyler 20°C ve %50~60 rutubetli ortamda saklanan numuneler için de tekrarlanmıştır. Numunelerden 2 tanesinde su içinde şişme deneyi, kalan 2 adet numunede ise 20°C ve %50~60 rutubetli ortamda saklanarak rötre deneyleri yapılmıştır.

10x10x50cm. boyutundaki prizma numunesi 2.günde ortadan kesilip yarısı havada yarısı su içinde tutulmuştur.Bu numunelerden 28.günde ikişer adet 10cm.lik küpler çıkartılmış ve 28.ve 90. günlerde kılcallık deneyleri yapılmıştır. Deneyler 28. ve 90. günlerde aynı 2 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.Sonuç olarak karışım suyundaki magnezyum sülfat tuzunun, uçucu kül katkısı kullanılarak üretilen taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda uçucu külün sülfata karşı direnci arttırdığı ve mukavemet gelişiminde etkili olduğu görülmüştür. Ancak bu etkisinin uzun vadede ortaya çıktığı da belirlenmiştir. Aynı zamanda magnezyum sülfatın standartlarda verilen değerlerden çok daha az miktarlarda bulunduğu takdirde de zararlı olabileceği gözlenmiştir.

THE EFFECTS OF MAGNESIUM SULFATE (MgSO_4) CONTENTS OF MIXING WATER ON THE PROPERTIES OF FLY ASH CONCRETE

SUMMARY

One of the main problems in the production of concrete is the presence of impurities in mixing water. If the amounts of this impurities are over the limits specified in the related standards, they may cause important damages on concrete.

Using mineral admixture in concrete affects many properties of fresh and hardened concrete beneficial. Fly ash, which is a mineral admixture, can be used in many way in concrete industry. However, the studies about fly ash shows that the use of fly ash develop sulfate resistance in hardened concrete.

In this study, the effects of magnesium sulfate present in mixing water on the properties of Portland cement with fly ash were examined. In the experiments, the type of cement was kept constant and it was Portland cement.

Four different types of concrete were prepared with the 0.75 water/binder ratio and four different dosages respectively, 400 kg/m^3 , 360 kg/m^3 , 300 kg/m^3 and 250 kg/m^3 . Magnesium sulfate solutions with different proportions were added into the mixing water. Also, fly ash was added in concrete as admixture. MgSO_4 was added respectively, 2, 4, 6 and 8 per cent for 1 lt water and fly ash was added respectively, 10, 25 ve 37.5 per cent of the dosage of cement. Also, sample were prepared with tap water for checking. Totally, five types of mixing water were prepared with four different proportions of fly ash and tap water. Altogether 16 samples, measuring $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ and one sample, measuring $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$, were prepared for shrinkage and the other experiments. The workability and unit weight of fresh concrete were determined. The initial and final setting times of cement were determined according to the related standards. 6 samples were cured under water at $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ and kept up to the experiment. This samples were subjected to ultrasonic pulse velocity, compressive strength and flexural strength tests at the ages of 7, 28 and 90 days. Same tests were repeated for the samples which were kept at 20°C and % 50~60 humidity. 2 samples were kept under water for swelling test and the remaining 2 samples were kept at 20°C and % 50~60 humidity for shrinkage tests.

The sample measuring $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$. was cut in two pieces at 2nd day. Half of the sample was kept in laboratory room, the other half of sample was kept under water. At the 28th day this samples were cut in to pieces measuring $10 \times 10 \text{ cm}$. cubes and were subjected to permeability tests at the 28th and 90th days.

Finally the effects of magnesium sulfate contents of mixing water on the properties of fresh and hardened fly ash were determined.

Experiments have shown that fly ash increases sulphate resistance and is effective on strength development. However this effect appears in long term. Also it was observed in case of lower magnesium sulphate than given in standards, that it can be detrimental.

1.GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Betonun özellikleri, önce, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton karışımında kullanıldıkları miktarlara bağlıdır. Bu malzemelerden biri de betonun karılmasında kullanılan karışım suyudur. Karışım suyunda bulunan yabancı maddelerin, taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine olumsuz etkileri olduğu yapılan araştırmalarla belirlenmiştir. Ayrıca betonda kullanılan organik veya inorganik maddeler betonda ciddi hasarlara neden olabilmektedir.

Karışım suyunda bulunan magnezyum sülfat tuzunun da betona çok zararlı etkileri vardır. Bu tuz için standartlarda sınır değerler verilmiştir. Ancak yapılan araştırmalar kısıtlı olduğu için kesin bir yargı bulunmamaktadır. Konunun önemli olması ve yeterli bilgiye sahip olunmaması dolayısıyla bu konuda daha çok araştırma yapılmalıdır. Böylece magnezyum sülfat tuzunun, karışım suyunda farklı parametrelere bağlı olarak ne miktarda bulunması gerektiği hakkında daha geniş bir bilgi birikimine ulaşılabilir.

İnşaat mühendisliği alanı, atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi açısından, yüksek hacimlerde malzeme kullanımına olanak verdiği için çok uygundur. Atık malzeme olarak ortaya çıkan uçucu kül, ülkemizde giderek artan enerji ihtiyacı nedeniyle özellikle son yıllarda çok fazla miktarda bulunmaktadır. Betonda kullanımının, birçok faydalı etkileri vardır. Bunların arasında, taze betonda işlenebilmeyi arttırması, taze betonun terlemesini azaltması, hidrasyon ısını azaltması, alkali-agrega reaksiyonunu azaltması, sülfata dayanıklılığı arttırması, ilerleyen yaşlarda betonun durabilitesini arttırması ve ekonomiklik sağlaması sayılabilir.

Bu çalışmada, karışım suyu olarak dört farklı konsantrasyonda magnezyum sülfat çözeltisi ve çimentoya ağırlıkça dört farklı oranda uçucu kül katılarak beton üretilmiştir. Üretimde Portland çimentosu (PÇ 42.5) kullanılmış ve su/bağlayıcı oranı 0.75 seçilip sabit tutulmuştur.

MgSO₄ ile 1 lt. su için %2.0, %4.0, %6.0 ve %8.0 çözeltileri hazırlanmış ve beton üretiminde karışım suyu olarak kullanılmıştır. Yani 300 kg su için, 6kg, 12kg, 18kg ve 24 kg miktarları 1m³ beton bileşimi için hesaplanarak çözeltiler hazırlanmıştır. Çimentonun yerine %10, %25 ve %37.5 oranlarında uçucu kül ilave edilmiştir. Ayrıca kontrol için şebeke suyu ile betonlar üretilmiştir. Böylece toplam 5×4=20 farklı seri üretim yapılmıştır. Üretilen betonların işlenebilme özellikleri sarsma tablası deneyi ile tayin edilmiştir; aynı zamanda taze birim ağırlık değerleri de bulunmuştur. Karışım suyuna eklenen magnezyum sülfat tuzunun priz sürelerine olan etkisi belirlenmiştir. Sertleşmiş betonlar üzerinde, 7, 28 ve 90. günlerdeki basınç, ultrases, eğilme deneyleri gerçekleştirilerek, bu değerlerin değişimi belirlemiştir. Aynı zamanda, 1. günden itibaren 90. güne kadar boy değişimi ölçümleri yapılarak, rötredeki ve şişmedeki değişiklikler de saptanmıştır.

2.GENEL BİLGİLER

2.1 Karışım Suyu

Betonda kullanılan karışım suyunun üç ana fonksiyonu vardır: (1) çimentoyla reaksiyona girerek hidrasyonun gerçekleşmesini; (2) yağlayıcı bir madde gibi davranarak taze betonun işlenebilirliğine yardım etmek; ve (3) hidrasyon olayının bağlayıcılığı için gerekli alanı sağlamaktır. Pratikte yeterli işlenebilirliği sağlayacak su miktarı, hidrasyonun tamamlanması için gerekli su miktarından her zaman fazladır [1].

2.1.1 Karışım suyu uygunluğu

Karışım suyu beton yapımında önemli bir bileşen olmasına rağmen bu konuda çok fazla bilgi mevcut değildir. Oysaki beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun kalitesi ve miktarı betonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir [2].

İçilebilir suların beton karışımında kullanılmasıyla, beton özelliklerinde çoğu zaman olumsuzluk görülmemekle birlikte, böyle bir genelleme yapılması yine de tam olarak doğru değildir.

Beton karışım suyu olarak kullanılacak olan su, betonun prizine, dayanımına, dayanıklılığına ve görünümüne olumsuz etki yapabilecek türde ve miktarda yabancı maddeler içermemelidir.

Beton karışımında kullanılacak suyun içerisinde istenmeyen miktarlarda yabancı maddelerin yer alması durumunda, taze betonun priz süresi, sertleşmiş betonun dayanımı, dayanıklılığı ve yüzeyi etkilenmiş olmaktadır. Ayrıca, betonarme yapılarıdaki betonun içerisinde yer alan demir donatılar daha kolay ve daha çok miktarda korozyon gösterebilmektedir [2].

Karışım suyu aşırı oranda istenmeyen organik maddeler veya inorganik öğeler içermemelidir. Bununla birlikte, karışım suyunun kalitesi ile ilgili ulaşılabilir açıkça yazılmış standartlar yoktur [3].

İçme suyunun karışım suyu olarak kullanılması genellikle tatmin edici olmasına rağmen bazı istisnalar vardır. Mesela, bazı kurak bölgelerde yerel içme suyu tuzludur ve aşırı miktarda klorür içerebilir. Ayrıca bazı doğal mineral suları da istenmeyen miktarlarda alkali karbonatlar ve bikarbonatlar içerebilir ki bunlar alkali-silika reaksiyonuna katkıda bulunabilirler.

Az asitli doğal sular zararsızdır; fakat humik veya organik asit içeren sular betonun sertleşmesini olumsuz etkileyebilir. Böyle sular, alkalimli sular gibi test edilmelidir.

Al-Manaseer, yüksek yüzdelerde sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeren suların, Portland çimentosuyla yapılan ve uçucu kül içeren betonların mukavemetini olumsuz etkilemediğini göstermiştir. Bununla beraber, uzun vadeli davranışlarıyla ilgili bir bilgi yoktur.

Karışım suyundaki yosunlar, mukavemetteki düşüşe bağlı olarak hava sürüklenmesine neden olabilirler [3].

İçmeye uygun herhangi bir su, karışım suyu olarak kullanılabilir. Diğer yandan su, karışım suyu olarak uygun olabilir ama içmeye uygun olmayabilir [4].

Karışım suyu için şartlar genellikle çok katı değildir ve “temiz olmalı, sağlığa zararlı maddeler içermemelidir” şeklinde tanımlanır.

Genellikle güçlendirilmesi gereken betonda deniz suyunun, karışım suyu olarak kullanılmaması gerektiği düşünülür; fakat mukavemette hissedilmeyecek veya en fazla %15’e kadar bir azalmaya sebep olabilecek miktarda deniz suyunun kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir [4].

Herhangi bir doğal kaynaktan alınan su, karışım ve kür suyu olarak deney yapılmaksızın; mesela bir göl veya akarsudan alınan su temizse ve istenen şartları sağlayabiliyorsa, kullanılabilir. Kötü kokulu ve pis su birikintilerinden ve bataklıklardan kesinlikle kaçınılmalıdır [5].

Genellikle zararlı maddelerin varlığı, suyun renginden, tadından veya kokusundan anlaşılabilir. Eğer su makul ölçüde temiz ise, acı veya tuzlu bir tadı yoksa muhtemelen uygundur.

Kimyasal maddeler üreten fabrikaların kanalizasyonlarının boşaltıldığı kaynaklardan alınan suyu, beton karışım suyu olarak kullanma konusunda çok itinalı davranmak gerekir. İlk olarak dikkat edilecek husus suyun kokusu ve rengi, aynı zamanda çalkandığında bulanıklığının uzun süre kalmaması olmalıdır [6].

Üzerinde yağ tabakasının varlığı gözle ayırt edilebilen sular beton karışım suyu olarak elverişli değildir.

Beton karışım suyunda en tehlikeli faktör fazla miktarda sülfat iyonlarının bulunmasıdır. Bu durum genellikle suyun önemli miktarda magnezyum sülfat ($MgSO_4$) içerdiğini gösterir. $MgSO_4$ tuzu prizden önce, çimentonun serbest kireciyle magnezyum hidroksit ve jips olmak üzere reaksiyona girdiği için zararlıdır [6].

Beton karışım suyu yeterli derecede temiz olmalı, silt, organik madde, alkali tuzlar ve diğer zararlı maddelerden içermemelidir. Bir dereden alınan ve içinde maddeler taşıyan su kullanılmasına hazırlık olmak üzere bir dinlenme havuzunda dinlendirilmeli veya herhangi bir metotla temizlenmelidir. Karışım suyu için %2 lik bir bulanıklık limiti konulmuştur.

Su temiz olduğu, tuzlu ve acımsı bir tadı olmadığı zaman karışım suyu olarak kimyasal deneyler yapmadan kullanılabilir. Sert sularda yüksek bir sülfat konsantrasyonu bulunması daha büyük ihtimal dahilindedir. Arazide çalışırken bütün su kaynaklarından usulüne uygun şekilde numuneler alınmalıdır [7].

Karışım suyunun, priz olayına, ileriki yaşlarda betonun kimyasal dayanıklılığına negatif etki yapmaması gerekir [8].

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 2gr., çözülmüş madeni tuzlar için ise 15gr. 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 [8].

Kurak bölgelerde sular, betona zarar verebilecek yüksek oranda çözülmüş tuzlar içerebilir. Yüzey suları, organik özelliğe sahip betonun prizini geciktirici humik maddeler içerebilir [9].

Benzer şekilde, yüksek miktarda alkali metal, sodyum, potasyum, karbonat ve bikarbonat olması alkali-silika reaksiyonuna katkıda bulunabilir. Karışım suyunun pH değeri için 4.5 ile 9.0 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Literatür [4]'de ise pH değerinin 6.0-8.0 arasında olması gerektiği söylenmiştir. Asitlik, örnek olarak çözünür karbondioksit nedeniyle, çimentonun alkaliliğiyle hızla nötrleşir. pH değeri 4.5'tan az olan doğal sularda Portland çimentosunun priz süresini yavaşlatan humik asitler ve 9.0'dan büyük değerlerde alkali karbonatlar var olabilir. Suyun kimyasal analizi alkali karbonatların varlığını gösterecektir; fakat humik asidin varlığından şüphe edilirse çimento ve betonun fiziksel testlere tabi tutulması gereklidir.

BS 3148'de çimentonun priz süresi ve beton küplerinin mukavemetiyle ilgili; karışım suyunun uygunluğu, betonun mukavemetinde izin verilen azalmalar ve prizdeki gecikmeleri belirten değerler verilmiştir. Bu deneyler, suyun kalitesiyle ilgili herhangi bir şüphe olduğunda yapılmalıdır. Bununla beraber, işlemde geçirilmemiş sular, yüzey suları bileşimlerinde sezonsal değişimlere maruzdur. Uzun vadede, başlangıç testleri suyun kalitesini yeterli derecede sağlayamayabilir ve suyun fiziksel özelliklerinde değişimlerden söz edilirse ileride test yapmak akıllıca olur. Bu değişimler, renk, koku, yosun oluşumu veya diğer organik maddelerin artması olarak tanımlanabilir [9].

Suyun kokusu, rengi ve tadı alışılmıştan farklı ise veya su bulanık ise veya karıştırıldığında gaz çıkartıyor, köpük yaratıyor ise, böyle sular karışım suyu olarak kullanılmamalıdır [10].

Bataklık suları, asitli alkali sular, endüstriyel tesislerden çıkan sular, betonun karışımında kullanılmamalıdır.

Karışım suyunun uygunluğu aynı zamanda deneysel yöntemlerle de belirlenebilmektedir. Uygulamada en çok, 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 karşılaştırılması yöntemi kullanılır.

Şüpheli suyla yapılan numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları, şahit suyla yapılan numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımlarının en az %90'ı kadar olmalıdır [10].

BS 3148 şartnamesinde [11], şüpheli su ile yapılan beton numunelerinin basınç dayanımlarının, şahit su ile yapılan beton numunelerinin basınç dayanımlarının %90'ından daha az olmaması gerektiği belirtilmiştir. Bu değer dışında kalındığı zaman, suyun zararlı etkilerinin bulunabileceğinin ve şüpheli su ile yapılan beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının, şahit su ile yapılan numunelerin %80'inden daha az olmaması gerektiği belirtilmiştir. AASHTO 26 şartnamesi [12], şüpheli su ile yapılan beton numunelerinin basınç dayanımlarının, şahit su ile yapılanlarınkinden %10 'dan fazla fark göstermemesi gerektiğini belirtmektedir. ASTM C94-98c şartnamesinde ise [12], 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 EN1008 şartnamesinde de yine [13], uygunluğu araştırılan su ile yapılan beton veya harç numunelerinin 7 günlük ortalama basınç dayanımının, aynı yaşta deneye tabi tutulan saf su veya deiyonize su ile hazırlanmış numune dayanımının %90'ından daha küçük olmaması gerektiği belirtilmiştir. TS 11222 (şubat) şartnamesindeyse [14], kuşku su ile imal edilen betonun 7 günlük basınç mukavemetinin, şehir şebeke suyu ile imal edilen betonun mukavemetinin en az %90 'ı kadar olması gerektiği belirtilmiştir.

Priz süreleri ile ilgili olarak hazırlanan şartnamelerde farklı değerler gösterilmiştir. BS 3148 şartnamesinde, şüpheli suyla yapılan çimento hamurunun priz başlama ve priz bitiş sürelerinin, şahit suyla yapılan çimento hamurunun priz başlama ve priz bitiş sürelerinden 30 dakikadan daha fazla farklılık göstermemesi gerektiği belirtilmiştir. ASTM C94-98c 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 şartnamesindeyse, uygunluğu araştırılan su ile yapılan beton numunelerde elde edilen priz başlangıç süresinin, bir saatten daha az olmaması ve saf su veya deiyonize su ile yapılan beton numunelerde elde edilen priz başlangıç süresine göre %25'ten daha fazla sapma göstermemesi; priz bitiş süresinin de 12 saatten daha uzun olmaması ve saf su veya deiyonize su ile yapılan beton numunelerde elde edilen priz sona erme süresine göre %25'ten fazla sapma göstermemesi gerektiği belirtilmiştir.

TS 11222 (şubat) şartnamesindeyse, şüpheli suyla yapılan çimento hamurunun priz başlangıcının şehir şebeke suyuna nazaran en geç 30 dakika, priz sona ermesinin şehir şebeke suyuna nazaran en çok 60 dakika önce, en geç 90 dakika sonra olması gerektiği söylenmiştir.

2.1.2 Karışım suyundaki yabancı maddeler

Karışım suyu içinde birçok yabancı madde bulunabilmektedir [10].

Bu maddeler şöyle sıralanabilir.

- Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar
- Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar
- Magnezyum tuzları
- Demir tuzları
- Amonyum tuzları
- Serbest organik asitler
- Klorür ve sülfatlar
- Serbest asitler
- Alkali bileşikler (Sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit)
- İnorganik tuzlar
- Kilt ve silt gibi askıda kalan katı maddeler
- Şeker
- Klorür ve sülfatlar
- Hidroklorik ve sülfürik asitler
- Yağlar
- Yosunlar

Bu maddelerin taze ve sertleşmiş beton üzerinde çeşitli zararlı etkileri bulunmaktadır.

2.1.3 Karışım suyundaki yabancı maddelerin standartlarda yer alan bulunabilecekleri maksimum konsantrasyon değerleri

Karışım suyunda bulunan yabancı maddelerin bulunabilecekleri maksimum değerlerle ilgili olarak Türk ve yabancı standartlarda verilen değerler aşağıda belirtilmiştir.

Literatür [11]'de verilen değerler şöyledir.

Tablo 2.1: Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Karbonat ve bikarbonatlar	< 1000mg/l
Kalsiyum klorür	< 500mg/l
Sülfatlar (SO ₃ olarak)	< 1000mg/l

Literatür [10,12]'ye göre ise önerilen değerler aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.2: Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Organik maddeler	en çok %0.02
İnorganik maddeler	en çok %0.30
Kükürt anhidriti	en çok %0.04
Alkali klorid (NaCl olarak)	en çok %0.10
pH	6-9

Literatür [12] için değerler,

Tablo 2.3: Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Kimyasal maddeler, (karma suyundaki konsantrasyon, ppm)		En Çok
Klorür, Cl	Öngerilmeli betonda	500
	Diğer donatılı betonlarda	1000
Sülfat, SO ₄ ⁻²		3000
Alkaliler, (NaO+KO)		600
Toplam Katı Madde		50000

Literatür [13]'de gösterilen değerler de aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.4: Karışım suyu içerisindeki yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Kimyasal maddeler, (karma suyundaki konsantrasyon, ppm)	En Çok
Sülfat muhtevası (SO_4^{2-})	2000 mg/L
Suyun eşdeğer sodyum oksit muhtevası	100 mg/L
Çözünmüş madde- NaCl	100 mg/L
Çözünmüş madde- NaCl- Na_2SO_4	100 mg/L
Çözünmüş madde- NaCl- Na_2SO_4 - Na_2CO_3	100 mg/L
Şekerler	100 mg/L
Fosfatlar (P_2O_5 olarak ifade edilen)	100 mg/L
Nitratlar (NO_3 olarak ifade edilen)	500 mg/L
Kurşun (Pb^{2+} olarak ifade edilen)	100 mg/L
Çinko (Zn^{2+} olarak ifade edilen)	100 mg/L

Literatür [14] değerleri,

Tablo2.5: Beton karma suyu için kimyasal sınırlar

Kimyasal Maddeler,(karma suyundaki konsantrasyon,ppm)		En Çok
Klorür	Öngerilmeli betonda	500
	Diğer donatılı betonlarda	1000
Sülfat, SO ₄ ²⁻		3000
Alkaliler,(Na ₂ O+K ₂ O)		600
Toplam Katı Madde		50000
pH		7

Tablo2.6: 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

Literatür [15]'de ise yabancı maddeler için aşağıdaki şartlar belirtilmiştir.

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 ve kükürdün maksimum miktarları aşağıdaki gibi olmalıdır.

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

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

Ayrıca literatür [10] 'da ve Indian Concrete Journal [12] aşağıdaki gibi bir çizelge de mevcuttur.

Tablo2.7: Karışım suyunda yabancı maddelerin bulunabilecek maksimum konsantrasyon değerleri

Yabancı Madde	Bulunabilecek Maksimum Konsantrasyon
Kilt ve silt gibi suda askıda kalan katı maddeler	0.2
Yağ	Çimento ağırlığının %2'si
Yosunlu maddeler	%0.05-0.1
Şeker	%0.05
Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar	%0.04
Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar	%0.1
Kalsiyum klorür	Çimento ağırlığının %2'si
Sodyum klorür	%2.0
Magnezyum klorür	%4.0
Sodyum sülfat	%1.0
Magnezyum sülfat	%4.0
Fosfat, Arsenat, Borat	%0.05
Demir tuzları	%4.0
Hidroklorik ve sülfürik asitler	%1.0
Sodyum hidroksit	Çimento ağırlığının %0.5'i
Potasyum hidroksit	Çimento ağırlığının %1.2'si

Bu tabloda karışım suyunda bulunabilecek birçok yabancı maddeye ve bunların maksimum konsantrasyon değerlerine yer verilmiştir.

Aynı zamanda Tablo 2.8 'de standartlarda ve diğer kaynaklarda sülfatlar için verilen sınırlar toplu olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.8: Standartlarda ve diğer kaynaklarda sülfatlar için verilen sınırlar

Standartlar ve Diğer kaynaklar	Bulunabilecek Maksimum Konsantrasyon
BS 3148 (SO ₃)	1000 mg/l, (%0.1)
ASTM C94 (SO ₄ ⁻²)	3000 mg/l, (%0.3)
TS EN 1008 (SO ₄ ⁻²)	2000 mg/l, (%0.2)
TS 11222 (SO ₄ ⁻²)	3000 mg/l, (%0.3)
Indian Concrete Journal,Beton (MgSO ₄)	40000 mg/l, (%4)

2.1.4 Karışım suyundaki yabancı maddelerin taze beton özelliklerine etkisi

Bu bölümde karışım suyunda bulunan yabancı maddelerin priz süresine olan etkilerden bahsedilecektir [2,10,12].

Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar

Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar çimento ve betonun priz süresini etkilemektedirler.

Sodyum karbonatlar priz süresini kısaltır ve ani prize neden olabilirler.

Sodyum ve potasyum bikarbonatlar priz süresini kısaltarak, ya da uzatarak, değişik etkiler göstermektedir. Bu tuzların toplam miktarı %0.1'den fazla olduğu takdirde priz süresini etkileyen faktörler tespit edilmelidir [10].

İnorganik tuzlar

Karışım suyu içerisinde bulunabilecek fosfat, arsenat, borat, kalay, çinko, bakır ve kurşun gibi tuzların fazla olması halinde çimento ve betonun priz süresinde gecikmeler olabilmektedir. Bu tuzların en etkili olanları çinko, bakır ve kurşundur. Betonun karışım suyu içerisinde bu tuzların toplam miktarı %0.05'ten fazla olmamalıdır [10].

Alkali bileşikler (sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit)

Karışım suyunda çimento ağırlığının %0.05 'inden fazla sodyum hidroksit veya %1.2 'sinden fazla potasyum hidroksit bulunmamalıdır [10].

Şeker

Karışım suyunda bulunan şeker miktarı çimentonun priz süresini etkilemektedir. Bu nedenle, sudaki şeker miktarının %0.05'den fazla olması istenmemektedir. Bu miktardan çok az bir miktar daha fazla şeker bulunduğu takdirde çimentonun prizi

gecikmektedir; ancak şeker miktarının daha da fazla olması, çimentonun prizini hızlandırmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, sudaki şeker miktarı %0.05'den %0.15'e yükseldiği takdirde çimentonun priz süresinde artış meydana gelebilmektedir. %0.15 gibi oldukça az miktarda şeker içeren karışım sularının çimentonun prizini geciktirdiği görülmüştür [2].

2.1.5 Karışım suyundaki yabancı maddelerin sertleşmiş beton özelliklerine etkisi

Bu bölümde karışım suyunda bulunan maddelerin sertleşmiş beton özelliklerine olan etkilerinden bahsedilecektir [2,10].

Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar

Alkali karbonat ve bikarbonatların betonun dayanımına etkisi hakkında çok fazla bilgi mevcut olmamasına rağmen, karışım suyunda fazla miktarda bulunmalarının betonun mukavemetini düşürdüğü Literatür [10]'da belirtilmiştir.

Kalsiyum ve magnezyum karbonatlar ve bikarbonatlar

Kalsiyum bikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ve magnezyum bikarbonat $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ içeren sulardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları, aslında suda kolayca erimezler. Bu bakımdan bu iyonlar, suda çok fazla (%0.04'ün üstünde) değil iseler betonda önemli sayılabilecek olumsuz etkilere neden olmazlar. Ancak fazla miktarda bulundukları takdirde, beton dayanımını olumsuz etkileyebilirler [10].

Klorürler

Beton yapımında kullanılacak suyun içerisinde klor iyonlarının fazla miktarda yer alması durumunda, betonun ilk günlerdeki dayanımı biraz daha yüksek olmakta, nihai dayanımı %30 civarında azalmaktadır [2].

Beton karışım suyunda bulunan kalsiyum klorür, sodyum klorür ve magnezyum klorür tuzları yukarıda bahsedildiği gibi ilk zamanlarda beton dayanımı biraz daha yüksek olmakla birlikte, ilk haftadan sonraki günlerde beton dayanımında önemli ölçülerde düşüklüklere neden olmaktadır [10].

Karışım suyunda bulunan klor tuzlarıyla ilgili olarak birçok kaynakta aynı değerler verilmektedir. Kalsiyum klorür için kullanılan çimento miktarının %2'sinden fazla olmamalı, sodyum klorür için %2'den ve magnezyum klorür içinse %4'ten fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir [10]. Ancak ASTM C94 standardında klorürler için

en fazla 500 mg/l (öngerilmeli betonda), 1000 mg/l (diğer donatılı betonlarda) değerleri verilmiştir. Ayrıca BS 3148’de de kalsiyum klorür için 500mg/l değerinden daha az bulunması gerektiği belirtilmiştir.

Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat tuzları

Karışım suyunda bulunabilecek bu sülfatların miktarı fazla olduğu takdirde, beton dayanımı, ilk günlerde çok az artış göstermekte fakat son dayanım düşük olmaktadır.

Ayrıca bu tuzların, karışım suyu içerisinde çok fazla miktarda bulunması, çimentonun C₃A ana bileşeni ile sülfat arasındaki reaksiyonlar sonucunda çok büyük genleşme kapasitesine sahip olan etrenjit oluşumuna, bu nedenle sertleşmiş betonun çatlayıp kırılabilmesine yol açacağı belirtilmiştir [10].

Demir tuzları

Doğal yer altı sularında 20-30 ppm’den fazla demir bulunmamaktadır. Ancak, asit maden suları fazla miktarda demir içerebilmektedir.

Karışım suyunun içerisindeki demir konsantrasyonunun %4’ten fazla olması beton dayanımında çok olumsuz etkilere neden olabilmektedir [2].

Alkali bileşikler (sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit)

Fazla miktarda sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit içeren alkalimli sular, beton dayanımının azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca betonun içerisinde fazla miktarda alkali bulunması, reaktif agregalar içeren betonlarda alkali-agrega reaksiyonuna yol açabilmektedir. Büyük genleşmelere neden olan alkali-silika jellerinin oluşması, sertleşmiş betonun dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir [2].

Organik ve inorganik asitler

Karışım suyu içerisinde fazla miktarda hidroklorik asit, sülfürik asit veya asetik asit (sirke asidi), laktik asit (süt asidi) gibi organik ve inorganik asitlerin yer alması durumunda, bu asitler, betonun içerisindeki çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşmuş olan kalsiyum hidroksitin çözünmesine yol açmaktadırlar. Kapilerite olayı etkisiyle betonun yüzeyine çıkan tuzlu suların buharlaşmasıyla, sertleşmiş betonun yüzeyinde çiçeklenme adı verilen tuz tabakaları oluşmaktadır. Bu durumda da betonun görünümü bozulmaktadır. Ayrıca, betonun içerisindeki kalsiyum hidroksitin çözünmesiyle, beton daha gözenekli duruma gelmektedir. Betonun dayanımı ve dayanıklılığı olumsuz etkilenmektedir [2].

Asitli karışım suyunun kabulü, sudaki asitlerin konsantrasyonuna, genelde, suyun pH'ına bağlıdır. Bu değer bir gösterge olmakla birlikte potansiyel asit veya ana reaksiyonun en iyi ölçümü değildir. Genellikle, %1'e kadar hidroklorik asit, sülfürik ve nitrik asit içeren karışım sularının beton dayanımında zararlı bir etkileri olmamaktadır. Aynı zamanda, pH değeri 3'den az olan sulardan kaçınmak gerekir [12].

Yağlar

Endüstriyel atık sularda, bazen bir miktar mineral yağlar bulunabilmektedir. Bu tür yağlar, hayvanlardan veya bitkilerden elde edilen yağlar kadar betona zararlı olmamakla birlikte, yine de karışım suyu içerisinde fazla miktarda bulunmamaları istenmektedir [2].

Çimentonun %2'sinden fazla mineral içeren sularla yapılan betonların basınç dayanımlarında %20 civarında azalma olduğu görülmüştür [2].

Genellikle karışım suyunun içerisinde bulunabilecek yağlar beton dayanımında düşmeye neden olmaktadır [10].

Yosunlar

Bataklıklardan elde edilen suların içerisinde bir miktar yosun (alg) bulunabilmektedir. Bu sularda bulunabilecek fazla miktarda yosun beton içerisine hava sürüklemekte ve betonun basınç dayanımını düşürmektedir. Genellikle karışım suyunun içerisinde bulunabilecek yağlar beton dayanımında düşmeye neden olmaktadır [2].

Yapılan araştırmalarda, içerisinde alg bulunmayan sularla yapılan betonlarla ve içerisinde %0.15 alg bulunan sularla yapılan betonlar karşılaştırıldığında, yosunlu sularla yapılan beton içerisine sürüklenen hava miktarının yaklaşık %8 mertebesinde daha çok olduğu ve 28 günlük beton basınç dayanımının da yaklaşık %30 daha az olduğu belirtilmektedir. Genellikle karışım suyunun içerisinde bulunabilecek yağlar beton dayanımında düşmeye neden olmaktadır [10].

Organik maddeler

Beton karışım suyunda bulunabilecek tannik asit, humus ve çürümüş bitki kökleri, betonun basınç dayanımında azalmalara sebep olmaktadır. Genellikle karışım suyunun içerisinde bulunabilecek yağlar beton dayanımında düşmeye neden olmaktadır [10].

Kilt ve silt gibi askıda kalan katı maddeler

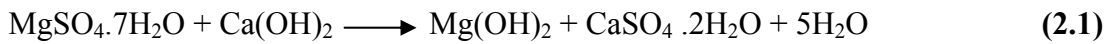
Karışım suyunun içerisinde bulunabilecek kil, silt ve taş unu gibi maddelerin oranının %0.2'den yüksek olması durumunda, taze betonun işlenebilmesi azalmaktadır. Sabit bir işlenebilme elde edebilmek için, beton karışımında daha çok miktarda kullanılması gerekmektedir. Böyle bir durumda ise, betonun büzülmesi artmakta, dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Ayrıca, betonun yüzeyinde lekeler oluşmakta, betonun görünümü bozulmaktadır [2].

Kükürtlü hidrojen

Kükürtlü hidrojen zayıf bir asittir. Ancak, gaz halindeki betonun içine işleyebileceği gibi, beton yüzeyindeki su filmi ile çözünerek ve havadaki oksijenle oksitlenip sülfürik asit ve sülfatları meydana getirebilir [10].

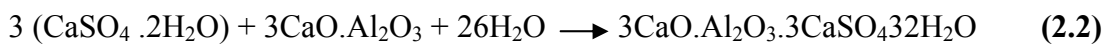
2.1.6 Magnezyum sülfat tuzunun etki mekanizması

Taze betonda, magnezyum sülfat ilk olarak, çimentonun hidrasyonuyla ortaya çıkan Ca(OH)_2 ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda denklem (2.1)'de görüldüğü gibi brisit $[\text{Mg(OH)}_2]$ ve alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) meydana gelir [16,17,18,19,22].

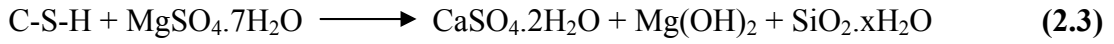


Brusitin oluşumu kalsiyum hidroksit tüketimini arttırarak, çözeltinin pH'ının düşmesine neden olmaktadır [16,18,19,20,23].

Aynı zamanda taze betonda (2.1) denklemindeki reaksiyona göre oluşan alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), (2.2) denklemindeki reaksiyona göre hidrate olmamış kalsiyum alüminat ile reaksiyona girerek $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ 'yu oluşturur ve bu bileşime etrenjit adı verilir. Etrenjit taze harçlarda oluştuğundan dolayı zararsızdır [16,18,19,20,24].



Magnezyum sülfat çözeltili harçlarda sertleşme olduktan sonra alçıtaşı oluşumu devam eder ve alçıtaşı oluşumunun artması şişmeye neden olarak ilk zararlı etkiyi meydana getirir [18]. Magnezyum sülfat çözeltisiyle hazırlanan betonlarda, sertleşme olduktan sonra ikinci bir etrenjit oluşumu meydana gelmez. Bunun sebebi, brusitin çözünürlüğünün çok az olması ve çözeltinin pH'ını düşürerek hem etrenjit hem de C-S-H jelinin stabilitesini bozmasıdır. Bilindiği üzere C-S-H yapısı, çimento hamurunun ana bağlayıcı özelliği olan önemli bir bileşendir. Magnezyum ve kalsiyum iyonlarının valans değerlerinin aynı ve iyonik yarıçaplarının yakın olmasından dolayı magnezyum sülfat, C-S-H jeli ile denklem (2.3)'deki reaksiyonu oluşturur [19,20,22].



Bu tepkime sonucunda oluşan $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, silika jelidir ve bu jelin bağlayıcı ve dayanım özelliği, C-S-H jelinin bağlayıcı ve dayanım özelliğinden daha düşüktür. Çimento hamurunda alçıtaşının ve brusitin konsantrasyonu arttıkça C-S-H jeli, giderek kirecini kaybeder ve bağlayıcı özelliği azalır. Brusit konsantrasyonunun artmasıyla beraber, brusit silika jeli ile denklem (2.4)'e göre reaksiyona girer ve bu reaksiyon sonucunda magnezyum silika hidrat (M-S-H) oluşur. Oluşan bu bileşimin bağlayıcı ve dayanım özelliği yoktur. Brusit, M-S-H 'ye dönüştükçe oranı da giderek azalır [16,18,19,20,22,23].



Sonuç olarak bu oluşum sertleşmiş çimento hamurunun yumuşamasına ve bozulmasına neden olur. Özetle yukarıda açıklanan MgSO_4 etki mekanizması betonun dayanımına ve durabilitesine zarar verir [18,20].

2.2 Pozzolanlar

Pozzolan ismi, İtalya'daki Vezüv yanardağının eteklerinde bulunan "Pozzuoli" isimli kasabanın adından alınmıştır.

Milattan yaklaşık 100 yıl önce, eski Romalılar, Pozzuoli kasabasının civarında volkanik kül ile söndürülmüş kirecin suyla bağlayıcılık özelliği gösterdiğini fark etmişlerdir. O nedenle, su altında sertleşme gösterebilen bu malzeme, pozzolan ismiyle anılmaya başlanmıştır [2].

2.2.1 Puzzolanların tanımı ve sınıflandırılması

Betonda kullanılan mineral katkı maddeleri Portland çimentosuna benzer mineralojik ve kimyasal bileşimler ile fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık yetenekleri yoktur. Bu maddeler, puzzolanik aktiviteleri nedeniyle hidrasyon ürünlerinin oluşumunda etkinlik göstererek bağlayıcı hamur yapısını değiştirirler. Böylece betonun çeşitli özellikleri iyileştirilirken, puzzolanik aktivitesi yüksek olan mineral katkı maddeleri, boşluk yapısını iyileştirerek daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını, agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artmasını sağlamakta ve yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir [25].

Tanım olarak puzzolanlar, yalnız başına kullanıldığı zaman bağlayıcı özelliği olmayan fakat kireç veya çimento ile karıştırıldığı zaman suyla yaptığı reaksiyon sonunda bağlayıcı madde özelliğini kazanan maddelerdir. Puzzolan denilen maddelerin içinde fazla miktarda kollodial halde silis ve alümin bulunmaktadır. Bir puzzolana Portland çimentosu karıştırıldığı zaman çimentonun hidrasyonu sonunda meydana gelen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile SiO_2 ve Al_2O_3 arasında olan reaksiyon sonunda puzzolan bağlayıcılık özelliğine sahip olabilir [26].

Puzzolanların sınıflandırılması ve türleri Tablo 2.9 'da gösterilmiştir.

Tablo 2.9: Puzzolan sınıfları

Puzzolanlar	
Doğal Puzzolanlar	Yapay Puzzolanlar
Volkanik cüruflar	Uçucu küller
Volkanik tüfler	Yüksek fırın cürufu
Opalin silika	Silis dumanı
Ponza taşları	Pirinç kapçığı külü
Pişmiş (kalsine) kil veya şeyl	Demirli olmayan cüruflar
Çert	Öğütülmüş pişmiş kil

2.2.2 Puzzolanik reaksiyon

Puzzolanik malzemelerin söndürülmüş kireçle ve suyla ne ölçüde reaksiyona girebileceği, ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği, puzzolanik aktivite olarak adlandırılmaktadır [2].

Puzzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için, yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda (silis + alümin + demir oksit) içermesi gerekmektedir.

Puzzolanik aktivite, puzzolanik malzemeyle yapılan deneyler sonucunda tayin edilmektedir [2].

Puzzolan ve Portland çimentosu karışımı hidratasyona girince puzzolanik reaksiyonun etkisiyle bağlayıcı hamurdaki serbest kireç miktarı giderek azalmaktadır. Belirli bir süre sonunda puzzolan içeren betonların çimento hamurunda, Portland çimentosu hamuruna oranla daha az serbest kireç ve daha çok kalsiyum silikat hidrate bulunmaktadır. Daha çok bağlayıcı ürün oluşması, mukavemet artışına neden olurken, serbest kirecin azalması, hamur boşluk yapısının iyileştirilmesini sağlamakta, geçirimsizliği ve dolayısıyla zararlı dış etkilere dayanıklılığı arttırmaktadır.

Ayrıca puzzolanlı çimentoların teknik olarak sağladıkları önemli yararlar vardır. Bunlar arasında, hidratasyon ısının yavaş olması, sülfatlara karşı dayanıklı olmaları, terlemeyi ve ayrışmayı azaltmaları, işlenebilirliği kolaylaştırmaları sayılabilir. En önemli dezavantajlarıysa, dayanım artış hızlarının yavaş olmasıdır [25].

2.2.3 Uçucu küller

Atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımını azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede meydana gelebilecek problemleri en aza indirmektedir. Bu amaçla, küller mekanik veya elektrostatik yöntemle toplanarak santral çevresinde ya da başka uygun yerlerde depolanır. İnşaat mühendisliği alanı, atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi açısından, yüksek hacimlerde malzeme kullanımına olanak verdiği için çok uygundur ve bu alandaki uygulamalarda stabilitenin sağlanabilmesi için malzemelerin kompakt hale getirilmesi gerektiğinden, çevre kirliliği problemi minimuma inmektedir [27].

Her yıl artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla artan miktarlarda yapılan kömür tüketimi, üretilen uçucu kül miktarlarını da büyük hızla arttırmaktadır. Ülkemizde halen üretilmekte olan uçucu küller ya kuru olarak atık depolarına atılmakta ya da suyla karıştırılmak suretiyle kül barajlarına pompalanmaktadır.

Her iki durumda da çevrenin kirlenme riski vardır. Bu kirliliği önlemek amacıyla ve aynı zamanda ucuz bir kaynak olarak uçucu kül çeşitli alanlarda değerlendirebilir. Bu alanlar; çimento üretiminde puzzolanik katkı maddesi ve beton içinde ikincil bağlayıcı madde olarak çimentoyla birlikte, tuğla ve yapı bloğu üretiminde, suni agrega üretiminde, enjeksiyon uygulamalarında, dolgu malzemesi olarak, yol inşaatlarında temel altı tabakası olarak, zemin iyileştirilmesinde, atıkların stabilizasyonunda, zirai amaçlarla kullanım ve bunun gibi özetlenebilir [27].

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0.5-150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır [28].

TS EN 450' de [29] ise uçucu kül, pulverize kömürün yakılmasından elde edilen, puzzolanik özelliklere sahip olan ve esas olarak SiO_2 , Al_2O_3 ' den meydana gelen, ENV 197-1' de belirtildiği gibi tarif ve tayin edilen reaktif SiO_2 muhtevası kütlece en az %25 olan, başlıca küresel ve camsı taneciklerin ince tozu olarak belirtilmiştir.

2.2.4 Uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO , SO_3 , alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır [28].

Uçucu küldeki temel oksitlerden SiO_2 %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 ve CaO %1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir [28].

ASTM C618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

1. F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılmaktadır. F sınıfı uçucu küller, puzzolanik özelliğe sahiptirler.

2. C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde $\text{CaO} > \%10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler [28].

2.2.5 Uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orijini ve proses koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama, desülfirizasyon gibi) bağlıdır.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, diğerleri SO_3 , MgO ve alkali oksitlerdir. Ayrıca, yanmamış karbon ve bunun yanı sıra titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden de eser bileşen olarak bulunabilmektedir [28].

Temel oksitlerin uçucu külün içinde bulundukları oranlardan yukarıda söz edilmişti.

Diğer oksitlerden MgO en fazla %5.0, alkali oksitler ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) %5.0' in altında bulunmaktadır. SO_3 , genellikle %0.2-2.5 arasında değişebilmekle birlikte, kömürün yapısı ve proses koşullarına göre %10'a kadar yükselebilmektedir. Ancak, standartlardan özellikle TS EN 450 standardı, SO_3 değerini en fazla %3 olarak dar bir aralık ile sınırlamaktadır [28].

Ayrıca Literatür [2]'de belirtildiği üzere MgO , hidratasyon sonucunda betonda genleşmeye yol açmaktadır. SO_3 , sertleşmiş betonda etrenjit oluşumuna ve böylece çok büyük genleşmelere neden olmaktadır. Bu yüzden de bu iki bileşenin uçucu külde çok fazla miktarda olması istenmemektedir. Uçucu küllerde çok az miktarda nem de bulunabilmektedir. ASTM C 618 uçucu küllerdeki nem miktarının %3'den fazla olmaması gerektiğini belirtmektedir.

2.2.6 Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

Uçucu küller, genel olarak gri renklidirler; içlerinde yanmamış karbon (yanmamış kömür parçacıkları) miktarı fazla olduğu takdirde renkleri daha koyudur. Tipik olarak küresel şekilde olan uçucu kül parçacıklarının çapları 1-150 μm arasında değişiklikler göstermektedir; bu parçacıkların %75'inin veya daha fazlasının çapı 45 μm ' den küçüktür.

Kül parçacıklarının içi dolu veya boş olabilmektedir. İçleri boş olan kül parçacıklarının miktarı toplam külün ağırlık olarak yaklaşık %5'i, hacim olarak %20'si kadardır. Uçucu küllerin yoğunluğu 2.2-2.7kg/m³ mertebesinde [30].

2.3 Puzzolanların Sülfatlı Ortamlardaki Davranışları

Portland çimentosu ve su tepkimeye girdiğinde, bazı ürünler ortaya çıkar; bunların en önemli ikisi Ca(OH)₂ ve C-S-H jelidir [31].

Karışım da puzzolan bulunduğunda, portland çimentosunun hidrasyon ürünü olan Ca(OH)₂, çoğunluğu SiO₂ olan aktif veya amorf puzzolan taneleriyle tepkimeye girerek daha fazla C-S-H jeli oluşturur. Puzzolanik reaksiyona bağlı oluşan C-S-H, portland çimentosunun hidrasyon ürünü olan C-S-H ile görünüşte aynıdır; fakat yoğunluğu daha azdır [16,31,32].

Puzzolanik reaksiyon portlanditin (Ca(OH)₂) tüketimini artırır ki, bu da alçıtaşı oluşumunu azaltır [16,32]. Sonuç olarak, serbest kirecin puzzolan tarafından bağlanması, sülfat etkisini azaltarak; alçıtaşı ve bu bileşene bağlı olarak devam eden reaksiyonların oluşumunu da engellemiş olur.

Çimentonun bir miktarının, puzzolanik bir malzemeye yer değiştirmesi aynı zamanda C₃A bileşeninde bir azalma gerektirir. Bundan dolayı alüminat fazları bu olaya uygun olarak azalacaktır. Katkılı çimentolar, çimentonun hidrasyon ürünü olan Ca(OH)₂'nin önemli bir miktarını tükettiği ve pH'ı düşürdüğünden, etrenjit daha az oluşur [16,32].

Puzzolanik C-S-H aynı zamanda yüksek alüminat ve diğer reaktif fazların etrafında tabaka oluşturur ve bu suretle ikinci bir etrenjit oluşumunu engeller. Bu ürün, ayrıca sertleşmiş çimento hamurunda yoğunlaşmayla meydana gelir; boşluklara çökmek suretiyle katkılı çimentoları geçirimsiz yapar ve bundan dolayı sülfat iyonları beton ana fazından kolayca difüzyon yapamazlar [16,32].

Yapılan başka bir çalışmada ise konuyla ilgili farklı bir bakış aşağıda belirtilmiştir [19].

Mineral katkı kullanıldığında, puzzolanik reaksiyon Ca(OH)₂'yi tüketmeye başlar. Böylece, bu tip harçlarda brisit miktarı, portland çimentosu harçlarından çok daha az olur. Brisit tabakasının inceliğinden dolayı, sülfat iyonlarının difüzyonu kolaylaşır

ve reaksiyon mineral katkı kullanıldığında daha da hızlı ilerleyebilir.(Sülfat iyonlarının brusit tabakasından difüzyonu daha hızlı olur.) Daha kolay olan difüzyon, C-S-H jeline daha hızlı direkt bir atağa başlar ve M-S-H ve ikinci bir alçıtaşı oluşumuna bağlı olarak bozulmayı hızlandırır. Magnezyum sülfat atağı boyunca, mineral katkıların negatif etkisi, çoğunlukla geçirgenliği azaltmaları ve kullanımlarına bağlı olarak yoğunlaşmayla dengelenir. Bunlar, mineral katkıların en uygun miktarının hesaplanmasını zorunlu kılar [19,23].

Bir başka çalışmada ise, yapılan deneylerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır [41].

Deneylerde kullanılan F tipi uçucu küllerin kısa süreli hidrotermal etki altında çok önemli reaksiyon göstermemelerine karşılık; C tipi uçucu küllerin suyla direkt reaksiyona girdiği, puzzolanik aktivite gösterdiği ve reaksiyonda alçıtaşı bulunduğu etrenjit oluşturduğu görülmüştür.

C sınıfı uçucu külün 25°C’de reaksiyonu yavaş; fakat daha yüksek sıcaklıklarda reaksiyon çok daha hızlı olmuştur. C tipi uçucu kül, uçucu kül-Ca(OH)₂ ve uçucu kül-CaSO₄.2H₂O karışımlarının hidrotermal reaksiyonları sonucunda farklı ürünler ortaya çıkmıştır. Başlıca ortaya çıkan ürünler, kalsiyum silika hidrat, kalsiyum alümina hidrat ve etrenjittir. C-S-H, C tipi uçucu kül hidrotermal etki altındayken Ca(OH)₂ olsa da olmasa da oluşmuş; fakat kalsiyum hidroksit eklendiğinde C-S-H çok daha büyük miktarlarda meydana gelmiştir. Önemli miktarda etrenjit oluşumu ise sadece CaSO₄.2H₂O eklendiğinde ve 80°C ve üstünde meydana gelmiştir.

2.4 Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde ilk olarak karışım suyunda bulunan sülfat tuzları ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan bahsedilecektir. Daha sonra karışım suyunda olmayıp çözelti şeklinde kullanılan sülfat tuzlarının, katkılı çimentolar üzerindeki etkileriyle ilgili yapılmış çalışmalardan da bahsedilecektir.

2003 yılında Kılınç [12], İ.T.Ü. Malzeme Anabilim Dalı’nda karışım suyundaki tuzlarla ilgili bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada karışım suyunda bulunan sodyum sülfat, magnezyum sülfat ve sodyum sülfürün, taze ve sertleşmiş çimento harcı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Malzeme olarak tek tip ve normal Portland çimentosu seçilmiş; 400 kg/m³ dozaj kullanılmıştır. Su/çimento oranları 0.60 ve 0.75 alınarak iki tip harç üretilmiştir. Sülfat tuzlarının farklı konsantrasyonlarda çözeltileri

hazırlanarak karışım suyu olarak kullanılmıştır. $MgSO_4$ ile 1 lt. su için %2.0, %4.0, %6.0, %8.0; Na_2SO_4 ile %0.5, %1.0, %2.0, %3.0; Na_2S ile %0.005, %0.01, %0.02 ve %0.03 çözeltileri hazırlanmıştır. Ayrıca kontrol için su ile şahit numuneler de üretilmiştir. Tüm deneyler için, $4 \times 4 \times 16$ cm. boyutlarında her bir karışım için toplam sekiz adet numune üretilmiştir. Üretilen harçların işlenebilme özellikleri sarsma tablası deneyiyle belirlenmiştir. Ayrıca taze harçların, taze birim ağırlık değerleri ölçülmüş ve gerçek malzeme miktarları bulunmuştur. Kullanılan tuzların priz sürelerine etkisi Vicat aleti ile saptanmıştır. Numunelerin 6 adedi $20 \pm 2^\circ C$ lik su içinde deney gününe kadar saklanarak; 2 adedi 7. gün, 2 adedi 28. gün ve diğer 2 adedi 90. günlerde olmak üzere birim ağırlık, ultrases, eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Boy değişimi için 2 adet numune $20^\circ C$ ve %50-60 rutubetli ortamda tutularak 90.güne kadar boy değişim ölçümleri yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerden şu sonuçlara varılmıştır.

- Tüm tuzların priz başlama süresini hızlandırdığı, priz bitme süresini ise geciktirdiği, en fazla etkiyi magnezyum sülfat tuzunun yaptığı belirlenmiştir.
- Tuz çözeltili harçlarda taze birim ağırlık değerlerinin çok fazla değişmediği, ortalama %2-%3 civarında bir değişimin olduğu görülmüştür.
- Çözeltilerin tüm konsantrasyonlarında yayılma değerleri azalma göstermiştir. Bu değeri düşük konsantrasyona sahip olması nedeniyle, en az sodyum sülfür etkilemiştir.
- Tuzların sertleşmiş birim ağırlık değerlerini çok fazla etkilemediği, ortalama %2-%3 civarında arttırdığı veya azalttığı görülmüştür. Şahit su ve tüm tuzların yaş arttıkça bu değeri arttırdığı gözlenmiştir.
- Magnezyum sülfat çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti değerlerinin şartnamelerde yer alan standart sınır değeri olan %4 sülfat konsantrasyon değerinden sonra azaldığı görülmüştür. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleri ise %6 konsantrasyon değerinden sonra azalmıştır.
- Sodyum sülfat için standartlarda sınır değeri olarak verilen %1 Na_2SO_4 konsantrasyon değerinden sonra basınç mukavemeti değerlerinin azaldığı görülmüştür.

- Sodyum sülfür çözeltili harçlarda 7 günlük basınç mukavemeti değerleri tüm konsantrasyonlarda artmıştır. 28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerlerinde ise azalma olmuştur.
- Şartnamelerde 7 günlük basınç mukavemetine ait bilgilerin olduğu, 28 ve 90 günlük basınç mukavemetine ait bilgilerin eksik olduğu gözlemlenmiştir.
- Tuz çözeltili harçlarda eğilme mukavemeti değerlerindeki değişim basınç mukavemetine yakın bir değişim olmuştur.
- Sodyum sülfatın magnezyum sülfata oranla eğilme mukavemetini daha az etkilediği belirlenmiştir.
- Tuz çözeltili harçlarda ultrases hızı değerlerinin çok fazla değişmediği, değerlere bakıldığında ultrases hızındaki değişimin basınç mukavemetindeki değişimi aksettirmediği görülmüştür.
- Magnezyum sülfatın rötreyi belirgin derecede arttırdığı, sodyum sülfatın ise daha az arttırdığı görülmüştür. Sodyum sülfür ise rötreyi azaltmıştır.
- Şartnamelerde magnezyum sülfat ve sodyum sülfat için verilen sınır değerlerin, yapılan deneyler sonucunda doğru olduğu gözlemlenmiştir. Sodyum sülfürde ise farklı bir durum gözlenmiştir. Sınır değer olarak verilen %0.01 değerinden sonra da mukavemet değerlerinin arttığı görülmüştür.

1924 yılında Abrams yaptığı araştırmalarda [12], %1 Na₂SO₄ içeren bir suyun şehir suyu kadar ortalama sonuçlar verdiğini bulmuş ve şu sonuçları elde etmiştir.

- %1 konsantrasyonuna kadar SO₄ içeren sülfatlı sular az bir etki yaratmış veya hiçbir 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 Na₂SO₄ içeren) normal beton mukavemet değerleri vermiştir. Numunelerde herhangi bir zararlı etki görülmemiştir.
- South Dakota, Medicine Lake' den alınan suyun [%3.5 oranında SO₄⁻ (sülfat) çözeltisi, çoğunlukla magnezyum sülfat çözeltisi (SO₄⁻ 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 yaptığı çalışmalar sonucunda ise sodyum sülfatın prizi geciktirdiğini gözlemlemiştir. [12]

1927 yılında Giesecke [12], Thomas ve Parkinson yaptıkları araştırmada magnezyum sülfat tuzunu %4 konsantrasyonuna kadar çözeltiler halinde kullanmışlar ve 28 günden üç yıla kadar deneyler yapmışlardır. Şunu fark etmişlerdir; 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 de deneyler yapmışlardır (magnezyum tuzunda 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 daha yüksek oranda azalmalar gözlemlemiştir; fakat numuneler hazırlanmadan önce tropikal (Filipin) ikliminde saklanan çimentoların bozulmaya uğradığı düşünülmüştür. Giesecke, Thomas ve Parkinson, yaptıkları çalışmalar sonunda ilginç ve önemli gerçekler belirlemişlerdir. Şu sonuçlara ulaşmışlardır:

- Sodyum sülfat Portland çimentosu harçlarına zararlıdır. Sodyum sülfat mukavemetinde büyük bir azalmaya sebep olur. Magnezyum sülfatın harç mukavemetinde çok az bir etkisi vardır. Biraz da yararlı denebilir.
- 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.
- Genelde mukavemet oranları yaşla birlikte artar. Yani mukavemet azalması ileriki yaşlarda daha azdır. 3 yıldaki mukavemet yüzdesi artması 28 gündeki artmadan fazladır.

1994 yılında Sunil Kamar ve C.V.S. Kameswara Rao [20], Hindistan'da Harcourt Butler Teknoloji Enstitüsü'nde magnezyum sülfat çözeltili harçlar kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmalarda Portland çimentosu ve saf su kullanılmıştır. Karışım suyuna %1 oranına karşılık gelen, magnezyum sülfat miktarı 2.56g/l alınmıştır. %0, %0.5, %1, %3, %5 ve %10 sülfat konsantrasyonlu çözeltiler hazırlanmış ve bu çözeltilerle yapılan çimentoların priz başlangıç ve bitiş

sürelerine bakılmıştır. Basınç mukavemeti testleri için 15cm.'lik küp numuneler kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.45 olarak alınmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi olmuştur [27].

1. %3 sülfat konsantrasyonuna kadar priz süresinde gecikme meydana gelmiştir. %3 sülfat konsantrasyonundan sonra priz başlangıç süresindeki gecikmelerde bir azalma meydana gelmiş; aynı konsantrasyondan sonra priz bitiş sürelerinde hiçbir değişiklik olmamıştır.
2. Priz başlangıç sürelerindeki gecikmeler, priz bitiş sürelerindeki kadar fazla değildir.
3. Sülfat çözeltilerindeki katyonlar, sülfat etkisini belirlemiştir.
4. Basınç mukavemetindeki azalma, sülfat konsantrasyonu ile beraber artış göstermiştir.
5. Basınç mukavemetindeki en olumsuz etkiyi magnezyum sülfat çözeltisi yapmıştır.

Freeman ve Carrasquillo [33], araştırmalarında çimento ile beraber öğütülerek kullanılan uçucu külün, uçucu küllü betonun sülfata dayanıklılığına etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda, sülfata dayanıklı Portland çimentosu, F ve C sınıfı uçucu küller kullanılmıştır. Uçucu kül/çimento oranları %25 ve %35 olarak alınmıştır. Uçucu kül, hem çimentonun karılması aşamasında mineral katkı olarak hem de çimento ile beraber öğütülerek kullanılmıştır. Bütün numuneler 24 ile 36 saat içinde kalıplardan çıkarılıp, 23°C sıcaklığındaki %100 bağıl nem oranına sahip rutubetli odaya kaldırılmıştır. Sülfat etkisine maruz bırakma, %10 sodyum sülfat çözeltisinin içinde sürekli tutarak yapılmıştır. Çözeltiler, pH derecesi 10 'u geçtiği zaman değiştirilmiştir. Yapılan çalışmalar şunları göstermiştir.

1. F sınıfı uçucu kül içeren karışımlarda; çimento ile beraber öğütülerek katılan uçucu küllü betonlar, uçucu külün sadece mineral katkı olarak kullanıldığı betonlara oranla sülfata karşı daha iyi direnç göstermiştir.
2. Çimento ile beraber öğütülerek katılan F sınıfı uçucu küllü betonlar, sülfata bağlı genleşmeye karşı, sadece çimento içeren betonlardan daha dayanıklı çıkmıştır.

3. C sınıfı uçucu külün hangi şekilde olursa olsun kullanılması, uçucu küllü betonun sülfata dayanıklılığında çok büyük değişikliklere neden olmuştur.
4. Yaklaşık olarak %26 'dan daha küçük CaO içeren C sınıfı uçucu kül, karışıma çimentoyla beraber öğütülerek katıldığında sülfata bağlı genleşme azalmıştır. Çimentoyla öğütülerek katılan düşük CaO içeren C sınıfı uçucu küllü betonlar, uçucu kül içermeyen betonlara göre daha az genleşmiştir.

Atış, Kılıç ve Sevim 2002 yılında yaptıkları çalışmada [34], standart olmayan Afşin-Elbistan uçucu külünün çimento esaslı malzemelerde, mukavemet ve kuruma rötresi açısından mineral katkı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deneylerde normal Portland çimentosu, C sınıfı uçucu kül ve maksimum tane boyutu 4mm. olan doğal kum kullanılmıştır. Karışımlara %10, %20, %30 ve %40 uçucu kül katkı olarak eklenmiştir. Mukavemet ölçümleri için 4×4×16 cm'lik küpler kullanılmış ve numuneler %65 bağıl nemli $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki odada kür edilmiştir. Rötire ölçümleri için 25.3×25.3×284.6 mm'lik kalıplar hazırlanmış ve bir gün sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Rötire numunelerinin ilk uzunluk ölçümleri, numuneler nemli odaya konmadan önce yapılmıştır. Çalışmanın sonunda şu sonuçlar elde edilmiştir.

Laboratuvar testleri, Afşin-Elbistan uçucu külü içeren harç numunelerinin basınçta ve eğilmede çekme dayanımında tatmin edici bir ilerleme kaydetmiştir. Çimento yerine %10 ve %20 uçucu kül konan harç numuneleri, normal çimentolu harç numuneleriyle 28. günde benzer mukavemet değerleri vermiştir. Ayrıca, uçucu küllü harç numuneleri normal çimentolu harçlarla karşılaştırıldığında, kuruma rötreleri %30-40 azalmıştır. %40 uçucu kül içeren harç numuneleri büzölmek yerine genleşmişlerdir. Mukavemet ve rötire sonuçlarına dayanarak, standart olmayan Afşin-Elbistan uçucu külü, çimento bazlı malzemelerde mineral katkı olarak; özellikle beton döşemelerde, geniş endüstriyel beton döşemelerde, otopark uygulamalarında kullanılabilir. Varolan uçucu külün birçok özelliğine dayanarak, bu külün çimento indirgen maddesi veya üretimde rötire dengeleyici çimento olarak kullanılabileceği sonucu çıkarılabilir. Bununla beraber, ileriki çalışmalarda Afşin-Elbistan uçucu külünü, mineral katkı veya üretimde rötire dengeleyici çimento olarak kullanmadan önce, üretilen çimento hamurlarının uzun vadeli özellikleri araştırılmalıdır.

Vadewalle ve Mortelmans [35], yaptıkları çalışmada yüksek oranda uçucu kül içeren betonların kür edilme şeklinin mukavemetine etkisini incelemiştir. Yaptıkları deneylerde malzeme olarak, normal Portland çimentosu ve uçucu kül kullanılmıştır.

Uçucu kül/çimento oranları 0, 0.25, 0.35 ve 0.45; su/bağlayıcı oranı ise sabit ve 0.50 olarak alınmıştır. Üretilen numuneler 40×40×160mm'lik prizma kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara konan numuneler bir gün boyunca sıcaklığı 20°C ve bağıl nem oranı %95'ten fazla olan bir odada saklanmıştır. Kalıplardan çıkarıldıktan sonra, numunelerin kür edilme koşulları şu şekildedir.

Bir kısmı, 1 gün boyunca havada, 20°C sıcaklıkta ve %60 bağıl nemli bir ortamda (C)

Bir kısmı, havada bekletilmeden önce 1 gün boyunca suda (W)

Diğer bir kısmı, havada bekletilmeden önce 6 gün boyunca suda (7W)

Kalan numuneler ise test gününe kadar suda bekletilmiştir. (W)

(C) ve (W) numuneleri 7, 14, 28, 56, 90, 180 ve 365. günlerde; (2W) ve (7W) numuneleri ise 14, 28, 56 ve 90. günlerde deneye tabi tutulmuştur.

Bu çalışmalar sonunda, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Sis kürü olmadan ve sürekli 20°C sıcaklık ve %60 nemli çevre koşullarında bekletildiğinde, hem katkısız hem de uçucu küllü betonun mukavemeti ciddi olarak azalmıştır. Bununla beraber, uçucu kül içeren harçların mukavemetinin, katkısız betonların mukavemetine göre kür koşullarına daha hassas olduğu gözlenmiştir.
2. Suda kür edilmiş 0.25 ve 0.35 oranlarında uçucu kül içeren numuneler, 365. günde uçucu kül içermeyen numuneler ile aynı basınç mukavemeti değerlerini vermiştir.
3. Sadece 7 gün suda kür edilen normal Portland çimentolu ve uçucu küllü çimento harç numunelerinin 28. gündeki basınç mukavemetleri, test gününe kadar suda bekletilen numunelerle aynı sonucu vermiştir.

2.5 Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi

Beton üretiminde kullanılacak karışım suyunun kalitesi ve miktarı, betonun özelliklerini büyük ölçüde etkilemesinden dolayı çok önemlidir. Özellikle karışım suyunun içinde bulunan yabancı maddelerin ne miktarda bulunması gerektiği çok tartışılan ve konuyla ilgili standartlarda farklı değerler verilen bir konudur. Bu konuda daha fazla bilgi elde edilebilmesi ve yeterli literatüre sahip olabilmek için daha çok araştırma yapılmalıdır.

Ayrıca uçucu kül kullanımının, taze ve sertleşmiş beton üzerindeki etkileri de önemli bir konudur. Daha önce yapılan araştırmalarda, mineral katkıların betonun sülfat atağına karşı direncini arttırdığını ve daha iyi sonuçlar alındığını göstermiştir. Ancak mineral katkıların, karışım suyunda sülfat tuzları bulunduğu takdirde etkisinin nasıl olduğu da, yani puzzolanların sülfatlı ortamlarda nasıl bir davranış gösterdiği incelenmesi gereken bir husustur.

Yapılan bu çalışmada yukarıdaki gerekçelere dayanarak uçucu külün sülfata karşı nasıl bir etkisinin olduğunu daha iyi anlayabilmek için; karışım suyuna katılan farklı oranlardaki magnezyum sülfat ($MgSO_4$) tuzunun, belli oranlarda uçucu kül ilave edilmiş taze ve sertleşmiş beton üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2.6 Araştırmanın Kapsamı

Çimento tipi PÇ 42.5 seçilmiş ve 400 kg/m^3 , 360 kg/m^3 , 300 kg/m^3 , 250 kg/m^3 dört farklı dozaj kullanılmıştır. Agregası maksimum tane boyutu 8mm olan sürekli granülometrilik kum, kırma kum ve kırma taş I kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı sabit tutulup 0.75 alınmıştır. $MgSO_4$ ile 1 lt su için %2, %4, %6 ve %8 çözeltileri hazırlanarak karışım suyu olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda çimentonun yerine %10, %25 ve %37.5 oranlarında uçucu kül ilave edilmiştir. Kontrol için şebeke suyu ile şahit beton üretilmiştir. Sonuçta toplamda $4 \times 5 = 20$ farklı karışım elde edilmiştir. Ultrases, eğilme, basınç, rötre ve şişme deneyleri için $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$. boyutlarında her bir karışım için toplam 16 adet ve kılcallık ve su emme deneyleri için $10 \times 10 \times 50$ boyutlarında da toplam 1 adet numune üretilmiştir. Üretilen betonların işlenebilirlik özellikleri sarsma tablası deneyi ile tayin edilmiştir; taze birim ağırlık değerleri de ölçülerek beton bileşimlerinin gerçek değerleri bulunmuştur. Karışım suyuna eklenen magnezyum sülfat tuzunun priz sürelerine olan etkisi ise Vicat aleti ile priz süresi deneyleri yapılarak bulunmuştur. Üretilen numunelerin 6

adedi $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ' lik su içinde deney gününe kadar saklanmıştır. Bu numuneler üzerinde (2 adedi 7 gün , 2 adedi 28 gün , 2 adedi 90 gün) ultrases , eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aynı deneyler 20°C ve % 50≈60 rutubetli ortamda saklanan numuneler için de tekrarlanmıştır. Numunelerden 2 adedindeyse su içinde şişme deneyi ve kalan 2 adet numunedeysen 20°C ve % 50≈60 rutubetli ortamda saklanarak rötre deneyleri yapılmıştır.

10x10x50cm. boyutundaki prizma numunesi 2.günde ortadan kesilip yarısı havada yarısı su içinde tutulmuştur.Bu numunelerden 28.günde ikişer adet 10cm' lik küpler çıkartılmış ve 28.ve 90. günlerde kılcallık deneyleri yapılmıştır. Deneyler 28. ve 90. günlerde aynı 2 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak karışım suyundaki magnezyum sülfat tuzunun, uçucu kül katkısı kullanılarak üretilen taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzemenin Tanımlanması

Üretilen tüm beton karışımlarında kullanılan malzemelerle ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Kum, kırmakum, kırmataş

Üretilen beton numunelerinin tümünde agrega olarak maksimum tane boyutu 8mm olan sürekli granülometrili kum, kırmakum ve kırmataş I kullanılmıştır. Malzemelerin elek analizleri T.S. 2717 'ye [36] göre yapılmıştır.

Malzemelerin T.S. 3529'a [37] göre ölçülmüş birim ağırlığı ve T.S. 3526'ya [38] göre belirlenen özgül ağırlıkları ve birim ağırlıkları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Malzemelerin fiziksel özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Birim ağırlık (gr/cm ³)
Kum	2.64	1.58
Kırmakum	2.70	1.44
Kırmataş I	2.71	1.51

3.1.2 Çimento

Deneylerin tamamında Set Beton tarafından üretilmiş PÇ 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento kullanılmadan önce T.S. 24'e [39] göre fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve sonuçların T.S. 19'da [40] belirtilen PÇ 42.5 standardına uygunluğu tespit edilmiştir. T.S. 24'e göre bulunan fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Blaine özgül alanı	(m ² /kg)	334
200µm elek üzerinde kalan	(%)	0
90µm elek üzerinde kalan	(%)	1
Özgül ağırlık	(kg/m ³)	3.18
Normal kıvam suyu	(%)	27
Le Chatelier Deneyi	Soğukta	1
(İğnelerin açılması, mm)	Sıcakta	1
	Toplam	2
Priz başlangıcı		1 saat 54 dakika
Priz sonu		3 saat 29 dakika

Çimento mekanik özelliklerinin tayininde, 450 gr çimento, 225 gr su ve özel granülometriye sahip kum karışımıyla oluşturulan betonun 4×4×16 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 T.S. 19’da belirtilen koşulları sağladığı görülmüştür.

Tablo 3.3: Çimentonun Mekanik Özellikleri

7. gün dayanımları	Eğilme = 6.2 (N/mm ²)
	Basınç = 32.9 (N/mm ²)
28. gün dayanımları	Eğilme = 7.91 (N/mm ²)
	Basınç = 50.5 (N/mm ²)

Set Çimento A.Ş.'nin laboratuvarlarında yapılan deneyler sonucunda PÇ 42.5'in kimyasal analiz sonuçları aşağıda Tablo 3.4'deki gibidir.

Tablo 3.4: Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Kızdırma Kaybı	(%)	2.9	SiO ₂	(%)	21.45
Çözünmeyen Kalıntı	(%)	0.3	Al ₂ O ₃	(%)	6.40
MgO	(%)	0.81	Fe ₂ O ₃	(%)	3.06
SO ₃	(%)	2.78	CaO	(%)	61.40
Cl	(%)	0.0028			

3.1.3 Uçucu kül

Deneylerin tamamında Çatalağzı Termik Santralı F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan uçucu külün kimyasal özellikleri aşağıda Tablo 3.5' de gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

SiO ₂	(%)	56,17	K ₂ O	(%)	3,96
Al ₂ O ₃	(%)	23,55	Na ₂ O	(%)	0,71
Fe ₂ O ₃	(%)	6,63	KK	(%)	1,1
CaO	(%)	3,5	Cl ⁻	(%)	0,0014
MgO	(%)	2,78	Serbest CaO	(%)	0,06
SO ₃	(%)	0,78			

Kullanılan uçucu külün kimyasal özelliklerinin TS EN 450' ye göre uygun olduğu görülmektedir.

3.1.4 Su

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

3.1.5 Magnezyum sülfat heptahidrat (MgSO₄.7H₂O)

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

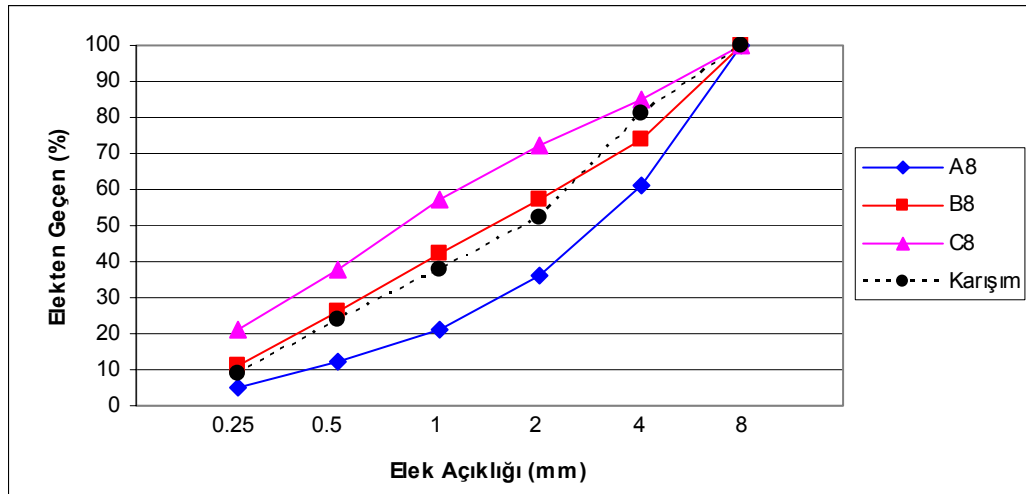
3.2 Beton Karışımları

Beton karışımında agrega olarak maksimum tane boyutu 8 mm olan sürekli granülometrilik kum, kırmakum, kırmataş I kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin elek analizi sonuçları ve beton karışımında kullanılan yüzdeleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Beton karışımında sırasıyla kum %30, kırmakum %40 ve kırmataş I %30 oranlarında kullanılmıştır.

Tablo 3.6: Malzemelerin elek analizi sonuçları

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)					
	8	4	2	1	0,5	0,25
Kum (%30)	100	97	76,9	61,9	41,3	10,7
Kırmakum (%40)	100	99	65,5	43,8	25,4	11,4
Kırmataş I (%30)	100	39,4	10,3	6,5	4,8	3,8
Karışım	100	81	52	38	24	9

Malzemelerin elek analizi sonuçlarına göre çizilen karışımın granülometri eğrisi Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1: Malzemelerin Granülometri Eğrisi

Su/bağlayıcı oranı 0.75 olan tek tür beton üretilmiştir. $MgSO_4$ ile 1 lt. su için %2.0 (litrede 20 gr), %4.0, %6.0 ve %8.0 çözeltileri hazırlanmış ve beton üretiminde karışım suyu olarak kullanılmıştır. Uçucu kül için 400 dozlu çimentonun %10, %25 ve %37.5' u hesaplanarak çimentoyla yer değiştirilerek, üretilen beton karışımlarına katılmıştır. Ayrıca kontrol amacı için şebeke suyu ile de beton üretilmiştir. Böylece toplam $5 \times 4 = 20$ farklı seri üretim yapılmıştır. Her bir seride 17 adet numune üretilmiştir. Üretilen her farklı bileşimdeki betonların $1 m^3$ 'üne giren gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7: Kontrol betonu ve diğer betonların 1m³ bileşimi ve taze beton özellikleri

Beton Türü	Kum (kg)	Kırmakum (kg)	Kırmataş (kg)	C (kg)	U (kg)	E (kg)	Yayılma (%)	Hava (%)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
U0M0	449	613	461	402	0	302	100	0.4	18300
U0M2	449	612	461	402	0	301	81	0.6	18290
U0M4	447	610	459	400	0	300	81	1.0	18230
U0M6	443	604	454	396	0	297	81	1.9	18100
U0M8	440	600	452	394	0	295	74	2.5	18040
U10M0	443	603	454	363	40	303	108	0.1	18180
U10M2	442	602	453	362	40	302	89	0.4	18150
U10M4	440	600	452	361	40	301	86	0.7	18110
U10M6	439	598	450	360	40	300	80	1.1	18060
U10M8	435	593	446	358	40	297	79	1.7	17960
U25M0	430	586	440	303	101	303	97	0.2	17930
U25M2	430	587	440	304	101	304	101	0.1	17940
U25M4	428	585	438	302	101	302	90	0.5	17900
U25M6	426	582	436	301	100	301	90	1.0	17840
U25M8	425	580	435	300	100	300	90	1.3	17800
U37,5M0	416	569	427	252	151	302	105	0.7	17680
U37,5M2	415	567	426	251	151	302	106	1.0	17640
U37,5M4	413	565	424	250	150	300	100	1.4	17590
U37,5M6	414	565	425	251	150	301	90	1.2	17600
U37,5M8	413	564	424	250	150	300	90	1.5	17580

Aşağıda verilen beton karışımları sabit su/bağlayıcı oranı ile dökülmüştür. Kullanılan su/bağlayıcı oranı 0.75'dir. Üretilen betonlar için kullanılan simgeler aşağıda gösterilmiştir.

- U0M0 : 400 dozlu kontrol betonu
- U0M2 : 400 dozlu, %2 MgSO₄ çözeltili beton (1m³ için 6kg)
- U0M4 : 400 dozlu, %4 MgSO₄ çözeltili beton (1m³ için 12 kg)
- U0M6 : 400 dozlu, %6 MgSO₄ çözeltili beton (1m³ için 18 kg)
- U0M8 : 400 dozlu, %8 MgSO₄ çözeltili beton (1m³ için 24 kg)
- U10M0 : 360 dozlu, %10 uçucu kül içeren beton
- U10M2 : 360 dozlu, %10 uçucu kül içeren, %2 MgSO₄ çözeltili beton
- U10M4 : 360 dozlu, %10 uçucu kül içeren, %4 MgSO₄ çözeltili beton
- U10M6 : 360 dozlu, %10 uçucu kül içeren, %6 MgSO₄ çözeltili beton
- U10M8 : 360 dozlu, %10 uçucu kül içeren, %8 MgSO₄ çözeltili beton

U25M0	: 300 dozlu, %25 uçucu kül içeren beton
U25M2	: 300 dozlu, %25 uçucu kül içeren, %2 MgSO ₄ çözeltili beton
U25M4	: 300 dozlu, %25 uçucu kül içeren, %4 MgSO ₄ çözeltili beton
U25M6	: 300 dozlu, %25 uçucu kül içeren, %6 MgSO ₄ çözeltili beton
U25M8	: 300 dozlu, %25 uçucu kül içeren, %8 MgSO ₄ çözeltili beton
U37.5M0	: 250 dozlu, %37.5 uçucu kül içeren beton
U37.5M2	: 250 dozlu, %37.5 uçucu kül içeren, %2 MgSO ₄ çözeltili beton
U37.5M4	: 250 dozlu, %37.5 uçucu kül içeren, %4 MgSO ₄ çözeltili beton
U37.5M6	: 250 dozlu, %37.5 uçucu kül içeren, %6 MgSO ₄ çözeltili beton
U37.5M8	: 250 dozlu, %37.5 uçucu kül içeren, %8 MgSO ₄ çözeltili beton

3. 3 Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Saklama, Numune Boyutları

Bütün beton üretimleri, paslanmaz çelikten yapılmış, kapasitesi 45 litre olan bir betoniyerde gerçekleştirilmiştir. Kontrol ve diğer beton üretimleri aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Kum, kırmakum, kırmataş I ve uçucu kül çimento mikserine konduktan sonra üzerine çimento konulmuştur. Karıştırıcı bir dakika çalıştırılarak tüm malzemelerin iyice karışması sağlanmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken magnezyum sülfat çözeltili karışım suyu yavaş yavaş ilave edilmiştir. Bu karıştırmadan sonra karıştırıcı durdurularak, karıştırma kabının cidarlarına bulaşan malzemeler kabın içine kazınmıştır. Bu işlemden sonra karıştırıcı tekrar çalıştırılarak yeniden bir dakika daha çalıştırılmıştır.

İki dakikalık karıştırma süresi sonunda ilk olarak taze birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Bunun için 5.7 litrelik birim ağırlık kovanı 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 taze beton üzerinde yapılmıştır. Sarsma tablası üzerinde 15 kez sarsılarak elde edilen yayılmanın çap değeri tespit edilmiştir.

Yayılma ve taze birim ağırlık deneylerinde kullanılan beton tekrar karıştırıcıya konulmuş ve bir dakika daha karıştırılmıştır. Taze beton 16 adet 4×4×16 ve bir adet 10×10×50 cm.'lik kalıplara konularak vibrasyon uygulaması ile yerleştirme yapılmıştır.

Tüm beton üretimlerinde kalıplarına yerleştirilen betonlar, üzeri hava ile temas etmesini önlemek amacı ile ıslak torbalarla örtülmüş, rötre deneyi için kullanılacak betonların üzeri ise cam tabakalarla kapatılmış ve birinci günün sonunda kalıplardan çıkarılmışlardır. Kalıplardan çıkarılan 4×4×16 cm.'lik betonların 6 adedi ve 10×10×50 cm.'lik beton numunesi sıcaklığı 20°C±1°C, nem oranı %60±5 olan laboratuvar odasında, 4×4×16 cm.'lik numunelerden diğer 6 adediye sıcaklığı 20°C±1°C olan su havuzlarında deney gününe kadar saklanmıştır. 2 adet 4×4×16 cm.'lik numune %60±5 nemli ortamda açıkta, kalan 2 adet 4×4×16 cm.'lik numuneye sıcaklığı 20°C±1°C olan su havuzunda sırasıyla rötre ve şişme deneyleri gününe kadar bekletilmiştir.

4×4×16 cm.'lik numuneler ultrases, basınç, eğilme, rötre ve şişme deneyleri için; 10×10×50 cm.'lik numune ise 2. gününde ortadan ikiye kesilip, daha sonra

10×10×10 cm.'lik küpler kesilerek kılcallık ve su emme deneyleri için kullanılmıştır.

3.4 Deneylerin Tanımlanması, Yöntemler

3.4.1 Çimento hamuru deneyleri

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

3.4.2 Taze beton deneyleri

Beton karışımları hazırlandıktan sonra ilk olarak taze birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Deneyde 5.7 litrelik birim ağırlık kovası kullanılmıştır.

Ayrıca sarsma tablası üzerinde yayılma deneyi yapılmış ve bu sayede betonun işlenebilme özelliği belirlenmiştir.

3.4.3 Sertleşmiş beton deneyleri

Sertleşmiş 4×4×16 cm.'lik beton numuneleri üzerinde 2 adedi 7, 2 adedi 28 ve 2 adedi 90. günlerde olmak üzere sırasıyla; ultrases hızı, eğilme mukavemeti ve basınç mukavemeti deneyleri; 10×10×10 cm.'lik numuneleri üzerinde ise 2 adedi 28. ve 2 adedi 90.günlerde olmak üzere kılcallık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 56, 70 ve 90. günlerde sertleşmiş 4×4×16 cm.'lik beton numunelerinin 2 adedi üzerinde rötire ve 2 adedi üzerinde ise şişme (boy değişimi) deneyleri yapılmıştır.

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

Eğilme mukavemeti deneylerinde numunelerin mesnet açıklığı 10 cm.'dir ve tekil yük tam açıklığın tam ortasından uygulanmıştır.

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

Kılcallık deneyinde kullanılacak olan numuneler ilk olarak 3 gün süreyle 80°C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler 20°C ve % 50≈60 rutubetli laboratuvar ortamında soğutulmuş ve bu işlemde sonra yan yüzleri parafin ile izole edilerek deneye hazır hale getirilmiştir.

Deney numunelerinin alt yüzeyleri suyla temas ettirilerek emilen su miktarları, deney başlangıcından itibaren 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 ve 64. dakikalarda tartılarak saptanmıştır.

Su emme deneyi için, kılcallık deneyinde kullanılan 2 adet numune, deney bitiminden hemen sonra 23°C ± 2°C'lik su havuzlarına konulmuştur. Numuneler havuza konulduktan iki gün sonra, havuzdan çıkarıldıktan sonra yüzeyleri hafifçe kurularak ağırlıkları tartılarak su emme miktarları belirlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde çalışma süresince elde edilmiş olan deney sonuçları tablolar halinde verilecektir.

4.1 Çimento Hamuru Deney Sonuçları

Hazırlanan çimento hamurları üzerinde priz deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler yapılırken normal kıvam su miktarı sabit tutulmuştur. Hazırlanan magnezyum sülfat çözeltileri kıvam suyuna ilave edilmiştir. Aynı zamanda, çimento hamuruna uçucu kül de eklenerek priz süresine etkileri belirlenmiştir. Çimento hamurlarının ölçülen priz başlangıç ve bitiş süreleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Sabit kıvam suyuyla yapılan çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş süreleri

Çimento Hamuru Türü	Normal Kıvam (%)	Priz Başlama Süresi		Priz Bitiş Süresi	
		Saat	Dakika	Saat	Dakika
U0M0	27	1	54	3	29
U0M2	27	1	55	4	5
U0M4	27	2	0	4	10
U0M6	27	1	56	3	50
U0M8	27	2	10	4	25
U10M0	27	2	5	4	10
U10M2	27	2	30	5	5
U10M4	27	3	0	4	50
U10M6	27	3	10	4	55
U10M8	27	3	32	5	24
U25M0	27	2	3	3	33
U25M2	27	2	35	3	55
U25M4	27	3	15	4	15
U25M6	27	3	12	4	53
U25M8	27	3	35	5	5
U37.5M0	27	2	50	4	20
U37.5M2	27	2	53	4	23
U37.5M4	27	3	0	4	40
U37.5M6	27	2	45	4	25
U37.5M8	27	3	30	5	30

4.2 Taze Beton Deney Sonuçları

4.2.1 Taze birim ağırlık deneyi sonuçları

Taze beton özellikleri daha önce Tablo 3.7’de beton bileşimleriyle birlikte gösterilmiştir. Üretilen beton karışımlarındaki gerçek malzeme miktarları taze birim ağırlığından faydalanarak hesaplanmıştır.

4.2.2 Yayılma deneyi sonuçları

Yapılan yayılma deneyi sonuçları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Yayılma değerleri

Beton Türü	Yayılma Değerleri (cm)	Yayılma Değerleri (%)
U0M0	15.5	100
U0M2	12.5	81
U0M4	12.5	81
U0M6	12.5	81
U0M8	11.5	74
U10M0	16.8	108
U10M2	13.8	89
U10M4	13.4	86
U10M6	12.4	80
U10M8	12.3	79
U25M0	15.1	97
U25M2	15.7	101
U25M4	14.0	90
U25M6	14.0	90
U25M8	14.0	90
U37,5M0	16.2	105
U37,5M2	16.4	106
U37,5M4	15.5	100
U37,5M6	14.0	90
U37,5M8	14.0	90

4.3 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Üretilen tüm beton numunelerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki eğilme mukavemeti, basınç mukavemeti, ultrases hızı; 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 56, 70 ve 90.günlerde ölçülmüş rötre ve şişme; 28 ve 90. günlerde belirlenmiş kılcallık katsayıları ve ağırlıkça su emme değerleri sırasıyla Tablo 4.3, Tablo 4.5, Tablo 4.7, Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de verilmiştir. Ayrıca basınç, eğilme ve ultrases deneyi sonuçlarının yüzde cinsinden, 28. gün sonuçlarına göre oranlanmış değerleri de Tablo 4.4, Tablo 4.6 ve Tablo 4.8’de verilmiştir.

4.3.1 Eğilme mukavemeti sonuçları

Eğilme mukavemeti sonuçları (N/mm^2) cinsinden 2 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Eğilme mukavemeti sonuçları aşağıda Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3: Eğilme mukavemeti değerleri

Kür Şekli	Beton Türü	EĞİLME MUKAVEMETİ (N/mm^2)		
		7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
Hava	U0M0	5,2	6,6	6,9
	U0M2	3,8	5,8	5,6
	U0M4	2,8	4,4	4,6
	U0M6	2,6	4,0	3,5
	U0M8	2,5	3,1	2,7
	U10M0	4,7	5,1	49,0
	U10M2	3,7	4,8	3,9
	U10M4	2,4	2,8	2,2
	U10M6	2,2	3,3	2,8
	U10M8	1,7	2,1	2,1
	U25M0	3,1	4,3	3,5
	U25M2	2,3	3,2	2,4
	U25M4	1,8	2,4	2,0
	U25M6	1,5	1,9	1,6
	U25M8	1,4	1,7	1,7
	U37,5M0	2,4	2,5	2,4
	U37,5M2	1,8	2,2	1,8
	U37,5M4	1,4	1,9	1,6
	U37,5M6	1,4	1,4	1,1
	U37,5M8	1,2	1,4	1,0
Su	U0M0	5,9	7,1	7,9
	U0M2	3,5	6,0	6,3
	U0M4	3,4	5,4	6,5
	U0M6	2,4	4,1	5,5
	U0M8	2,0	2,8	4,6
	U10M0	4,2	6,7	7,4
	U10M2	3,8	5,5	7,9
	U10M4	2,3	4,2	6,4
	U10M6	2,0	3,7	5,9
	U10M8	1,9	2,6	5,1
	U25M0	3,5	5,6	7,9
	U25M2	2,9	5,0	7,0
	U25M4	1,8	4,0	6,7
	U25M6	1,5	3,3	6,3
	U25M8	1,6	2,7	5,4
	U37,5M0	2,5	4,9	6,4
	U37,5M2	2,4	3,9	6,5
	U37,5M4	1,8	3,6	5,8
	U37,5M6	1,4	3,6	6,0
	U37,5M8	1,3	2,2	5,8

Eğilme mukavemeti oranlanmış sonuçları aşağıda Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4: Eğilme mukavemeti oranlanmış değerleri

Kür Şekli	Beton Türü	EĞİLME MUKAVEMETİ (%)		
		7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
Hava	U0M0	79	100	105
	U0M2	58	88	85
	U0M4	42	67	70
	U0M6	39	61	53
	U0M8	38	47	41
	U10M0	71	77	74
	U10M2	56	73	59
	U10M4	36	42	33
	U10M6	33	50	42
	U10M8	26	32	32
	U25M0	47	65	53
	U25M2	35	48	36
	U25M4	27	36	30
	U25M6	23	29	24
	U25M8	21	26	26
	U37,5M0	36	38	36
	U37,5M2	27	33	27
	U37,5M4	21	29	24
	U37,5M6	21	21	17
	U37,5M8	18	21	15
Su	U0M0	83	100	111
	U0M2	49	85	89
	U0M4	48	76	92
	U0M6	34	58	77
	U0M8	28	39	65
	U10M0	59	94	104
	U10M2	54	77	111
	U10M4	32	59	90
	U10M6	28	52	83
	U10M8	27	37	72
	U25M0	49	79	111
	U25M2	41	70	99
	U25M4	25	56	94
	U25M6	21	46	89
	U25M8	23	38	76
	U37,5M0	35	69	90
	U37,5M2	34	55	92
	U37,5M4	25	51	82
	U37,5M6	20	51	85
	U37,5M8	18	31	82

4.3.2 Basınç mukavemeti sonuçları

Basınç mukavemeti deneylerinde elde edilen sonuçlar hesaplanırken, mukavemetteki gerilme formülü kullanılarak değerler (N/mm^2) cinsinden 2 adet numunenin ortalaması alınarak bulunmuştur. Basınç mukavemeti sonuçları aşağıda Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5: Basınç mukavemeti değerleri

Kür Şekli	Beton Türü	BASINÇ MUKAVEMETİ (N/mm^2)		
		7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
Hava	U0M0	17,4	25,0	23,2
	U0M2	12,6	17,7	15,8
	U0M4	8,2	16,9	17,6
	U0M6	6,4	12,9	13,7
	U0M8	4,8	9,5	9,7
	U10M0	14,3	19,0	18,5
	U10M2	12,1	17,5	15,9
	U10M4	5,8	10,3	10,2
	U10M6	7,5	11,5	10,6
	U10M8	6,2	7,5	8,7
	U25M0	10,8	13,0	12,1
	U25M2	8,1	9,4	9,0
	U25M4	5,9	7,3	6,3
	U25M6	5,2	6,8	6,4
	U25M8	4,4	6,1	6,0
	U37,5M0	8,0	8,5	8,6
	U37,5M2	5,9	5,9	6,2
	U37,5M4	4,7	5,9	5,2
	U37,5M6	3,8	5,1	4,8
	U37,5M8	3,3	3,8	4,1
Su	U0M0	16,1	26,1	27,2
	U0M2	11,5	20,0	21,1
	U0M4	8,9	18,7	23,3
	U0M6	5,9	13,2	20,0
	U0M8	4,3	8,9	14,5
	U10M0	13,4	18,4	25,7
	U10M2	11,9	17,8	24,5
	U10M4	5,9	13,5	19,8
	U10M6	6,6	11,0	18,2
	U10M8	4,9	8,4	16,2
	U25M0	10,5	16,0	24,6
	U25M2	8,7	14,5	21,5
	U25M4	5,1	10,6	18,8
	U25M6	4,0	9,5	18,3
	U25M8	4,3	8,1	17,2
	U37,5M0	7,2	13,9	21,0
	U37,5M2	6,4	12,2	21,0
	U37,5M4	5,0	11,0	20,5
	U37,5M6	3,3	9,6	18,1
	U37,5M8	3,3	6,8	17,9

Basınç mukavemeti oranlanmış değerleri aşağıda Tablo 4.6’da verilmiştir

Tablo 4.6: Basınç mukavemeti oranlanmış değerleri

Kür Şekli	Beton Türü	BASINÇ MUKAVEMETİ (%)		
		7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
Hava	U0M0	70	100	93
	U0M2	50	71	63
	U0M4	33	68	70
	U0M6	26	52	55
	U0M8	19	38	39
	U10M0	57	76	74
	U10M2	48	70	64
	U10M4	23	41	41
	U10M6	30	46	42
	U10M8	25	30	35
	U25M0	43	52	48
	U25M2	32	38	36
	U25M4	24	29	25
	U25M6	21	27	26
	U25M8	18	24	24
	U37,5M0	32	34	34
	U37,5M2	24	24	25
	U37,5M4	19	24	21
	U37,5M6	15	20	19
	U37,5M8	13	15	16
Su	U0M0	62	100	104
	U0M2	44	77	81
	U0M4	34	72	89
	U0M6	23	51	77
	U0M8	16	34	56
	U10M0	51	70	98
	U10M2	46	68	94
	U10M4	23	52	76
	U10M6	25	42	70
	U10M8	19	32	62
	U25M0	40	61	94
	U25M2	33	56	82
	U25M4	20	41	72
	U25M6	15	36	70
	U25M8	16	31	66
	U37,5M0	28	53	80
	U37,5M2	25	47	80
	U37,5M4	19	42	79
	U37,5M6	13	37	69
	U37,5M8	13	26	69

4.3.3 Ultrases hızı sonuçları

Ultrases deneyinin sonucunda numunenin içinden geçen sesin hızı bulunmuştur. Değerler, 2 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Ultrases hızı sonuçları aşağıda Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Ultrases hızı değerleri

Kür Şekli	Beton Türü	ULTRASES HIZI (km/sn)		
		7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
Hava	U0M0	3,9	4,0	3,9
	U0M2	3,5	3,8	3,6
	U0M4	3,4	3,7	3,5
	U0M6	3,0	3,4	3,3
	U0M8	2,9	3,1	2,9
	U10M0	3,8	3,9	3,7
	U10M2	3,7	3,7	3,4
	U10M4	2,9	3,2	2,9
	U10M6	3,0	3,2	3,1
	U10M8	2,8	2,8	2,8
	U25M0	3,5	3,4	3,3
	U25M2	3,1	3,2	2,9
	U25M4	2,8	2,8	2,6
	U25M6	2,7	2,7	2,6
	U25M8	2,4	2,6	2,5
	U37,5M0	3,1	2,9	3,0
	U37,5M2	2,8	2,8	2,6
	U37,5M4	2,5	2,7	2,4
	U37,5M6	2,3	2,5	2,4
	U37,5M8	2,3	2,3	2,3
Su	U0M0	4,1	4,5	4,6
	U0M2	3,9	4,3	4,5
	U0M4	3,9	4,3	4,4
	U0M6	3,5	4,0	4,3
	U0M8	3,5	3,8	4,2
	U10M0	4,2	4,5	4,6
	U10M2	4,1	4,4	4,5
	U10M4	3,5	4,2	4,3
	U10M6	3,5	4,0	4,3
	U10M8	3,5	3,8	4,2
	U25M0	4,0	4,3	4,6
	U25M2	3,7	4,2	4,5
	U25M4	3,4	4,0	4,3
	U25M6	3,1	3,9	4,3
	U25M8	3,2	3,7	4,2
	U37,5M0	3,7	4,1	4,3
	U37,5M2	3,6	4,2	4,4
	U37,5M4	3,3	4,0	4,3
	U37,5M6	3,1	3,9	4,3
	U37,5M8	2,9	3,7	4,3

Ultrases hızı oranlanmış değerleri aşağıda Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Ultrases hızı oranlanmış değerleri

Kür Şekli	Beton Türü	ULTRASES HIZI (%)		
		7 GÜN	28 GÜN	90 GÜN
Hava	U0M0	97,5	100,0	97,5
	U0M2	87,5	95,0	90,0
	U0M4	85,0	92,5	87,5
	U0M6	75,0	85,0	82,5
	U0M8	72,5	77,5	72,5
	U10M0	95,0	97,5	92,5
	U10M2	92,5	92,5	85,0
	U10M4	72,5	80,0	72,5
	U10M6	75,0	80,0	77,5
	U10M8	70,0	70,0	70,0
	U25M0	87,5	85,0	82,5
	U25M2	77,5	80,0	72,5
	U25M4	70,0	70,0	65,0
	U25M6	67,5	67,5	65,0
	U25M8	60,0	65,0	62,5
	U37,5M0	77,5	72,5	75,0
	U37,5M2	70,0	70,0	65,0
	U37,5M4	62,5	67,5	60,0
	U37,5M6	57,5	62,5	60,0
	U37,5M8	57,5	57,5	57,5
Su	U0M0	91,1	100,0	102,2
	U0M2	86,6	95,5	100,0
	U0M4	86,6	95,5	97,7
	U0M6	77,7	88,8	95,5
	U0M8	77,7	84,4	93,3
	U10M0	93,3	100,0	102,2
	U10M2	91,1	97,7	100,0
	U10M4	77,7	93,3	95,5
	U10M6	77,7	88,8	95,5
	U10M8	77,7	84,4	93,3
	U25M0	88,8	95,5	102,2
	U25M2	82,2	93,3	100,0
	U25M4	75,5	88,8	95,5
	U25M6	68,8	86,6	95,5
	U25M8	71,1	82,2	93,3
	U37,5M0	82,2	91,1	95,5
	U37,5M2	80,0	93,3	97,7
	U37,5M4	73,3	88,8	95,5
	U37,5M6	68,8	86,6	95,5
	U37,5M8	64,4	82,2	95,5

4.3.4 Rötme ve şişme sonuçları

3, 5, 7, 14, 21, 28, 56, 70 ve 90. günlerde yapılan rötme ve şişme ölçümleri sonuçları sırasıyla Tablo 4.9 ve Tablo 4.10 'da verilmiştir. Sonuçlar her iki deney için, 2 adet numune üzerinde yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.9: Rötme Değerleri

Beton Türü	RÖTME DEĞERLERİ (ϵ) ($\times 10^{-6}$)								
	3.Gün	5.Gün	7.Gün	14.Gün	21.Gün	28.Gün	56.Gün	70.Gün	90.Gün
U0M0	-62,5	-62,5	250	62,5	312,5	562,5	812,5	1000	1000
U0M2	0	125	406,3	718,8	937,5	1187,5	1281,3	1468,8	1593,8
U0M4	-125	-218,8	-187,5	187,5	406,3	656,3	843,8	968,8	875
U0M6	-62,5	-156,3	0	375	812,5	906,3	1156,3	1562,5	1218,8
U0M8	-93,8	250	343,8	812,5	1218,8	1593,8	1718,8	1656,3	1718,8
U10M0	250	281,3	312,5	593,8	781,3	968,8	1125	1156,3	1156,3
U10M2	-93,8	-62,5	-31,3	312,5	625	750	906,3	906,3	843,8
U10M4	-250	-125	62,5	500	812,5	906,3	937,5	843,8	875
U10M6	0	31,3	187,5	812,5	1125	1343,8	1312,5	1281,3	1281,3
U10M8	31,3	156,3	343,8	531,3	656,3	875	781,3	750	812,5
U25M0	-250	281,3	750	968,8	1187,5	1250	1125	1125	1156,3
U25M2	0	62,5	62,5	531,3	687,5	875	656,3	781,3	718,8
U25M4	93,8	218,8	375	843,8	1062,5	1156,3	1062,5	1093,8	1000
U25M6	0	187,5	312,5	437,5	1062,5	875	1000	1062,5	937,5
U25M8	-62,5	156,3	656,3	1218,8	1343,8	1156,3	1281,3	1218,8	1156,3
U37,5M0	-62,5	218,8	250	562,5	406,3	500	531,3	531,3	500
U37,5M2	-312,5	343,8	281,3	906,3	656,3	781,3	781,3	781,3	781,3
U37,5M4	-62,5	281,3	562,5	968,8	906,3	906,3	968,8	968,8	906,3
U37,5M6	-437,5	375	937,5	1375	1281,3	1312,5	1312,5	1312,5	1250
U37,5M8	187,5	687,5	1093,8	1375	1187,5	1343,8	1375	1312,5	1281,3

Tablo 4.10: Şişme Değerleri

Beton Türü	ŞİŞME DEĞERLERİ (ϵ) ($\times 10^{-6}$)								
	3.Gün	5.Gün	7.Gün	14.Gün	21.Gün	28.Gün	56.Gün	70.Gün	90.Gün
U0M0	93,8	125	156,3	0	187,5	281,3	187,5	250	250
U0M2	468,8	562,5	375	531,3	500	750	406,3	468,8	468,8
U0M4	187,5	375	906,3	875	875	750	812,5	812,5	500
U0M6	156,3	156,3	93,75	281,3	125	250	375	312,5	375
U0M8	281,3	125	1250	1281,3	1437,5	1531,3	2000	2093,8	2187,5
U10M0	-187,5	-187,5	-125	-312,5	-312,5	-312,5	-250	-218,8	-187,5
U10M2	125	125,0	125,0	93,80	-187,50	-62,50	93,80	125,00	281,30
U10M4	250,0	187,5	312,5	218,80	281,30	281,30	406,30	406,30	468,80
U10M6	187,5	281,3	562,5	375,00	406,30	375,00	468,80	375,00	312,50
U10M8	31,30	156,3	93,80	437,50	875,00	750,00	1031,30	1343,80	1406,30
U25M0	62,5	-125	-156,3	31,3	-93,8	-125	31,3	93,8	125
U25M2	31,3	-218,8	156,3	93,8	125	62,5	375	375	375
U25M4	-93,8	-31,3	156,3	187,5	187,5	187,5	375	375	468,8
U25M6	0	125	187,5	281,3	250	468,8	406,3	406,3	468,8
U25M8	343,8	343,8	406,3	812,5	812,5	1187,5	1281,3	1437,5	1375
U37,5M0	312,5	187,5	187,5	31,3	281,3	281,3	343,8	343,8	343,8
U37,5M2	125	31,3	187,5	-93,8	156,3	93,8	187,5	187,5	187,5
U37,5M4	281,3	375	406,3	468,8	562,5	562,5	687,5	687,5	750
U37,5M6	343,8	343,8	500	656,3	1000	1031,3	1125	1093,8	1156,3
U37,5M8	406,3	625	656,3	1000	1562,5	1812,5	1937,5	1968,8	1937,5

4.3.5 Kılcallık deneyi sonuçları

28. ve 90. günlerde yapılan kılcallık deneyi sonuçları Tablo 4.11’de verilmiştir. Her bir deneyde 2 adet numune kullanılmıştır ve sonuçlar bu değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.11: Kılcallık Katsayıları

Kür Şekli	Beton Türü	Kılcallık katsayısı (k) (10 ⁻⁴)	
		28 GÜN	90 GÜN
Hava	U0M0	2,9	5,6
	U0M2	8,9	7,4
	U0M4	23,6	13,5
	U0M6	60,5	23,0
	U0M8	84,1	60,5
	U10M0	25,3	10,9
	U10M2	26,8	17,2
	U10M4	93,7	32,3
	U10M6	77,3	29,1
	U10M8	123,2	29,4
	U25M0	45,7	7,6
	U25M2	104,4	20,0
	U25M4	104,7	47,3
	U25M6	176,6	60,5
	U25M8	249,3	33,8
	U37.5M0	39,2	14,3
	U37.5M2	100,8	54,6
	U37.5M4	151,3	56,6
	U37.5M6	321,5	109,8
	U37.5M8	436,8	184,1
Su	U0M0	0,6	0,2
	U0M2	1,6	0,4
	U0M4	1,5	2,3
	U0M6	21,3	0,7
	U0M8	40,1	1,8
	U10M0	12,5	0,3
	U10M2	11,0	0,7
	U10M4	40,2	0,6
	U10M6	26,9	0,8
	U10M8	52,6	2,8
	U25M0	13,5	0,2
	U25M2	24,0	0,4
	U25M4	20,1	4,2
	U25M6	24,0	9,2
	U25M8	30,1	8,8
	U37.5M0	6,7	3,4
	U37.5M2	13,2	5,1
	U37.5M4	25,6	3,5
	U37.5M6	31,7	5,7
	U37.5M8	55,5	9,0

4.3.6 Su emme deneyi sonuçları

28. ve 90. günlerde yapılan kılcallık deneyinden sonra 2 adet numune üzerinde gerçekleştirilen ve bu değerlerin ortalaması alınarak hesaplanan su emme deneyi sonuçları Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12: Su emme değerleri [ağırlıkça (%)]

Kür Şekli	Beton Türü	Su Emme (Ağırlıkça) (%)	
		28 GÜN	90 GÜN
Hava	U0M0	4,34	7,25
	U0M2	4,71	9,57
	U0M4	7,03	9,72
	U0M6	9,75	10,63
	U0M8	9,29	11,78
	U10M0	9,39	10,41
	U10M2	7,61	10,76
	U10M4	11,58	11,68
	U10M6	10,56	11,85
	U10M8	11,29	12,29
	U25M0	10,34	10,97
	U25M2	11,75	12,06
	U25M4	9,96	12,23
	U25M6	10,69	11,78
	U25M8	12,19	12,19
	U37.5M0	8,94	10,44
	U37.5M2	11,18	12,05
	U37.5M4	12,52	12,46
	U37.5M6	13,33	13,34
	U37.5M8	13,41	13,36
Su	U0M0	2,56	6,3
	U0M2	2,75	6,95
	U0M4	3,91	7,37
	U0M6	7,05	9,05
	U0M8	8,51	11,48
	U10M0	8,4	6,74
	U10M2	6,3	7,62
	U10M4	10,04	9,98
	U10M6	8,84	10,74
	U10M8	9,94	11,41
	U25M0	7,75	7,69
	U25M2	8,8	9,66
	U25M4	7,01	9,82
	U25M6	7,63	10,11
	U25M8	8,86	9,8
	U37.5M0	5,45	7,1
	U37.5M2	6,76	7,86
	U37.5M4	8,35	7,28
	U37.5M6	9,71	8,93
	U37.5M8	11,01	9,76

5.DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, bölüm 4’te verilen çimento hamuru deney sonuçları, taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları değerlendirilecektir.

5.1 Çimento Hamuru Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Priz sürelerini belirlerken, hazırlanan çimento hamurlarında kıvam suyu miktarı sabit tutulmuştur. Priz başlama ve bitiş süreleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Priz süreleri deneyi sonuçları değerlendirilirken, eklerde bulunan Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’den faydalanılmıştır. Şekillerde TS EN 1008’de sülfat için verilen sınırın $MgSO_4$ için hesaplanan ve diğer kaynaklarda $MgSO_4$ için verilen maksimum değer gösterilmiştir.

Magnezyum sülfat çözeltili çimento hamurlarında, priz kontrole oranla geç başlamış ve geç sona ermiştir. Bunun nedeni, magnezyum iyonlarının çimento hamurundaki kalsiyum iyonlarının, alüminat ve silikatların çözünürlüğünü etkilemesi olabilir. Literatür [12]’de yapılan deneyler sonucunda ise, %2 ve %6 $MgSO_4$ çözeltili çimneto hamurlarında priz kontrole oranla hızlanmıştır. Diğer çözletilerde ise aynı şekilde gecikme gözlenmiştir.

Uçucu kül içeren çimento hamurlarında, priz başlama ve bitiş süreleri kontrole göre artma göstermiştir. Priz bitiş süresindeki en fazla gecikme %37.5 oranında gözlenmiştir. Bu çimento hamurlarındaki gecikmeye neden olarak uçucu külün, priz süresine olan etkisi gösterilebilir. Uçucu küllerin, priz sürelerine etkisinde en önemli iki neden su/çimento oranının artması ve çimento bileşenlerinin azalması söylenebilir. Aynı zamanda, uçucu külün inceliği, karışımdaki yüzdesi ve kimyasal bileşimi de prize olan etkisinde önemli rol oynamaktadır.

5.2 Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1 Taze birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Taze birim ağırlık deney sonuçları değerlendirilirken, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'den faydalanılmıştır. Bütün şekillere toplu olarak bakıldığında, taze birim ağırlık değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre, magnezyum sülfat tuzunun ve uçucu kül katkısının taze birim ağırlık değerlerini çok fazla değiştirmedeği görülmüştür. Yalnızca %2-%4 civarında bir değişime sebep olduğu gözlenmiştir. Literatür [12]'ye bakıldığında da taze birim ağırlık değerlerinin bu çalışmada da benzer sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada da değişimin %2-3 civarlarında olduğu gözlenmiştir.

5.2.2 Yayılma deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Yayılma deney sonuçları değerlendirilirken Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'den yararlanılmıştır.

Uçucu kül kullanılmayan taze betonlarda, yayılma değerinin kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir. Bu azalma, magnezyum sülfat yüzdesinin 8 olduğu karışımda daha fazla olmuştur. Yayılma miktarındaki azalma ortalama %26 kadardır. Yayılma değerindeki azalmanın sebebi magnezyum sülfat konsantrasyonunun artmasıyla, taze betonun kıvamının katılaşması ve daha az yayılması olabilir. Literatür [12]'de yapılan çalışmalar sonucunda da aynı şekilde tüm yayılma değerlerinde azalmalar olduğu görülmüştür.

%10 uçucu kül içeren ve $MgSO_4$ çözeltisi bulunmayan taze betonlarda; yayılma değerinin kontrole oranla arttığı, ancak magnezyum sülfat bulunan karışımlarda kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir. Magnezyum sülfat çözeltisi bulunmayan betonun yayılma değerindeki artmanın sebebi, uçucu külün tanelerinin küresel olması yüzünden işlenebilirliği artırması olabilir. Daha sonraki değerlerin azalmasına sebep ise, magnezyum sülfat konsantrasyonunun artması olabilir.

Uçucu kül yüzdesinin 25 olduğu taze betonların yayılma değerlerinde, magnezyum sülfatın %2 olduğu karışım hariç kontrole oranla azalma görülmüştür. Ancak azalma diğer karışımlarda aynı miktarda olmuştur. Bunun sebebi, katkı olarak katılan uçucu kül miktarının artmasıyla beraber, taze betonun işlenebilirliğinin daha da artması olabilir.

Uçucu kül yüzdesinin 37.5 olduğu taze betonlarda ise, magnezyum sülfatın %2 değerine kadar kontrole oranla artma, %2 değerinden sonra ise kontrole oranla azalma görülmüştür. Buradaki artmanın sebebi olarak uçucu külün işlenebilirliği artırması, azalmanın sebebi olarak ise yine magnezyum sülfat konsantrasyonunun artması gösterilebilir.

5.3 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sertleşmiş beton deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Bölüm 4'te verilen tablolardan ve eklerde bulunan çizilmiş şekillerden faydalanılmıştır.

5.3.1 Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.5'de verilen 7, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemetleri değerleriyle, Tablo 4.6'da verilen 7, 28 ve 90 günlük kontrole göre oranlanmış eğilme mukavemeti değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak çizilen ve eklerde bulunan Şekil 5.13'den Şekil 5.54'e kadar olan şekillerden faydalanılmıştır.

Şekil 5.13'den Şekil 5.20'ye kadar toplu olarak bakıldığında, $MgSO_4$ yüzdesine göre eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir.

Uçucu kül içermeyen betonlarda eğilme mukavemeti değerlerinin kontrole oranla azaldığı görülmektedir. Özellikle %2 değerinden itibaren mukavemette azalmalar olmuştur. Mukavemetteki azalmalara, $MgSO_4$ tuzunun alçıtaşı ve ilerleyen aşamalarda da etrenjit oluşturarak çimentonun C-S-H yapısını bozması sebep olarak gösterilebilir.

Literatür [12]'de yapılan deneylerde, özellikle 7 günlük eğilme mukavemetinde %4 $MgSO_4$ konsantrasyon değerine kadar azalmalar görülmüştür. 28 ve 90 günlük mukavemet değerlerinde ise %4 konsantrasyonundan sonra azalmalar gözlenmiştir.

Uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerine bakıldığında yine kontrole oranla azalmalar görülmektedir. Ancak suda kür edilen numunelerdeki azalmalar, havada kür edilen numunelerdeki azamalardan nispeten daha düşüktür. Özellikle uçucu kül yüzdesi arttıkça ve yaş ilerledikçe eğilme mukavemeti değerlerinde artış gözlenmiştir. Mukavemetteki artışın sebebi, uçucu külün serbest kireci bağlayarak, $MgSO_4$ tuzunun zararlı etkilerini önlemesi olabilir.

Artışın az olması ve özellikle suda kür edilen numunelerde böyle bir etkinin ortaya çıkmış olmasının sebebi ise sırasıyla; kullanılan uçucu kül tipinin (F tipi) mukavemetin gelişimine olan etkisinin uzun vadede ortaya çıkıyor olması ve uçucu külün nemli ortamlara ihtiyaç duyması olabilir.

Şekil 5.21'den Şekil 5.26'ya toplu olarak bakıldığında magnezyum sülfat yüzdesine göre eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelelerindeki değişimleri görülmektedir.

Bu şekillerde de $MgSO_4$ yüzdesi arttıkça mukavemet değerlerinde önemli düşüşler olduğu görülmektedir. Aynı zamanda havada kür edilen numunelerde uçucu kül yüzdesi arttıkça eğilme mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Bunun da uçucu külün nemli ortama olan ihtiyacından kaynaklanıyor olabilir. Özellikle suda kür edilen numunelerin 90. gündeki mukavemet değerlerinin, diğer numunelerin mukavemet değerlerinden fazla olduğu görülmektedir.

Bütün numunelere bakıldığında en zararlı etkinin %8 magnezyum sülfat değerinde olduğu da görülmüştür.

Şekil 5.27'den Şekil 5.36'ya toplu olarak bakıldığında uçucu kül yüzdesine göre eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir.

Havada kür edilen numunelere bakıldığında, kontrole oranla eğilme mukavemetlerinde azalmalar olduğu; hatta bu azalmaların uçucu kül yüzdesinin artmasına rağmen değişmediği görülmektedir. Bunun sebebi bir önceki durumda açıldığı gibi uçucu külün faza nemli ortama ihtiyaç duymasından kaynaklanıyor olabilir. Magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça da bu etkinin daha da fazla ortaya çıktığı da görülmektedir.

Su da kür edilen numunelerde ise durum daha farklı olmaktadır. Her ne kadar burada da magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça eğilme mukavemeti değerleri azalsa da, uçucu kül yüzdesinin artmasıyla ve yaşın ilerlemesi ile nispeten daha değerlere ulaşmıştır. Özellikle 90. gün değerlerine bakıldığında mukavemette çok küçük miktarlarda azalma olduğu ve bu etkinin %37.5 uçucu kül miktarında da iyice ortaya çıktığı görülmektedir.

Şekil 5.37'den Şekil 5.44'e kadar toplu olarak bakıldığında eğilme mukavemeti değerlerinin magnezyum sülfat yüzdelelerindeki değişimleri görülmektedir.

Şekillere genel olarak bakıldığında burada magnezyum sülfat yüzdesine göre eğilme mukavemetindeki değişimler daha net olarak görülmektedir. Suda kür edilen numunelerin eğilme mukavemeti değerlerinde çok büyük azalmalar olmadığı ve yaş ilerledikçe mukavemette bir artış olduğu görülmüştür. Bu durum daha önce belirtildiği gibi uçucu külün nemli ortamda kür edilmesinin daha iyi sonuçlar vermesinden kaynaklanabilir. Aynı şekilde havada kür edilen numunelerde de uçucu külün yüzdesinin artmasıyla mukavemetteki azalmalar da açıklanabilir.

Şekil 5.45'den Şekil 5.54'e kadar toplu olarak bakıldığında eğilme mukavemeti değerlerinin günlere göre uçucu kül yüzdesi ile $MgSO_4$ yüzdelelerindeki değişimleri görülmektedir.

Burada da yine uçucu kül yüzdesi ile beraber magnezyum sülfat yüzdelelerinin etkisi aynı anda görülebilmektedir. Tüm şekillere bakıldığında havada kür edilen numunelerin eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesi ile azaldığı ve uçucu külün bu olayda çok fazla bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Ancak suda kür edilen numunelerde ise mukavemette azalmalar olsa bile, bu azalmalar havada kür edilenlere oranla daha az olmuştur. Uçucu kül yüzdesi arttıkça mukavemetteki artış zamanla daha fazla olmuştur.

Eğilme mukavemeti değerlerine bakıldığında, en olumlu sonuçlar %10 uçucu kül ve %2 $MgSO_4$ konsantrasyonunda suda kür edilen numunelerde görülmüştür.

5.3.2 Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.3'de verilen 7,28 ve 90 günlük basınç mukavemeti değerleriyle, Tablo 4.4'de verilen 7,28 ve 90 günlük kontrole göre oranlanmış basınç mukavemeti değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak çizilen ve eklerde bulunan Şekil 5.55'den Şekil 5.96'ya kadar olan şekillerden faydalanılarak yorum yapılmıştır.

Şekil 5.55'den Şekil 5.62'ye kadar olan grafiğe toplu olarak bakıldığında magnezyum sülfat yüzdesine göre basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir.

Uçucu kül bulunmayan betonların basınç mukavemeti değerlerine bakıldığında, her iki kür koşuldaki betonların hepsinde kontrole oranla azalma görülmüştür. Bunun nedeni, magnezyum sülfatın çimentonun hidratasyon ürünü olan C-S-H jelini çözerek M-S-H jeline dönüştürmesi olabilir. C-S-H jelinin çimentonun mukavemet kazanmasında en önemli etken olduğu bilinmektedir.

Literatür [12]'de yapılan deneylerin sonuçlarına bakıldığında ise, 7 günlük basınç mukavemeti değerlerinin %4 $MgSO_4$ konsantrasyonundan sonra azaldığı; 28 günlük basınç mukavemeti değerlerinin ise kontrole oranla artmadığı; 90 günlük basınç mukavemeti değerlerinin ise %2 $MgSO_4$ konsantrasyonuna kadar kontrole oranla artma gösterdiği, bu değerden sonra azaldığı görülmüştür.

Uçucu kül içeren numunelerin basınç mukavemeti değerlerinde de kontrole oranla azalma görülmüştür. Ancak özellikle bu numunelerde %4 değerinden sonra mukavemetteki düşüşün azaldığı gözlenmiştir. Özellikle %37.5 uçucu kül içeren ve suda kür edilen betonların basınç mukavemetlerinde azalmanın çok az olduğu belirlenmiştir. Bu da uçucu külün nemli ortamlara ihtiyaç duyduğu ve bu şekilde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Uçucu kül içeren betonların mukavemetlerindeki artışın nedeni, literatürde belirtildiği gibi uçucu külün çimentonun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan kireci bağlaması ve böylece magnezyum sülfatın alçıtaşı oluşturmasını engellemesi olabilir. Aynı zamanda, hidratasyon ürünü olan kireçle yeni bir C-S-H yapısı oluşturarak çimentonun mukavemetinin gelişmesine olumlu etkisi olabilir. Ancak uçucu külün bu etkisi zamanla ortaya çıkar; çünkü uçucu külün hidratasyonu yavaştır. Özellikle F tipi uçucu küllerin mukavemet gelişimindeki etkisi çok yavaş olmaktadır.

Tüm bunlara ek olarak, bütün numunelerde magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça, mukavemette azalmalar gözlenmiştir. Bunun sebebi, magnezyumun daha önce de belirtildiği gibi zararlı etkileri olabilir. Uçucu kül belli bir yüzdeye ulaştıktan sonra, mukavemetteki gelişme daha iyi olmuştur. Bu da uçucu külün hidratasyonunun yavaş olması ve mukavemete etkisinin aynı zamanda birçok faktöre bağlı olmasından kaynaklanabilir. Bunların arasında uçucu külün özellikleri, kimyasal bileşimi, inceliği, reaktivitesi ve sıcaklık ve kür koşulları vardır.

Şekil 5.63'den Şekil 5.68'e toplu olarak bakıldığında magnezyum sülfat yüzdesine göre basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelelerindeki değişimleri görülmektedir.

Buradaki şekillerden de görüldüğü gibi magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça basınç mukavemetinde düşme olmuştur. 7 günlük basınç mukavemeti değerlerinde magnezyum etkisi arttıkça çok büyük azalmalar olduğu görülmektedir. Bu etkiler suda kür edilen numunelerde nispeten azalmıştır. 28 günlük ve 90 günlük basınç mukavemeti değerlerinde de durum aynıdır; ancak özellikle 90 günlük numunelerde basınç mukavemeti değerlerinde artış gözlenmiştir. Suda kür edilen numunelerde mukavemetlerde özellikle %37.5 uçucu kül içerenlerin basınç mukavemetinde çok az düşüş olduğu görülmektedir. Bunun sebebi de yukarıda daha önce de söylendiği gibi uçucu külün mukavemetin gelişimine olumlu etkilerinin olması ve nemli ortamlarda daha iyi sonuçlar vermesi olabilir.

Şekil 5.69'dan Şekil 5.78'e toplu olarak bakıldığında uçucu kül yüzdesine göre basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir.

Bu sonuçlardan da görüldüğü üzere, basınç mukavemetlerinde kontrole oranla azalma görülmüştür. Ancak suda kür edilen numunelerde basınç mukavemetlerindeki azalmalarda düşüş olmuştur. Bu da daha önce yukarıda da belirtildiği gibi, uçucu külün nemli ortamlarda kür edilmesinin daha iyi sonuç vermesinden kaynaklanıyor olabilir. Özellikle de 90 günlük mukavemetlerde önemli bir artış gözlenmiştir. Mukavemetlerdeki bu artış, yaş faktörüne bağlanabilir.

Şekil 5.79'dan Şekil 5.86'ya kadar toplu olarak bakıldığında 7, 28 ve 90. günlere göre basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelelerindeki değişimleri görülmektedir.

Tüm numunelere bakıldığında $MgSO_4$ yüzdesi arttıkça, basınç mukavemetinde azalmalar olduğu bu grafiklerde çok daha net bir şekilde görülmektedir. Özellikle en büyük zararlı etkinin %8 değerinde olduğu gözlenmektedir. Ancak uçucu kül yüzdesi arttıkça magnezyum sülfatın az da olsa etkisinin hafıflediği görülmüştür. Bununla beraber, suda kür edilen numunelerde 90. güne gelindiğinde basınç mukavemetinde artış olduğu; fakat bu artışın %8 değerinde en az olduğu da görülmektedir. Daha önce yukarıda söylendiği gibi, uçucu külün nemli ortamda etkisinin daha iyi olduğuyorsa burada daha net gözükmemektedir.

Şekil 5.87’den Şekil 5.96’ya kadar toplu olarak bakıldığında, 7, 28 ve 90. günlere göre basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül ile birlikte $MgSO_4$ yüzdelesindeki değişimleri görülmektedir.

Burada uçucu külün nemli ortamlarda kür edildiğinde daha iyi sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. Havada kür edilen numunelere genel olarak bakıldığında uçucu kül yüzdesi arttıkça basınç mukavemetinde azalmalar gözlenmiştir. Bunun sebebi literatürde bahsedildiği üzere uçucu kül içeren betonların kür koşullarının betonun mukavemetindeki gelişiminde çok önemli bir rol oynaması ve nemli ortama ihtiyaç duyması olabilir. Suda kür edilen numunelere bakıldığında ise uçucu küllü betonların yaş ilerledikçe basınç mukavemetinde artışlar görülmektedir. Yaş ilerledikçe artış olması ise külün zamanla daha iyi sonuçlar vermesi olarak yorumlanabilir.

Aynı zamanda magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça basınç mukavemetinde çok büyük azalmalar olmuş; özellikle en zararlı etkinin %8 değerinde ortaya çıktığı görülmüştür. Fakat suda kür edilen ve uçucu kül içeren betonların mukavemetlerinde diğer betonların mukavemetlerine göre magnezyum sülfatın zararlı etkisinin daha az olduğu gözlenmiştir. Basınç mukavemeti açısından en olumlu sonuçlar %10 uçucu kül ve magnezyum sülfat çözeltisi içermeyen suda kür edilen beton karışımlarında elde edilmiştir.

5.3.3 Ultrases deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Ultrases deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.7’de verilen 7, 28 ve 90 günlük; Tablo 4.8’de verilen 7, 28 ve 90 günlük kontrole göre oranlanmış ultrases hızı değerleriyle; bu değerlerden yararlanılarak çizilen ve eklerde bulunan Şekil 5.97’den Şekil 5.138’e kadar olan şekillerden faydalanılmıştır.

Şekil 5.97’den Şekil 5.104’e kadar toplu olarak bakıldığında ultrases hızı değerlerinin magnezyum sülfat yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir.

Genel olarak bakıldığında ultrases hızı değerleri kontrole oranla ve magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça azalmıştır. Ancak suda kür edilen ve özellikle uçucu kül içeren numunelerde daha küçük miktarlarda azalmalar olduğu görülmektedir.

Ancak literatür [12]’de yapılan deneylerde ise magnezyum sülfat çözeltili betonların ultrases hızlarında ortalama olarak %3-4 civarında artış gözlenmiştir.

Şekil 5.105'den Şekil 5.110'a toplu olarak bakıldığında ultrases hızı değerlerinin magnezyum sülfat yüzdesine göre uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri görülmektedir.

Bu şekillere de genel olarak bakıldığında ultrases hızının magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça azaldığı ve uçucu küllü, suda kür edilen betonlarda bu değerlerin daha azalmalar gösterdiği görülmektedir. Uçucu küllü ve suda kür edilen numunelerin ultrases hızı değerlerinin zamanla ya da magnezyum sülfat yüzdesinin artması ile çok fazla değişmemesinin nedeni; daha önce de söylendiği gibi betondaki nem oranının fazla olması şeklinde açıklanabilir.

Şekil 5.111'den Şekil 5.120'ye toplu olarak bakıldığında ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir.

Genel olarak bakıldığında özellikle havada kür edilen numunelerde uçucu kül yüzdesi arttıkça ultrases hızında azalmalar olmuştur. Aynı zamanda magnezyum sülfat yüzdesinin artması ile de bu değerlerde yine azalmalar görülmüştür. Yukarıda da söylendiği gibi azalmalara sebep olarak, dalga hızının betondaki nem oranıyla bağlantılı olması gösterilebilir. Özellikle de uçucu külün nemli ortamlara ihtiyaç duyması ve beton bileşimindeki yüzdesinin artması da betonda daha fazla nem ihtiyacı doğuracaktır. Nem oranının da daha az olması ultrases hızını etkileyebilir.

Şekil 5.121'den Şekil 5.128'e toplu olarak bakıldığında 7, 28 ve 90. günlere göre ultrases hızı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri görülmektedir.

Genel olarak bakıldığında ultrases hızı değerlerinin havada kür edilen numunelerde azaldığı, suda kür edilen numunelerde ise arttığı görülmektedir. Ancak bütün şekillerde en az değerler %8 magnezyum sülfat değerinde görülmektedir. Burada görülen etkiler de yukarıdaki gibi açıklanabilir.

Şekil 5.129'dan Şekil 5.138'e kadar toplu olarak bakıldığında, 7, 28 ve 90. günlere göre ultrases hızı değerlerinin uçucu kül ile birlikte $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri görülmektedir.

Bu şekillere de bakıldığında aynı yukarıda açıklanan etkiler görülmektedir. En düşük ultrases hızı değeri %8 magnezyum sülfat değerinde görülmekte; uçucu kül yüzdesi arttıkça ultrases hızı azalmakta ve suda kür edilen numunelerde ise ultrases hızı artmaktadır.

5.3.4 Rötre ve Şişme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Rötre ve Şişme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.9, Tablo 4.10 Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de verilen 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 56, 70 ve 90. günlerde yapılan okuma değerlerinden faydalanılmıştır. Ayrıca bu değerlerden yararlanılarak çizilen ve eklerde bulunan Şekil 5.139’dan Şekil 5.154’e kadar olan Şekillerden de faydalanılmıştır.

Şekil 5.139’dan Şekil 5.142’ye toplu olarak bakıldığında rötre değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir. Genel olarak bakıldığında rötre miktarlarında artma olmuştur. Özellikle 28 ve 90. günlerde 7. gündeki değerlere göre daha fazla bir artış vardır. Uçucu kül yüzdesinin artması durumunda bile r trede herhangi bir Şekilde azalma gözlenmemiŐtir. Buradan uçucu külün betonun r tresine pek fazla bir etkisi olmadığı sonucu çıkarılabilir. Ancak %10 uçucu küllü betonda 28 ve 90. günlerdeki rötre değerlerinde %6 magnezyum sülfat değerinden sonra bir azalma görülmektedir. %25 uçucu küllü ve $MgSO_4$   zeltisi içermeyen numunenin r tresinde de bir azalma olmuş ancak daha sonraki değerlerde gene artma görülmüştür. Literatür [12]’deki sonuçlara bakıldığında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada da özellikle 28 ve 90. günlerde rötre değerlerinde daha fazla artış gözlenmiŐ ve en yüksek artış 90. gün %8 $MgSO_4$ konsantrasyon değerinde görülmüştür.

Şekil 5.143’dan Şekil 5.146’ya kadar toplu olarak bakıldığında rötre değerlerinin günlere göre magnezyum sülfat yüzdelerindeki değişimleri görülmektedir.

Burada da görüldüğü gibi zamanla betondaki rötre artmıŐ ve uçucu kül yüzdesinin artmasına rağmen r tredeki azalma çok fazla olmamıştır. Aynı zamanda burada da görüldüğü üzere genel olarak en yüksek rötre değerleri %8 magnezyum sülfat değerinde görülmüştür.

Şekil 5.147’den Şekil 5.150’ye kadar toplu olarak bakıldığında Şişme değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir.

Genel olarak bakıldığında en fazla şişmenin %8 magnezyum sülfat değerinde olduğu bununla beraber uçucu kül miktarının artması ile şişme değerlerinde azalmalar da görülmektedir. Şişmedeki artışın sebebi, su/çimento oranının yüksek olması ve bu yüzden daha fazla kapiler boşluk bulunması olarak yorumlanabilir. Ancak rötre olayı kimyasal değil daha çok fiziksel bir olay olduğu için burada çimentoyla diğer bileşenlerin kimyasal reaksiyonları önemli değildir.

Şekil 5.151'den Şekil 5.154'e kadar toplu olarak bakıldığında şişme değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdesindeki değişimler görülmektedir.

Şekillere genel olarak bakıldığında burada da şişmenin zamanla arttığını, şişmedeki en büyük değer %8 magnezyum sülfat konsantrasyonunda olduğu görülmektedir. Aynı zamanda uçucu kül yüzdesinin artmasıyla şişme değerlerinde bir azalma olduğu da görülmüştür.

5.3.5 Kılcallık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Kılcallık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde Tablo 4.11'de verilen "k" kılcallık katsayılarından ve aynı zamanda bu değerlerden yararlanılarak çizilen Şekil 5.155'den Şekil 5.170'e kadar olan şekillerden de faydalanılmıştır.

Şekil 5.155'den Şekil 5.162'ye kadar toplu olarak bakıldığında kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir.

Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonlara baktığımızda havada kür edilen numunelerde kılcal geçirimliliğin, suda kür edilen numunelere oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Suda kür edilen numunelerde kılcal geçirimliliğin daha az olmasına, çimentonun daha çok hidratasyon yapması neden olarak gösterilebilir.

Bu numunelerde su/çimento oranının yüksek olması kılcal geçirimliliği arttırmış olabilir. Bilindiği üzere su/çimento oranının yüksek olması çimentoda daha fazla kapiler boşluk oluşmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda oluşan bu kapiler boşlukların çoğu birbiriyle bağlantılı olup, betonun kılcal geçirimliliğini etkilemektedir. Boşluklar arasındaki bağlantı ancak zamanla hidratasyon daha çok miktarda yer aldıkça azalmaktadır. Suda kür edilen numunelerin kılcal geçirimliliğinin daha az olması bu nedenlere bağlanabilir.

Ayrıca 90.gün değerlerine bakıldığında da kılcallık katsayılarının azaldığı görülmektedir. Bunu hem yaş faktörüne hem de yukarıda açıklandığı gibi, çimentonun daha çok hidratasyon yapmasına bağlayabiliriz.

Uçucu kül içeren numunelere bakıldığında ise, 28.günde havada kür edilen numunelerde kılcallık katsayılarının oldukça yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Bunun sebebi, F tipi uçucu külün hidratasyonunu çok yavaş gerçekleştirmesi ve aynı zamanda uçucu külün nemli ortam ihtiyacından kaynaklanması olabilir. Suda kür edilen numunelerin 28. gün değerlerine bakıldığında ise, kılcallık katsayılarında çok ciddi azalmalar olduğu görülmektedir. Bu da uçucu külün nemli ortamda kür edildiğinde çok daha az geçirimli olduğunu göstermektedir.

90.gün değerlerine baktığımızda hem havada hem de suda kür edilen numunelerde geçirimliliğin azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak betonun yaşı gösterilebilir.

Tüm grafiklerde ise bütün beton numunelerinde genel olarak magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça geçirimlilik artmıştır.

Şekil 5.163'den Şekil 5.170'e toplu olarak bakıldığında kılcallık katsayısı değerlerinin günlere $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri görülmektedir.

Bu grafiklerden de görüldüğü üzere magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça betonun geçirimliliği de artmıştır. Aynı zamanda uçucu kül yüzdesi arttıkça geçirimliliğin çok fazla miktarda arttığı da daha net bir şekilde görülmektedir. Yukarıda da belirtildiği üzere uçucu kül içermeyen betonların geçirimliliği, su/çimento oranının yüksek olması ve bu nedenle kapiler boşlukların fazla olması olarak açıklanabilir. Suda kür edilen numunelerde de hidratasyonun daha çok miktarda yer alması nedeniyle geçirimlilik azalmış olabilir.

Uçucu kül içeren betonların da daha geçirimli olması, sürekli nemli ortama ihtiyaç duyması ve puzzolanik aktivitesine bağlanabilir.

5.3.6 Su emme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Su emme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde Tablo 4.12'de verilen ağırlıkça su emme yüzdeleriyle; bu değerlerden yararlanılarak çizilen Şekil 5.185'ten Şekil 5.198'e kadar olan şekillerden faydalanılmıştır.

Şekil 5.171'den Şekil 5.178'e toplu olarak bakıldığında S_a değerlerinin magnezyum sülfat yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri görülmektedir. Genel olarak

magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça su emme değerleri de artmıştır. Bunun nedeni, magnezyum sülfatın çimentonun C-S-H yapısını bozarak daha fazla alçıtaşı oluşturması ve böylece çimento hamurunda genleşmelere yol açmakta böylece betonun içine suyun nüfuzu kolaylaşabilmektedir. Aynı zamanda su/çimento oranının fazla olması da geçirimsilikte açıklandığı gibi betonda daha fazla kapiler boşluk olmasına da neden olmaktadır. Bu olay da betonun daha fazla su emmesine neden olabilir. Suda kür edilen numunelere bakıldığında S_a değerlerinin azaldığı görülmektedir. S_a değerlerinin azalması ise betonun suya daha doygun bir halde olması olabilir.

Uçucu küllü betonlara bakıldığında, havada kür edilen numunelerde S_a değerlerinin magnezyum sülfat yüzdesi ile arttığı ve uçucu kül yüzdesinin artmasıyla da aynı etkilerin olduğu görülmektedir. Magnezyum sülfat konsantrasyonuyla artmanın sebebi belirtilmişti. Uçucu kül yüzdesinin artması ile S_a değerlerinin artması ise, uçucu külün nemli ortamda kür edilmemesinden ve reaktivitesinin yavaş olmasından dolayı yeteri kadar hidratasyon yapmamış olmasından kaynaklanabilir.

Suda kür edilen numunelerde S_a değerleri havada kür edilen numunelere oranla biraz azalmıştır. Bunun sebebi uçucu külün zamanla ve nemli ortamda daha fazla hidratasyon yapabilmesi ve aynı zamanda betonun biraz daha suya doygun bir hale gelmesi olabilir.

Şekil 5.179'dan Şekil 5.186'ya kadar toplu olarak bakıldığında S_a değerlerinin günlere göre magnezyum sülfat yüzdelerindeki değişimleri görülmektedir.

Bu şekillerde de genel olarak en zararlı etkinin %8 magnezyum sülfat konsantrasyonunda gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle uçucu kül içermeyen numuneler de her iki kür koşulunda da S_a değerleri artmıştır. Bunun nedeni de magnezyum çimento hamurunda genleşmelere yol açması ve aynı zamanda yüksek su/çimento oranı olabilir.

Uçucu küllü betonlara bakıldığında ise, özellikle magnezyum s-sülfat çözeltisi içermeyen betonların S_a değerlerinin daha az olduğu görülmektedir. Her iki kür koşulunda da su emme miktarlarının çok fazla değişmemesi, uçucu yeterli hidratasyonu yapabilmesi için nemli ortamlara daha fazla ihtiyaç duyması ve aynı zamanda da magnezyumun zararlı etkileri olabilir. uçucu külün bu etkisinin çok fazla görülmemesinin nedeni hidratasyonunun çok yavaş gerçekleşmesi olabilir.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

6.1 Sonuçlar

- 1) Magnezyum sülfatın priz başlama ve priz bitiş sürelerini geciktirdiği; uçucu külün de aynı etkiyi gösterdiği ve uçucu kül yüzdesi arttıkça bu etkinin arttığı belirlenmiştir.
- 2) Magnezyum sülfat ve uçucu külün taze birim ağırlık değerlerinde çok fazla değişime sebep olmadığı görülmüştür. Bu değişim en fazla %2-3 civarlarında olmuştur.
- 3) Magnezyum sülfat çözeltili betonlarda tüm konsantrasyonlarda yayılma değerlerinin azaldığı görülmüştür.Uçucu küllü betonlarda ise yayılma değerlerinde, uçucu kül yüzdesi arttıkça bir miktar artma; ancak magnezyum sülfat yüzdesi arttıkça azalmalar olduğu görülmüştür.
- 4) $MgSO_4$ yüzdesi arttıkça mukavemet değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.
- 5) Ancak $MgSO_4$ 'ın zararlı etkisi uçucu kül yüzdesi arttıkça azalmıştır. Diğer bir deyişle $MgSO_4$ 'ın zararlı etkisi uçucu kül kullanımı ile birlikte azaltılmaktadır.
- 6) Suda kür edilen numunelerin eğilme ve basınç mukavemetlerindeki azalmaların, havada kür edilen numunelere göre daha az olduğu da görülmüştür. Uçucu küllü ve suda kür edilen numunelerde hem eğilme hem de basınç mukavemeti değerlerinde, 90. günde artış olduğu görülmüştür.
- 7) Magnezyum sülfatın rötreyi arttırdığı ve uçucu külün rötreyi azalttığı görülmüştür. Şişmede de rötreye benzer sonuçlar elde edilmiştir.
- 8) Magnezyum sülfatın kılcal geçirimliliği arttırdığı; ancak uçucu külün etkisinin çok daha fazla olduğu gözlenmiştir.Özellikle havada kür edilen numunelerde kılcal geçirimliliğin uçucu kül miktarı arttıkça, çok ciddi

miktarlarda arttığı görülmüştür. Suda kür edilen numunelerde ise uçucu kül yüzdesiyle beraber çok fazla, yaklaşık olarak %70-80 civarlarında azalmalar olduğu belirlenmiştir.

- 9) Magnezyum sülfatın su emme miktarını arttırdığı belirlenmiştir. Uçucu külün de su emme miktarını arttırdığı; ancak suda kür edilen numunelerde bu değerin bir miktar azaldığı görülmüştür.
- 10) Indian Concrete Journal’da magnezyum sülfat için verilen %4 değerinden daha az yüzdelerde zararlı etkileri olduğu görülmüştür. Bu yüzden magnezyum sülfat tuzunun karışım suyunda belirtilen sınır değerlerinden daha az miktarlarda bulunması gerekir. TS EN 1008’de verilen %0.25 değerin ise, yapılan deneyler sonucunda oldukça emniyetli olduğu görülmüştür.
- 11) Uçucu külün betonun mukavemet gelişimine etkisi olduğu; ancak bu etkinin uzun vadede ortaya çıktığı ve kür ortamının külün etkisinde çok büyük rolü olduğu görülmüştür. Aynı zamanda sülfata karşı direncini arttırdığı da belirlenmiştir. Bu yüzden betonun dayanımı ve durabilitesini arttırmak amacıyla uçucu kül kullanmak yararlı olacaktır.

Özetle;

- TS EN 1008 standardının verdiği sınırın çok küçük olduğu ve emniyetli bölgede kaldığı görülmüştür.
- Standartlarda verilen değer (SO_4) ise (Ca^+) katyonu ile birlikte verilmelidir.
- MgSO_4 oranı arttıkça olumsuz etkinin arttığı görülmüştür.
- Uçucu kül oranı arttıkça MgSO_4 ’ın olumsuz etkisinin özellikle suda kür edilmiş numunelerde azaldığı görülmüştür.
- %10 uçucu kül ve %2 MgSO_4 (TS EN 1008’e göre oldukça yüksek bir değer) değerlerinde en olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

6.2 İleriki Çalışmalar İçin Öneriler

- 1) Bu çalışmada çimento tipi sabit seçilmiş ve normal Portland çimentosu (PÇ 42.5) kullanılmıştır. Uçucu kül ve magnezyum sülfatın farklı çimento tipleri üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- 2) Kullanılan uçucu kül F sınıfıdır. C sınıfı uçucu külün magnezyum sülfat çözeltili betonlardaki etkisi incelenebilir. Böylece uçucu kül tipinin, sülfata karşı davranışı daha iyi anlaşılmış olacaktır
- 3) Farklı tuzların uçucu küllü betondaki etkileri araştırılabilir.
- 4) Standartlarda (SO_4) için verilen değerlerden (MgSO_4) yüzdeleri hesaplanmalı ve kullanılacak oran bu şekilde belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

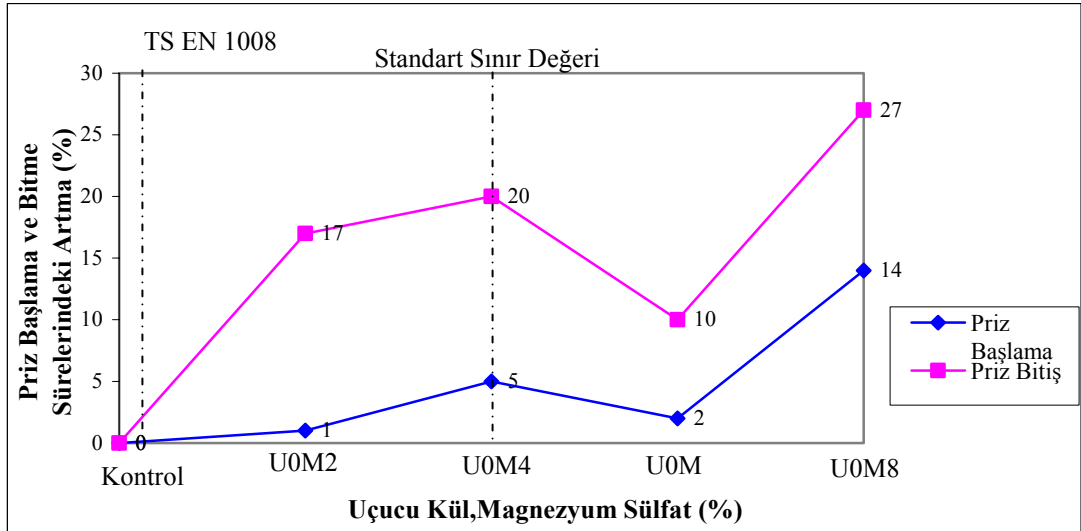
- [1] **Popovics, S.**, 1979. Concrete-Making Materials, s.214-217, McGraw-Hill Book Company, New York
- [2] **Erdoğan, Turhan**, 2003. Beton, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Ankara
- [3] **Neville, A.M.**, 1981. Properties of Concrete, 3rd Edition, s.347-350, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London
- [4] **Orchard, D. F.**,1962. Concrete Technology, s. 139-141, John Wiley & Sons Inc., New York
- [5] **Waddell**, 1962. Practical Quality Control for Concrete, s.137, McGraw-Hill Company, New York
- [6] **Beton Laboratuvar Deneyleri**, 1985, s. 97-100, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
- [7] **Bayazıt, Ömer Lütfi**, 1988. Beton ve Deneyleri, s.46, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- [8] **Akman, M. Süheyl**, 1987. Yapı Malzemeleri, Birinci Baskı, s.20-21, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [9] **Eglinton, M.S.**, 1987. Concrete and Its Chemical Behaviour, s.45-47, T. Telford, London
- [10] **Erdoğan, Turhan**, 1995. Karışım ve Bakım Suları, Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara
- [11] **BS 3148**, 1980. Water for Making Concrete (Including Notes on The Suitability of The Water), *British Standards* (İngiliz Standartları)
- [12] **Kılınç, K.**, 2003. “ Beton Karışım Suyundaki Magnezyum Sülfat, Sodyum Sülfat ve Sodyum Sülfür Tuzlarının Taze ve Sertleşmiş Çimento Harcı Özelliklerine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [13] **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, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

- [14] **TS 11222**, 2001. Beton-Hazır Beton-Sınıflandırma, Özellikler, Performans Üretim ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [15] **TS 500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [16] **Manu Santhanam, Menashi D. Cohen, Jan Olek**, 2003. “Mechanism of sulfate attack: a fresh look Part 2. Proposed mechanism”, *Cement and Concrete Research*, **33**, 341-346
- [17] **Akman, M. Süheyl**, 1992. Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, s.137-141, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [18] **Uyan, M., Kılınç, K.**, 2003. “ Beton Karışım Suyundaki Sülfat Tuzlarının Çimento Harcı Özelliklerine Etkisi “, *5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul*
- [19] **Omar S. Baghabra Al-Amoudi**, “ Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments”, *Cement and Concrete Composites*, **24**, 305-316
- [20] **Sunil Kumar, C.V.S. Kameswara Rao**, “ Effect of Sulfates on the Setting Time of Cement and Strength of Concrete”, *Cement and Concrete Research*, **24**, 1237-1244
- [21] **Hekal, E.E., Kishar, E., Mostafa H.**, “Magnesium sulfate attack on hardened blended cement pastes under different circumstances”, *Cement and Concrete Research*, **32**, 1421-1427
- [22] **Erdoğan, Ş., Karataş, E.**, 2002. “Silis Dumanı İkamesinin Sülfatlı Ortamlara Maruz Betonun Durabilitesi Açısından Değerlendirilmesi”, K.T.Ü, Trabzon
- [23] **Santhanam, M., Cohen, M.D., Olek, J.**, 2001 “Sulfate attack research – whither now?”, *Cement and Concrete Research*, **31**, 845-851
- [24] **Collepardi, M.**, 2003 “A state-of-the-art review on delayed ettringite attack on concrete”, *Cement and concrete Composites*, **25**, 401-407
- [25] **Özturan, T.**, 1991 “Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddelerinin Etkinliği”, *2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul*
- [26] **Postacıoğlu, Bekir**, 1986, Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 1, Bağlayıcı Maddeler, s. 149-151, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [27] **Baykal, G., Özturan, T., Savaş, M., Ramadan K.**, 1993 “ Uçucu Külün İnşaat Mühendisliğinde Bazı Kullanım Olanakları”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara*

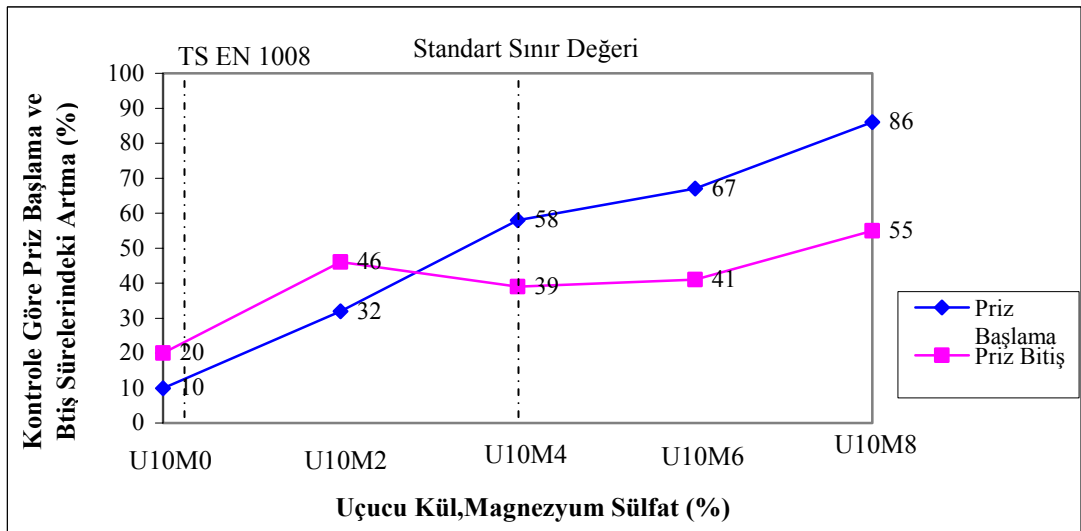
- [28] **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği**, Ar-Ge Enstitüsü, 2004. Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Ankara
- [29] **TS EN 450**, 1998. Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [30] **Erdoğan, T.**, 1993. “Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı – Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara
- [31] **Dodson, V.H.**, 1990. Concrete Admixtures, Structural Engineering Series, Van Nostrand Reinhold, New York
- [32] **Al-Dulaijan, S.U., Maslehuddin, M., Al-Zahrani, M.M., Sharif, A.M., Shameem, M., Ibrahim, M.**, “Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to varying concentrations of sodium sulfate”, *Cement and Concrete Composites*, **25**, 429-437
- [33] **Freeman, R.B., Carrasquillo, R.L.**, 1992. “Effects of Intergrinding Fly Ash on the Sulfate Resistance of Fly Ash Concrete”, *Supplementary Papers of Fourth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, İstanbul, Turkey, 281-297
- [34] **Atış, C.D., Kılıç, A., Sevim, U.K.**, 2002. “Strength and shrinkage properties of mortar containing a nonstandard high-calcium fly ash”, *Cement and Concrete Research*, **34**, 99-102
- [35] **Vandewalle, L., Mortelmans, F.**, “The Effect of Curing on the Strength Development of Mortar Containing High Volumes of Fly Ash”, *Supplementary Papers of Fourth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, İstanbul, Turkey, 53-63
- [36] **TS 2717**, 1977. Harç Kumları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [37] **TS 3529**, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [38] **TS 3526**, 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [39] **TS 24**, 1985. Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deneyleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [40] **TS 19**, 1988. Portland Çimentoları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

- [41] **Weiping, Ma, Brown, Paul W.**, 1997. “Hydrothermal Reactions of Fly Ash with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ”, *Cement and Concrete Research*, **27**, 1237-1248

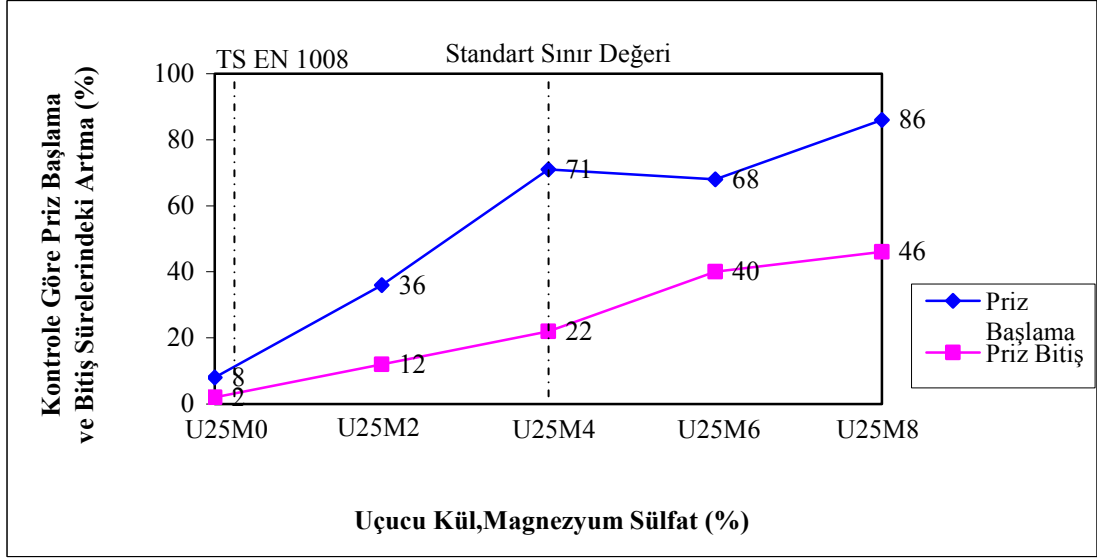
EKLER



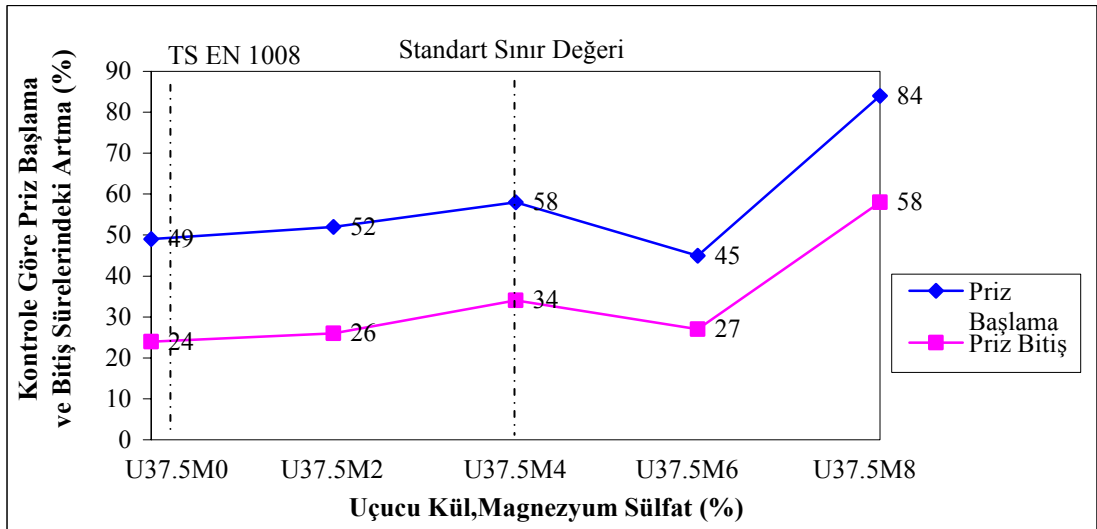
Şekil 5.1: Kontrol çimento hamuru ve $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş sürelerindeki artma değerleri (%)



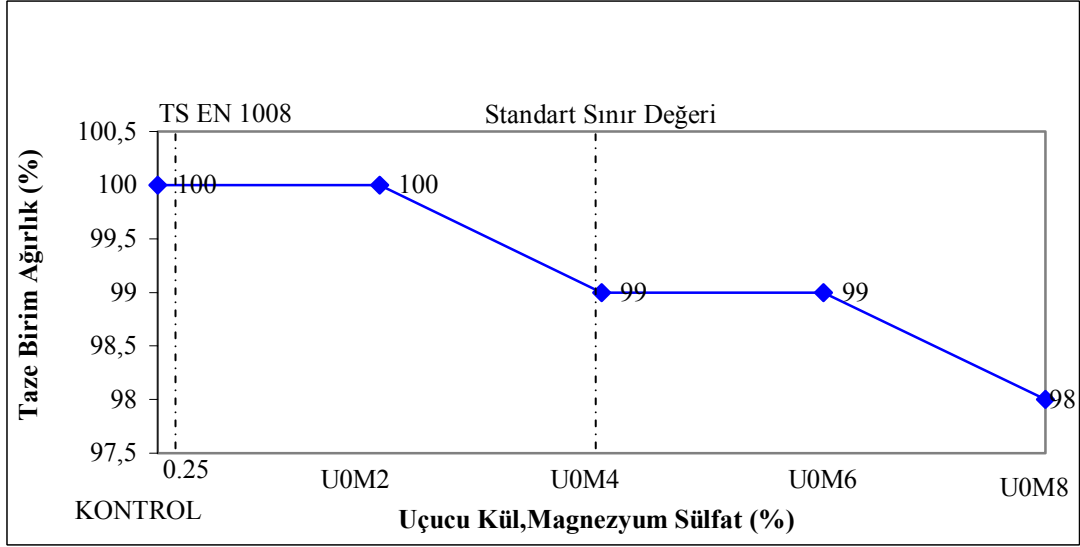
Şekil 5.2: %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş sürelerindeki artma değerleri (%)



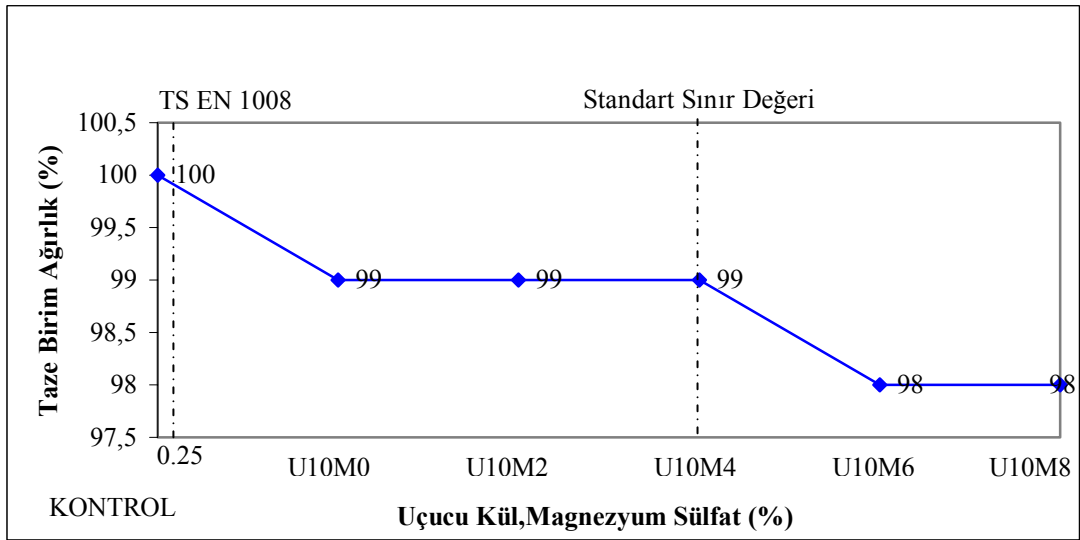
Şekil 5.3: %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş sürelerindeki artma değerleri (%)



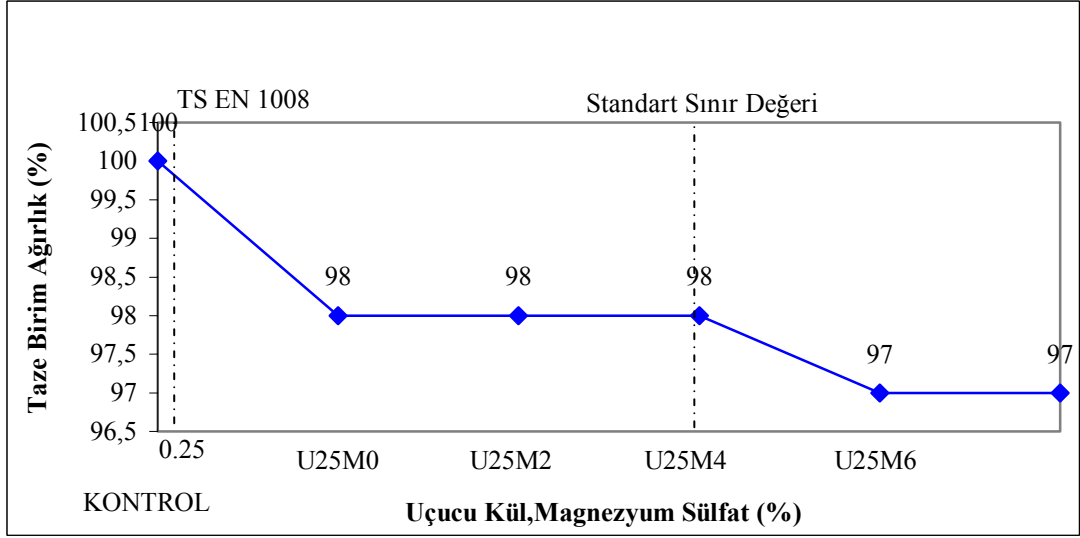
Şekil 5.4: %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili çimento hamurlarının priz başlama ve bitiş sürelerindeki artma değerleri (%)



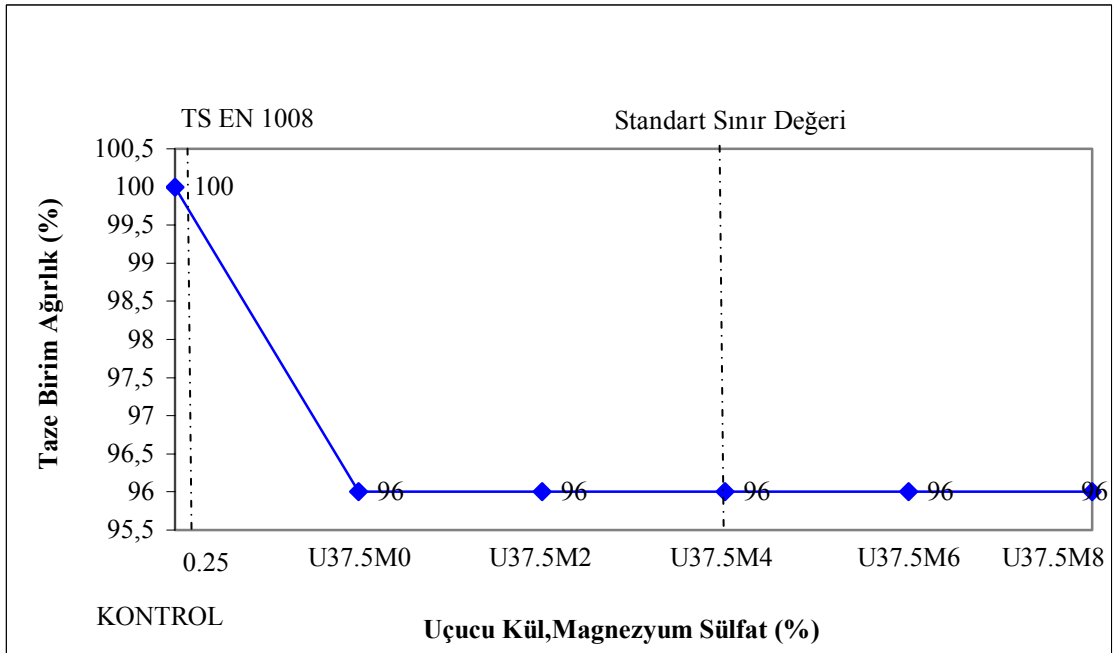
Şekil 5.5: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların taze birim ağırlık değerleri (oranlanmış)



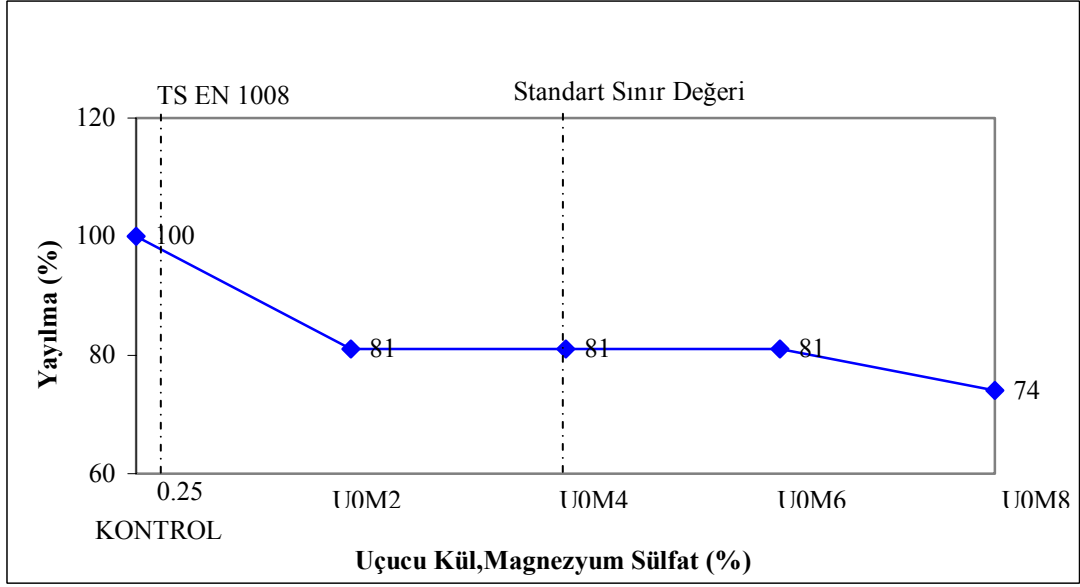
Şekil 5.6: Kontrol betonu ve %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların taze birim ağırlık değerleri (oranlanmış)



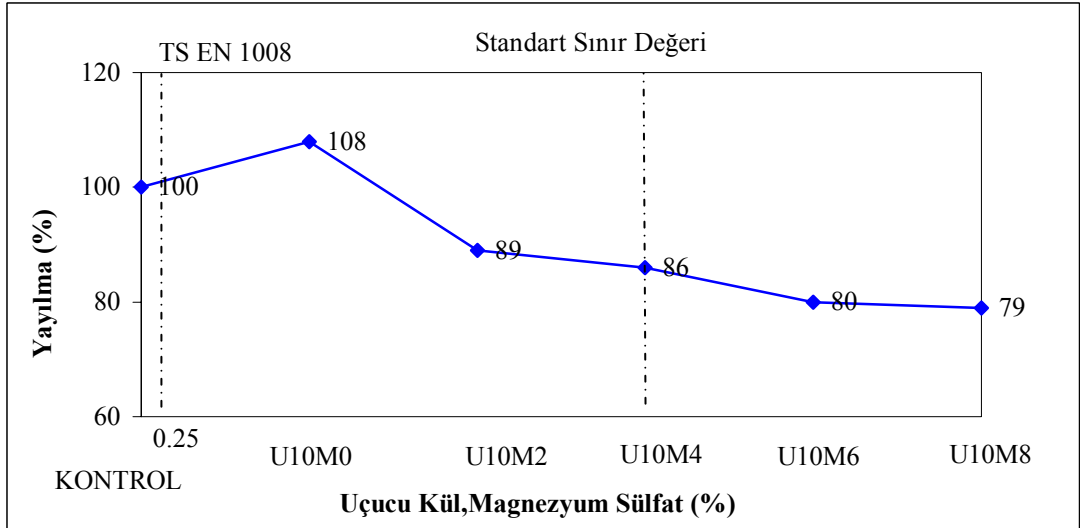
Şekil 5.7: Kontrol betonu ve %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların taze birim ağırlık değerleri (oranlanmış)



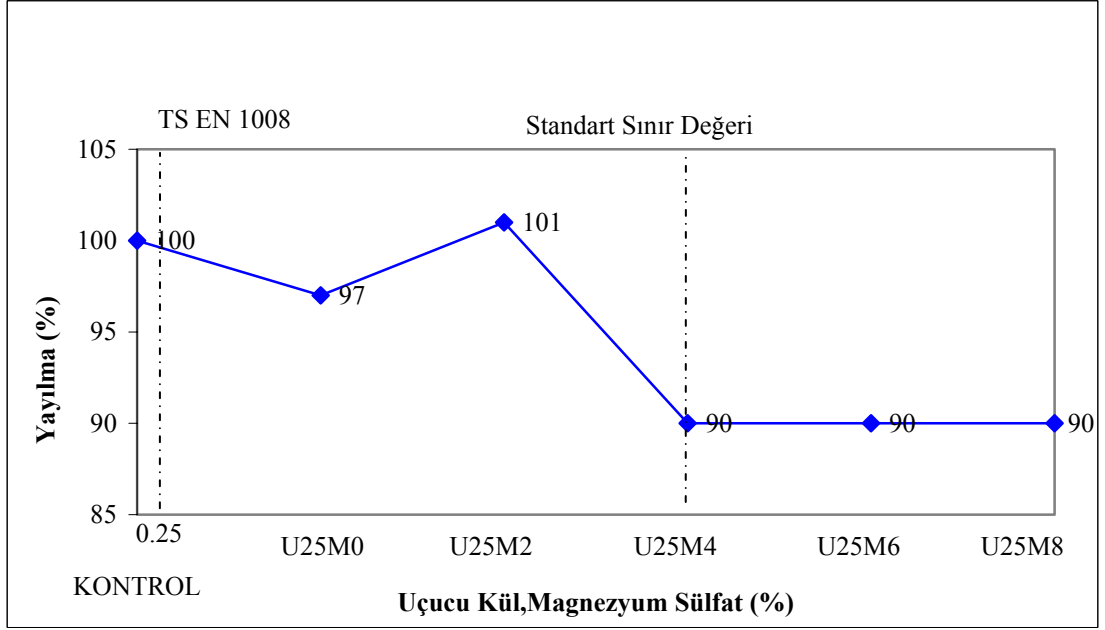
Şekil 5.8: Kontrol betonu ve %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların taze birim ağırlık değerleri (oranlanmış)



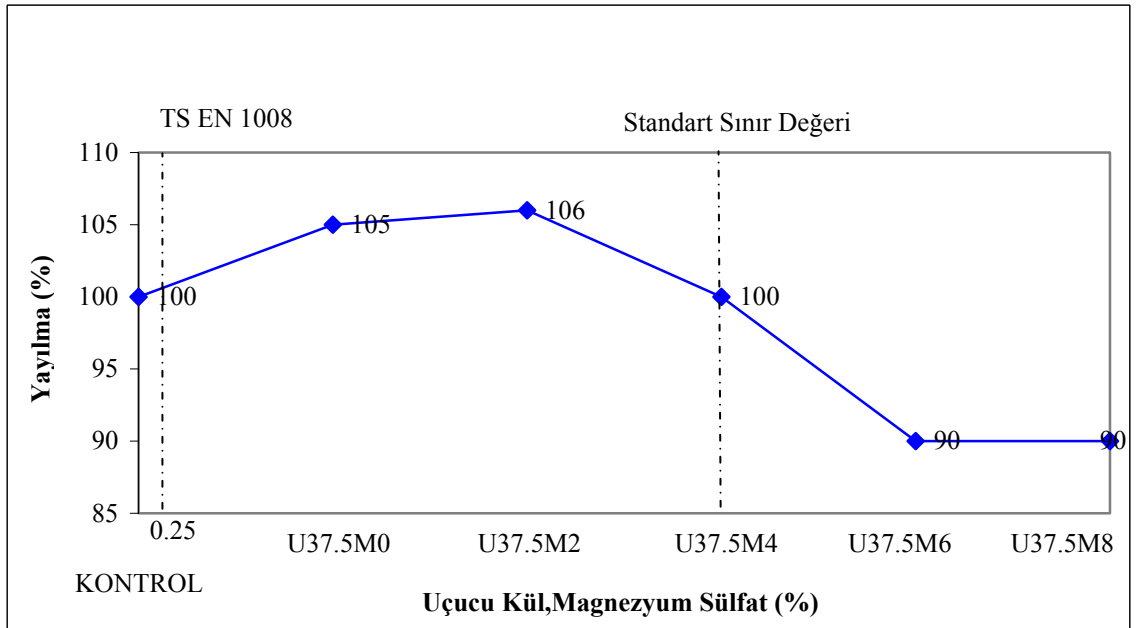
Şekil 5.9: Kontrol betonu ve %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların yayılma değerleri (oranlanmış)



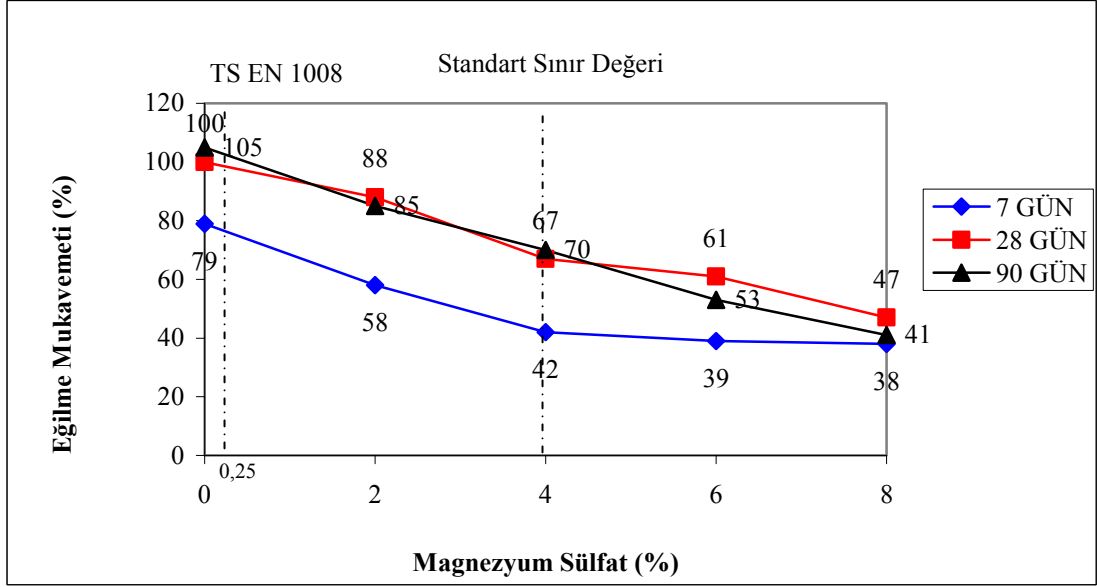
Şekil 5.10: Kontrol betonu ve %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların yayılma değerleri (oranlanmış)



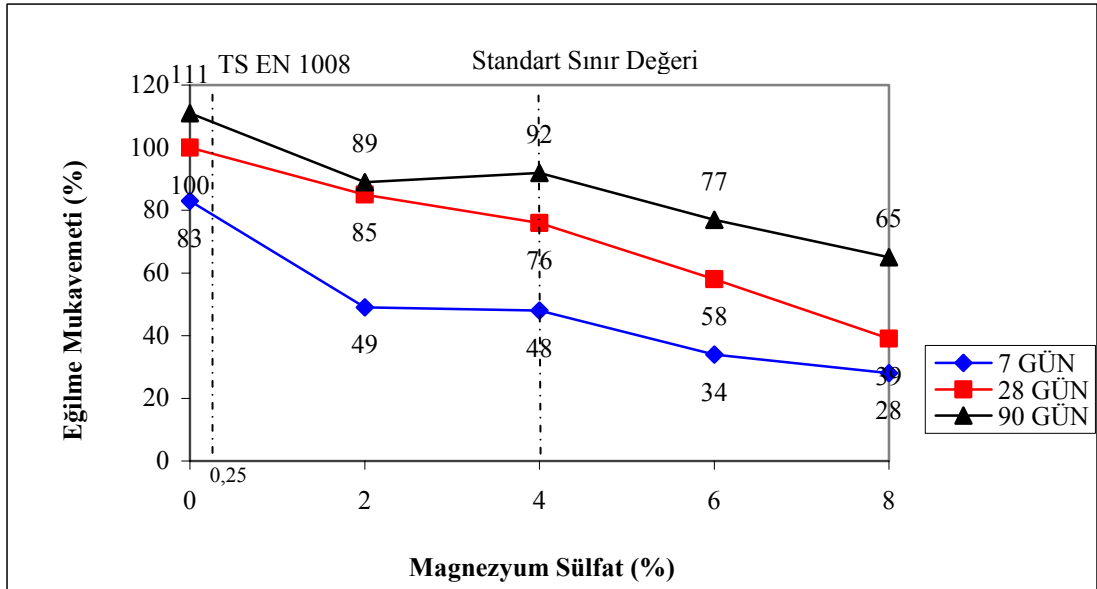
Şekil 5.11: Kontrol betonu ve %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların yayılma değerleri (oranlanmış)



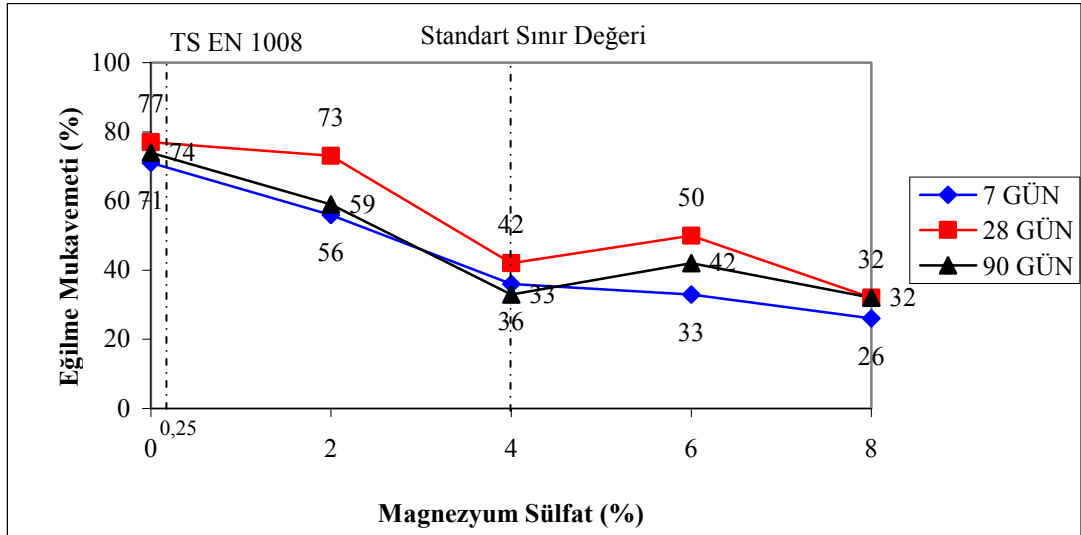
Şekil 5.12: Kontrol betonu ve %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların yayılma değerleri (oranlanmış)



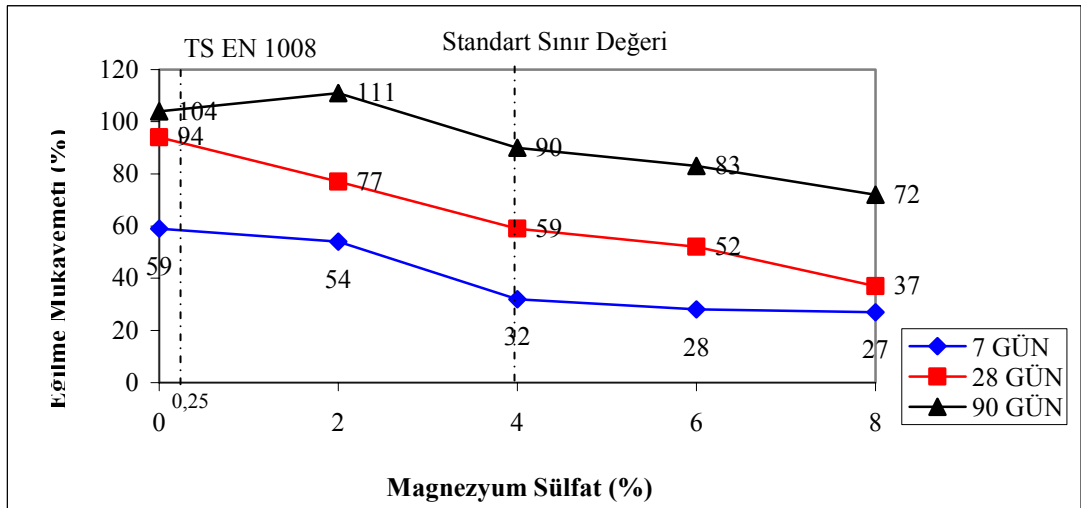
Şekil 5.13: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



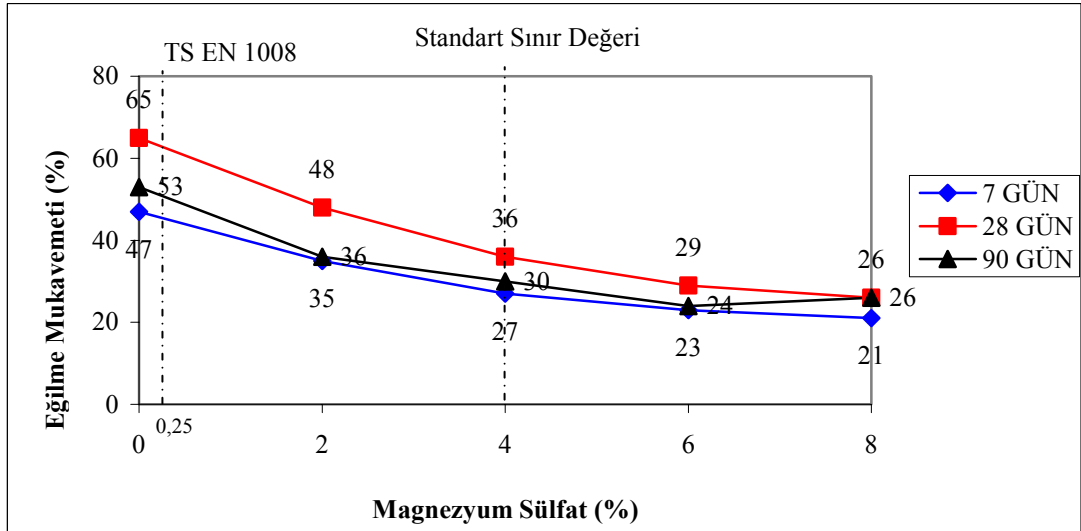
Şekil 5.14: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



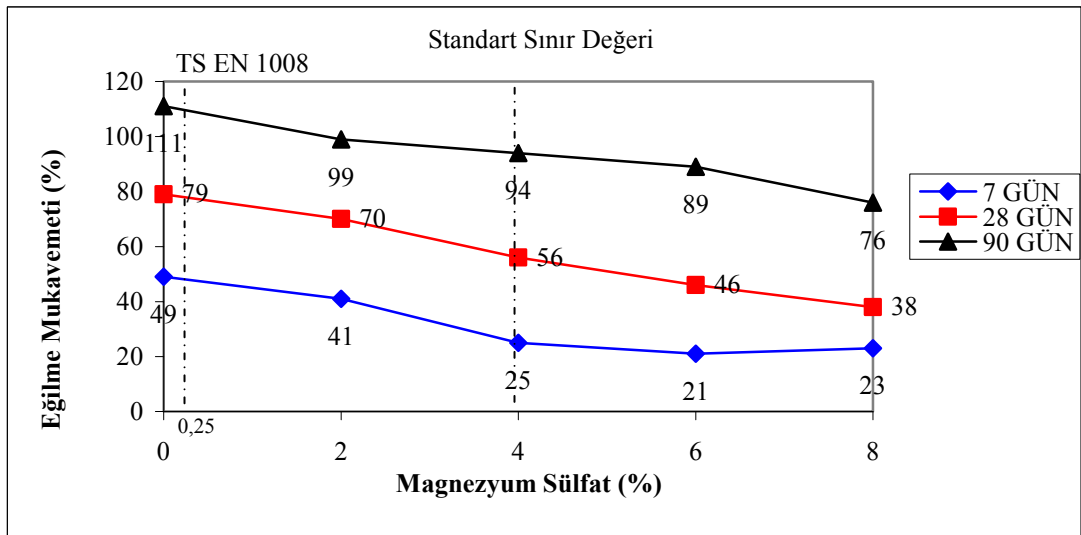
Şekil 5.15: %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri havada kür edilmiş)



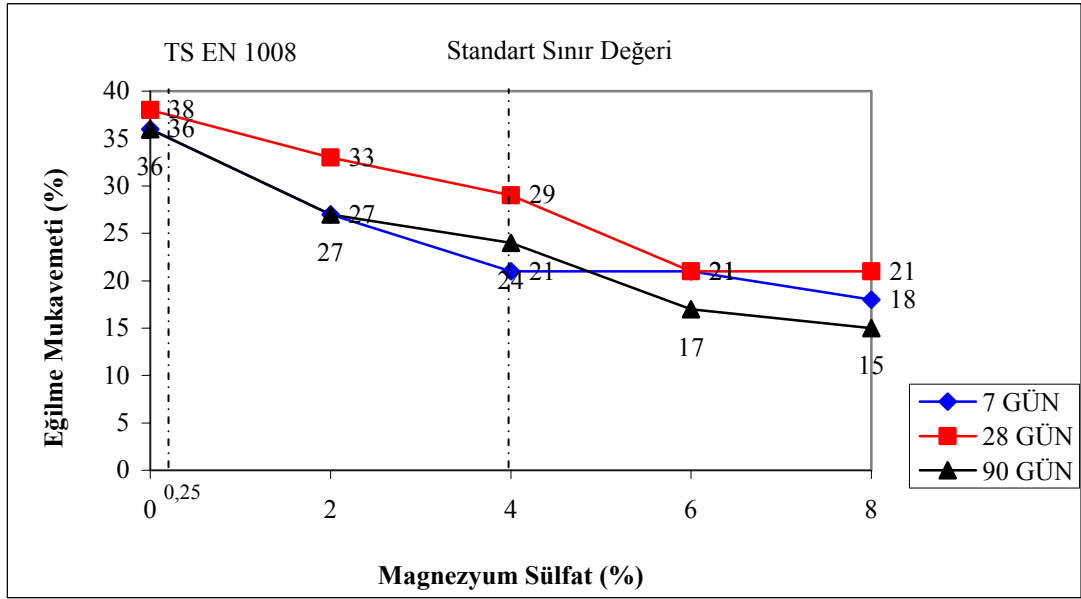
Şekil 5.16: %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



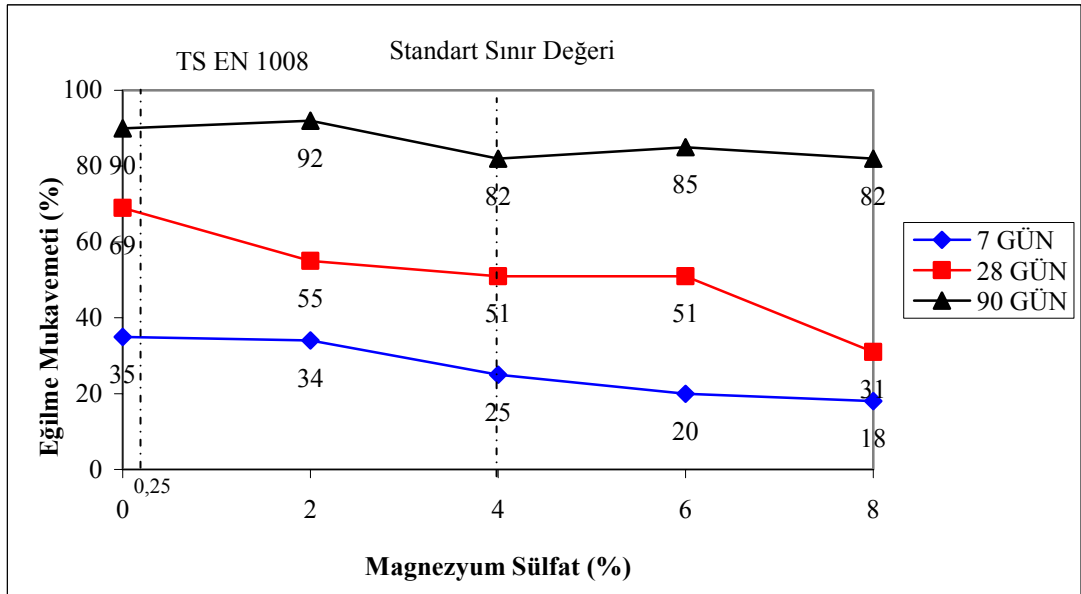
Şekil 5.17: %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



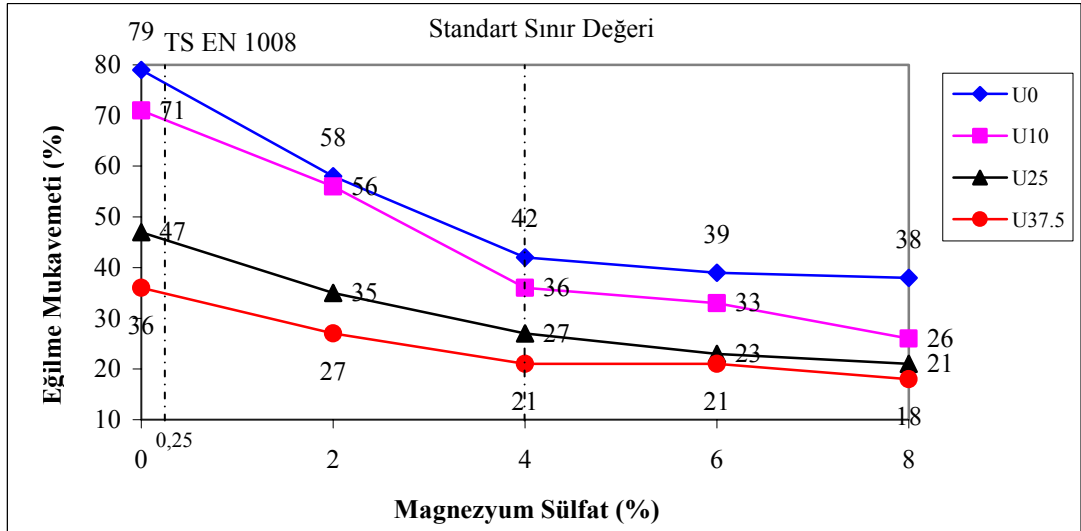
Şekil 5.18: %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



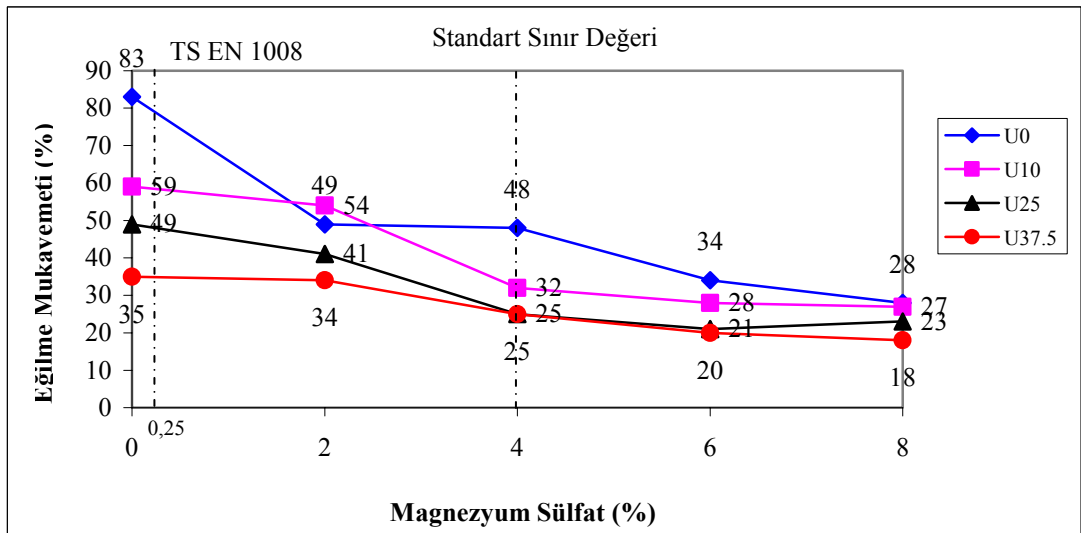
Şekil 5.19: %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri(havada kür edilmiş)



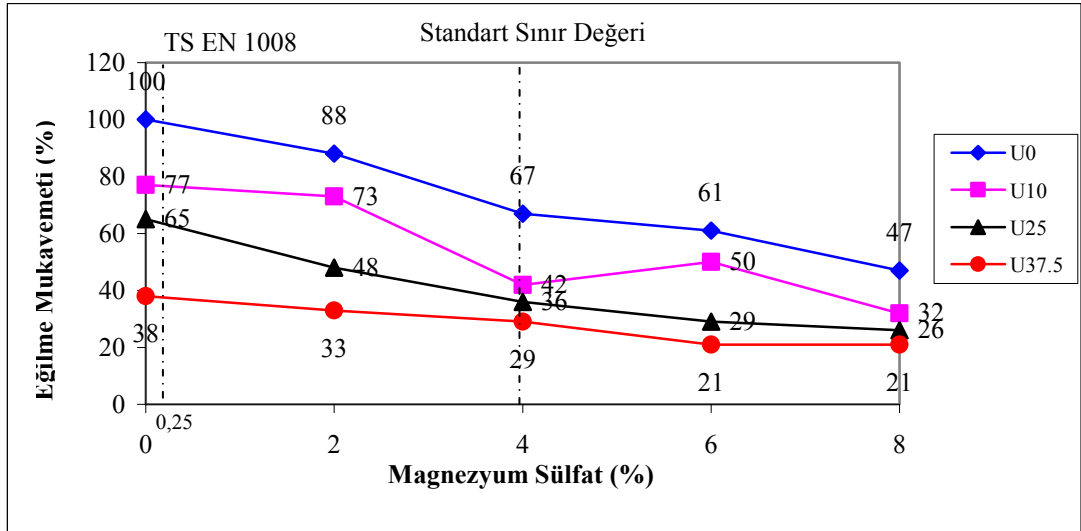
Şekil 5.20: %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



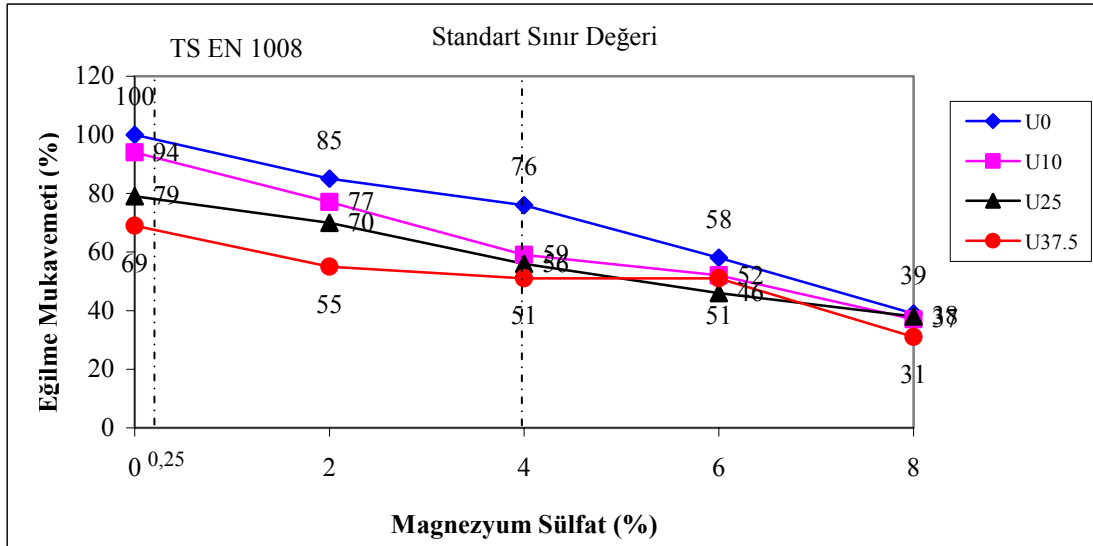
Şekil 5.21: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



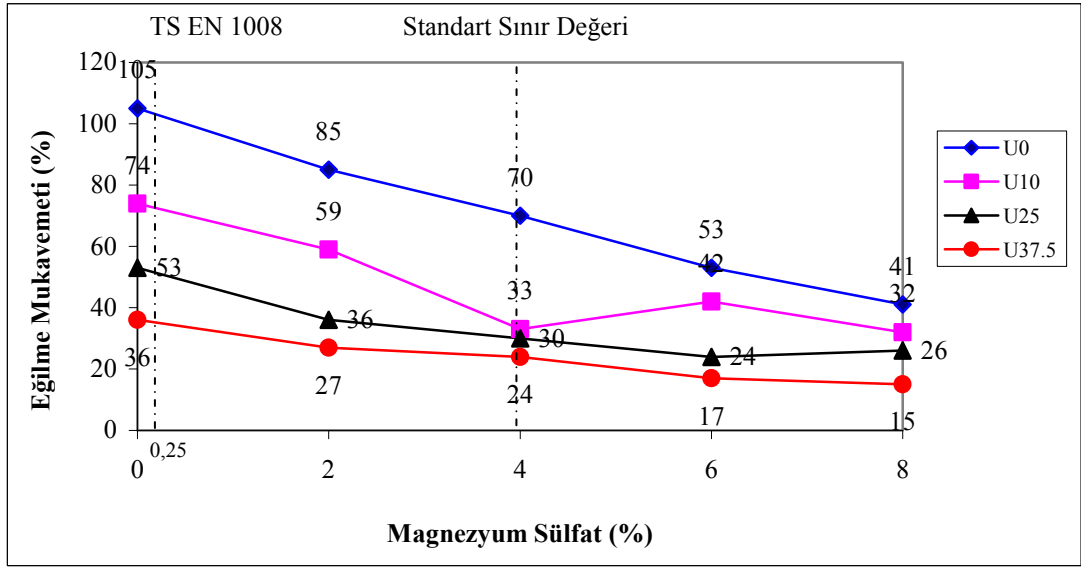
Şekil 5.22: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



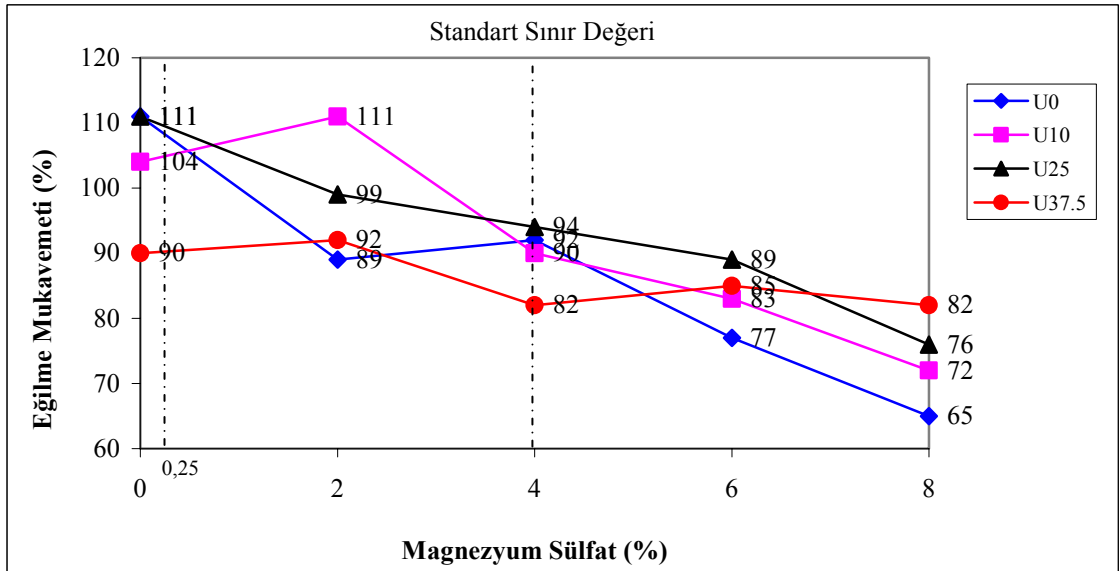
Şekil 5.23: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



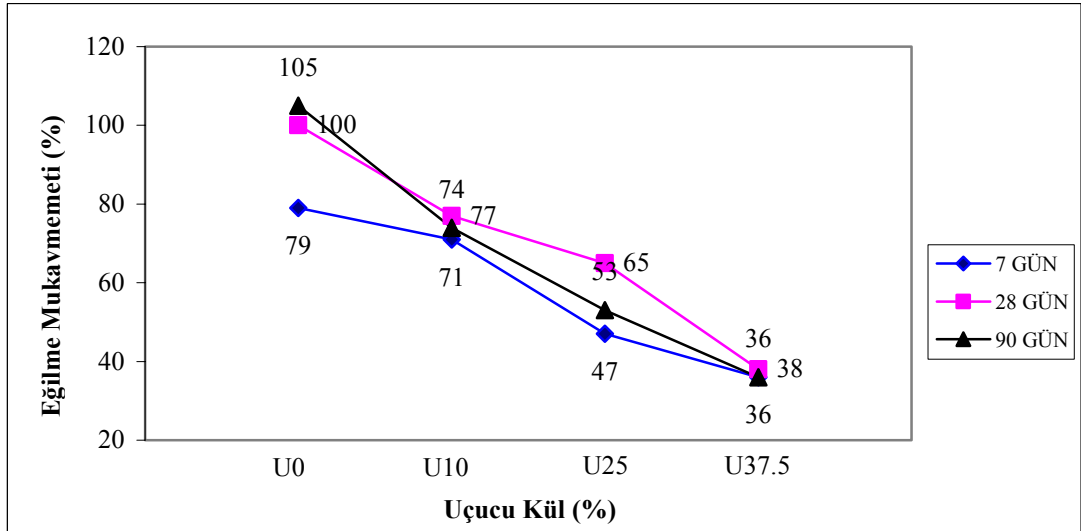
Şekil 5.24: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



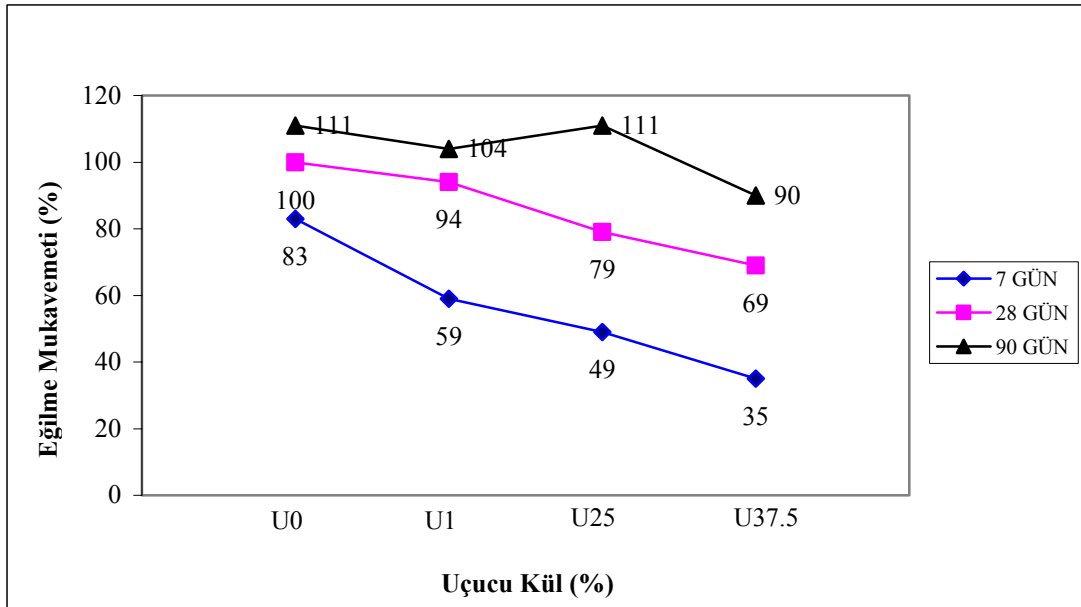
Şekil 5.25: Kontrol betonu ve MgSO_4 çözeltili betonların 90.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



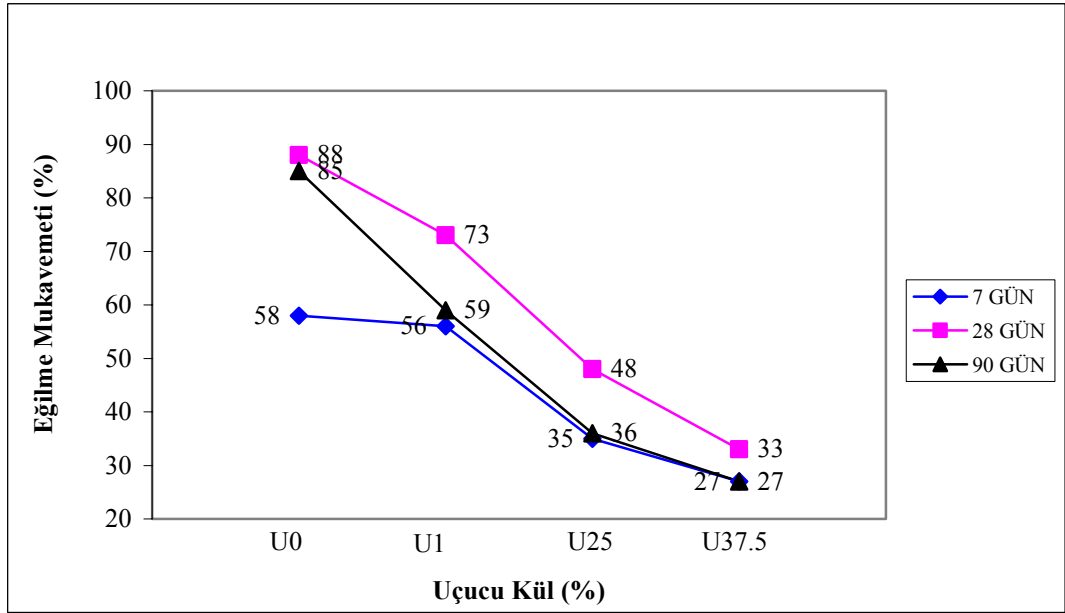
Şekil 5.26: Kontrol betonu ve MgSO_4 çözeltili betonların 90.gün eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



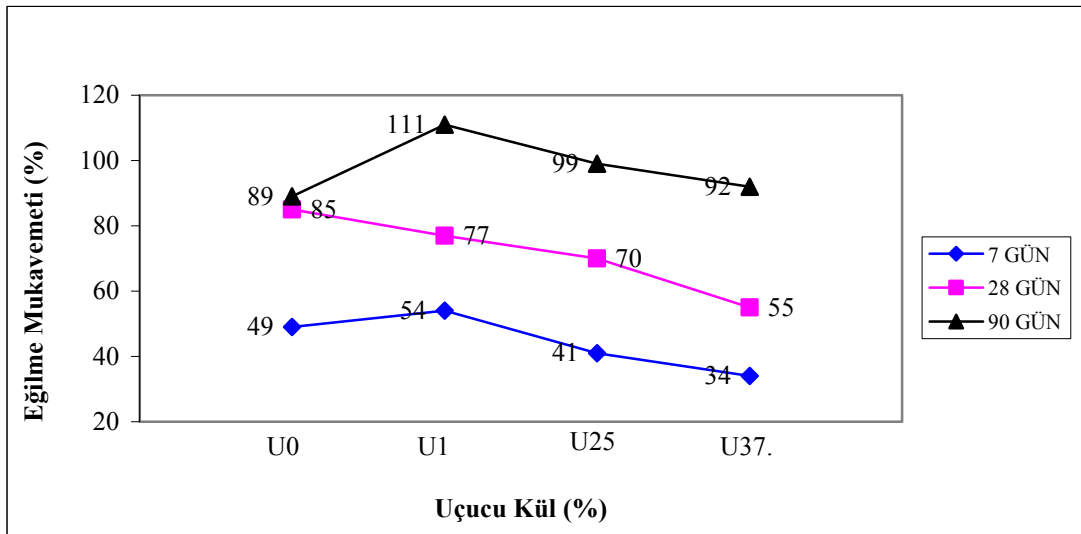
Şekil 5.27: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



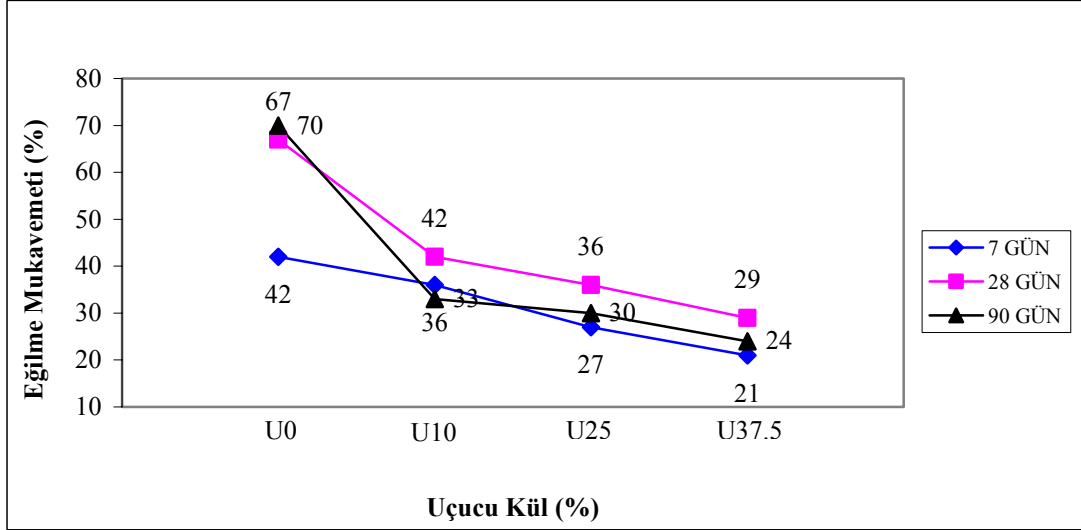
Şekil 5.28: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



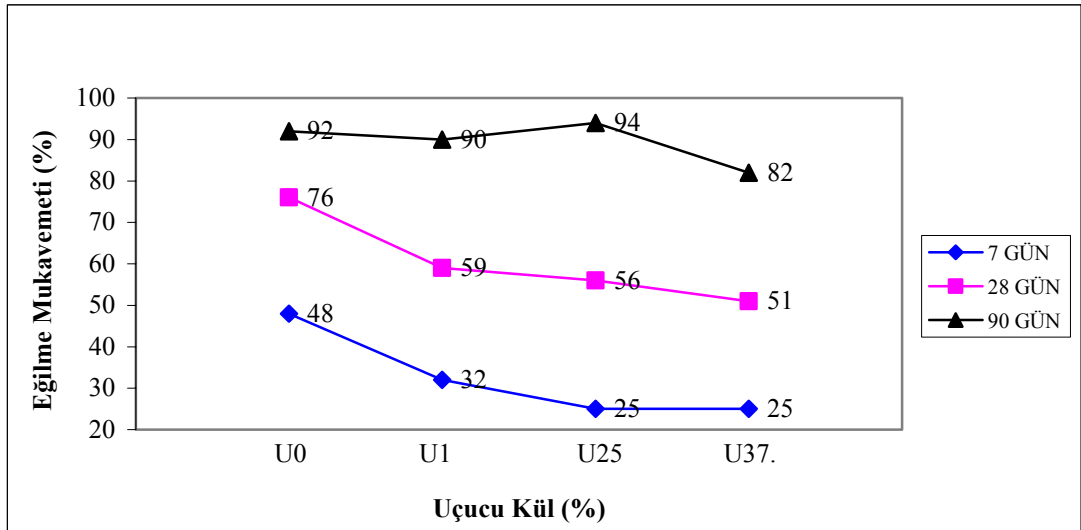
Şekil 5.29: %2 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



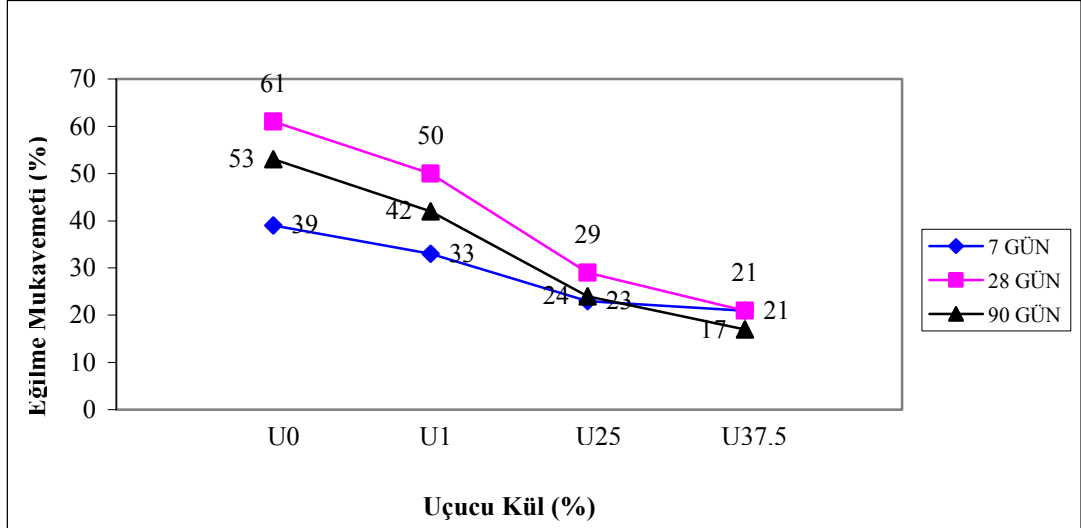
Şekil 5.30: %2 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



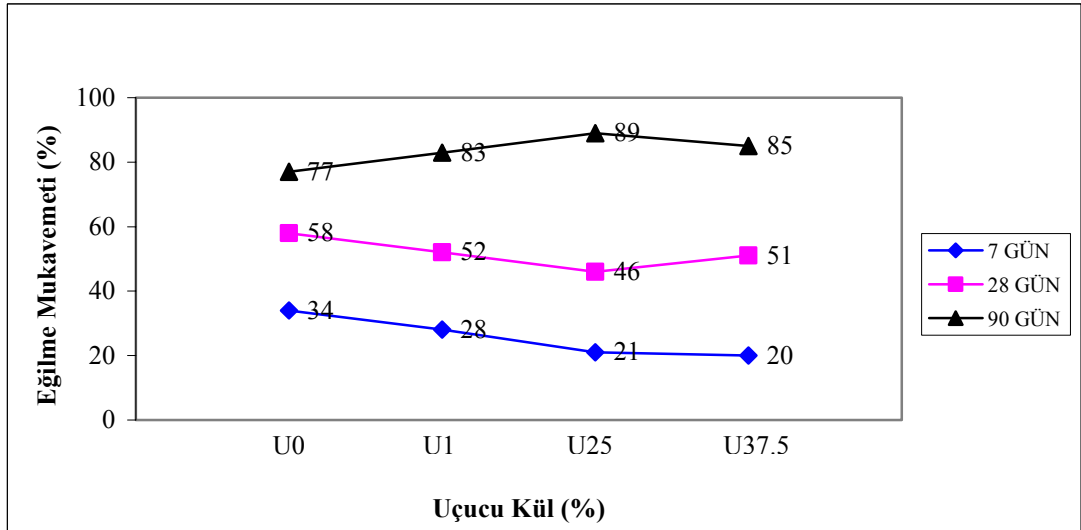
Şekil 5.31: %4 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



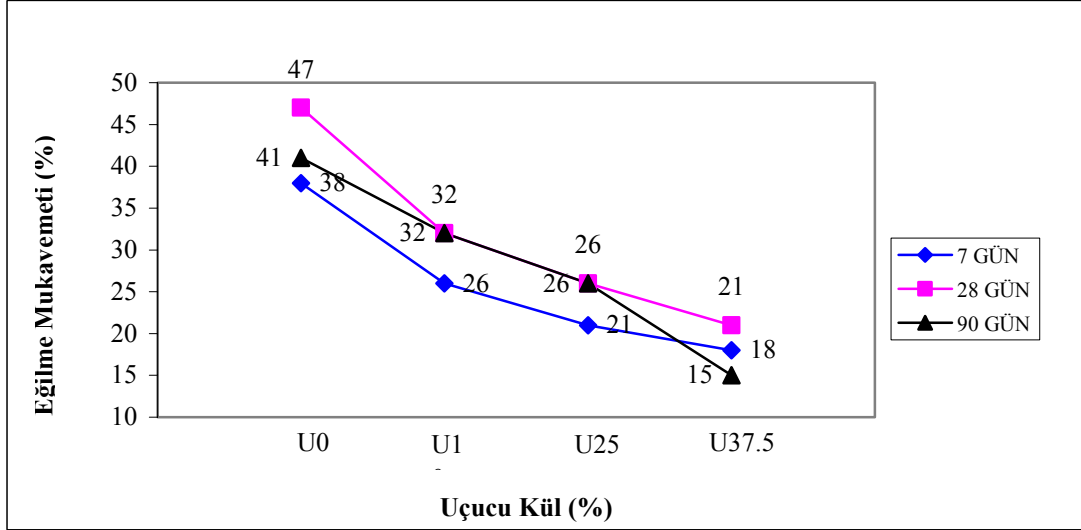
Şekil 5.32: %4 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



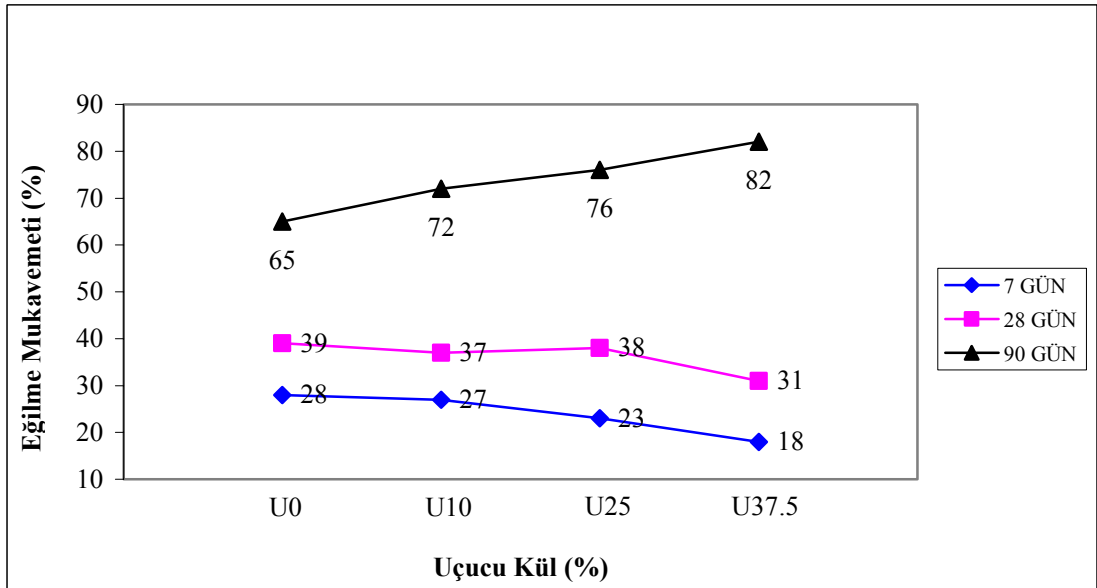
Şekil 5.33: %6 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



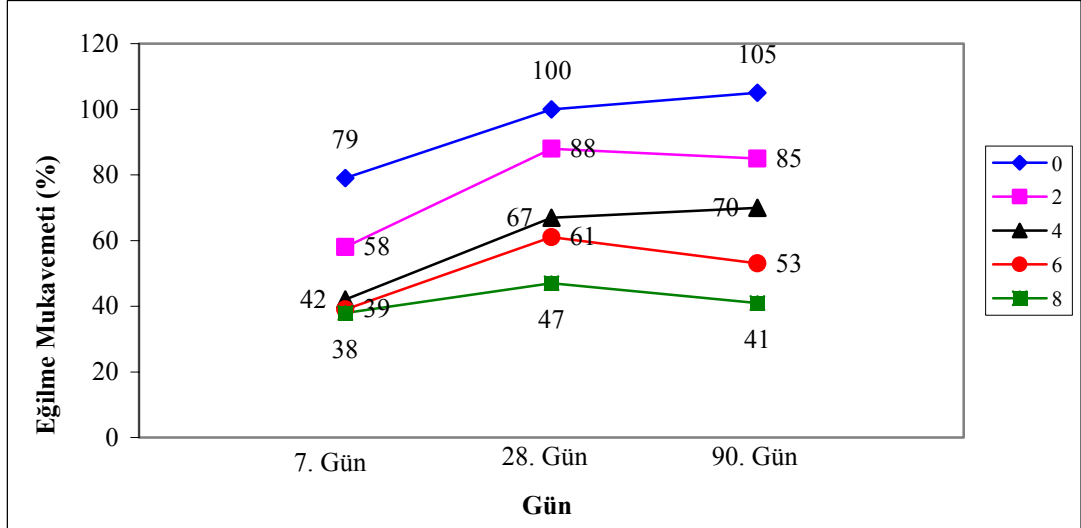
Şekil 5.34: %6 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



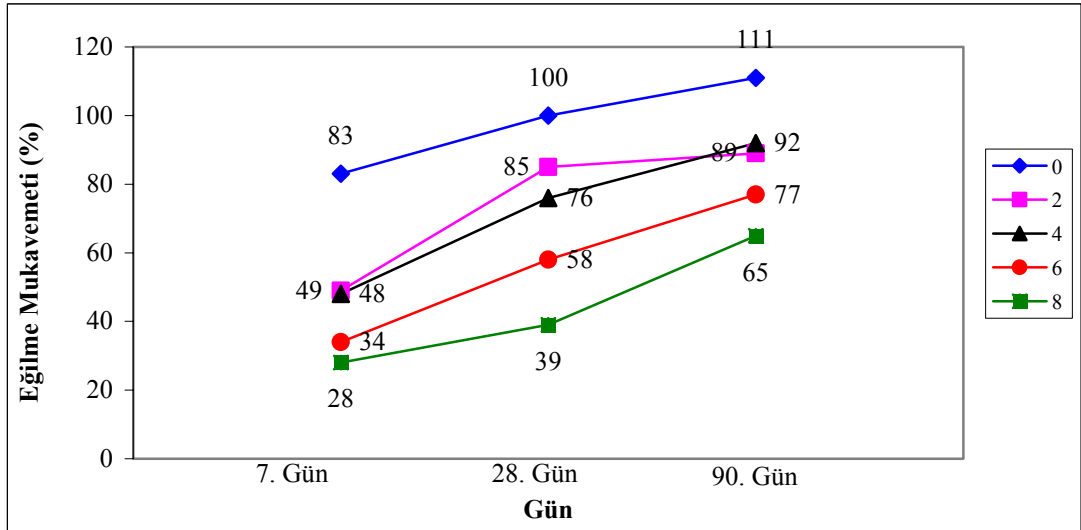
Şekil 5.35: %8 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



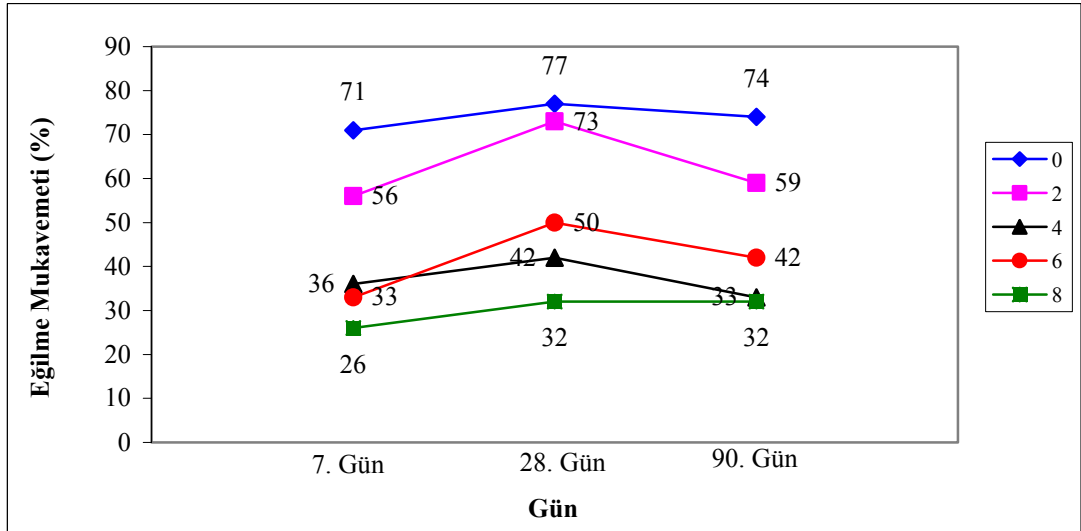
Şekil 5.36: %8 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



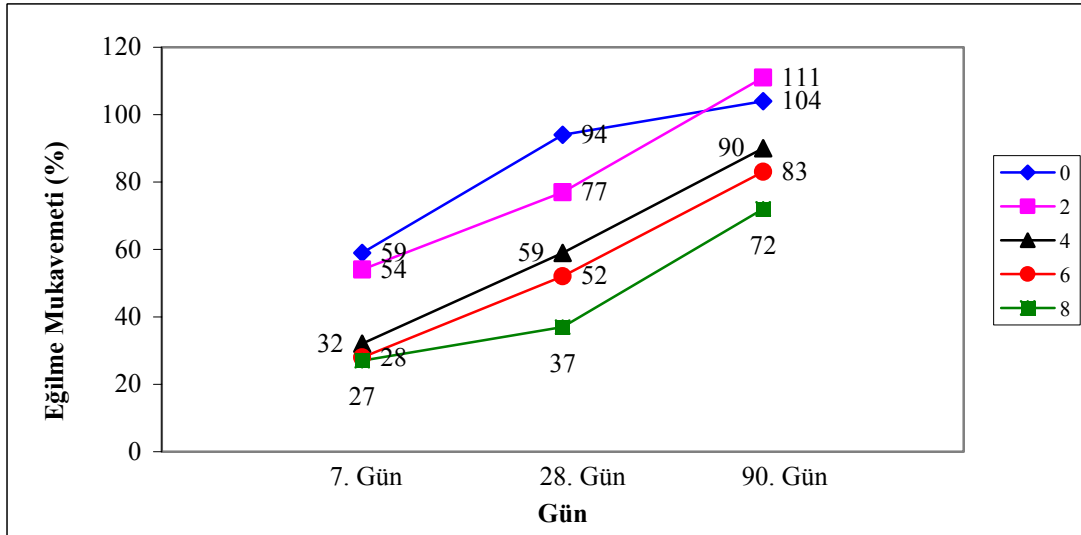
Şekil 5.37: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



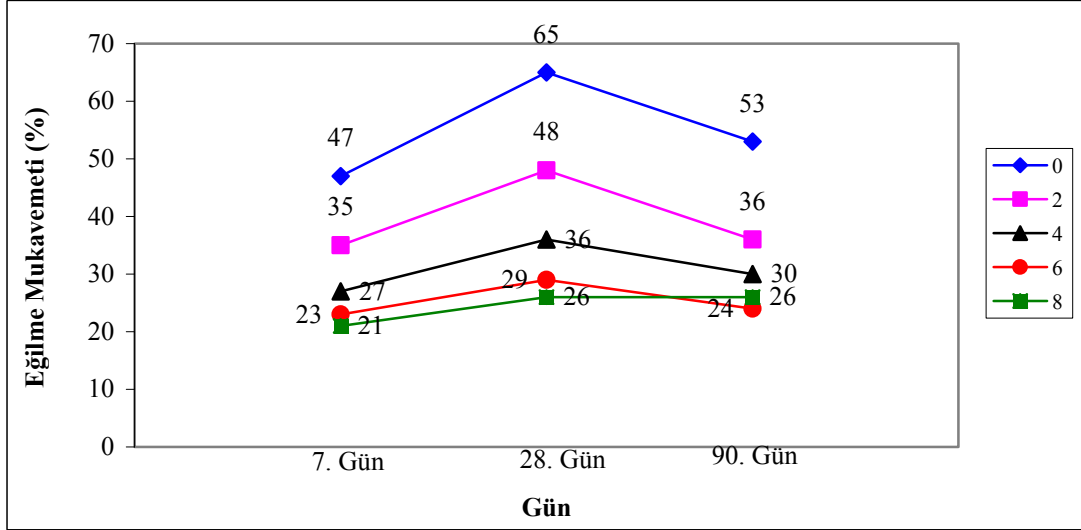
Şekil 5.38: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



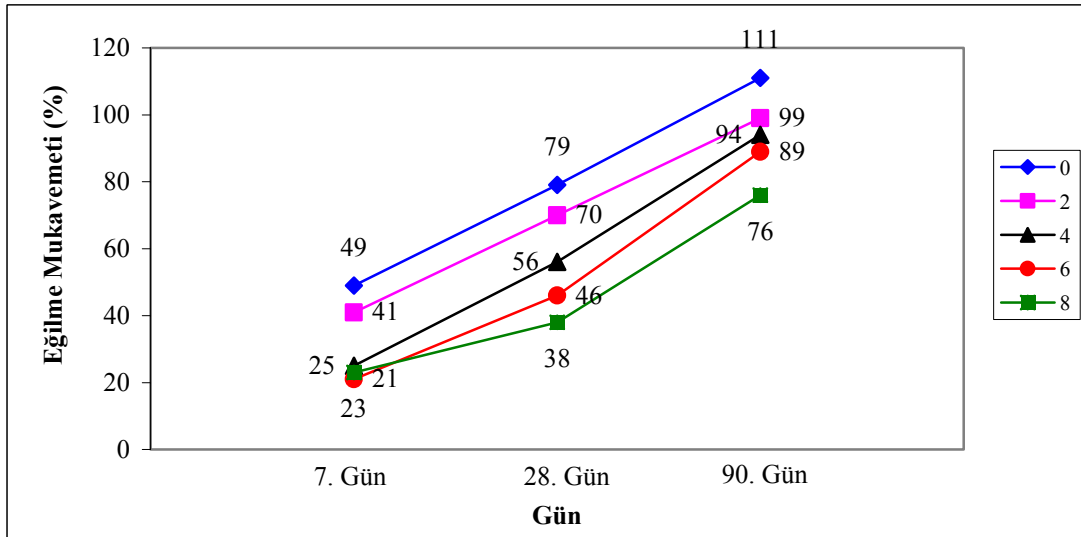
Şekil 5.39: %10 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



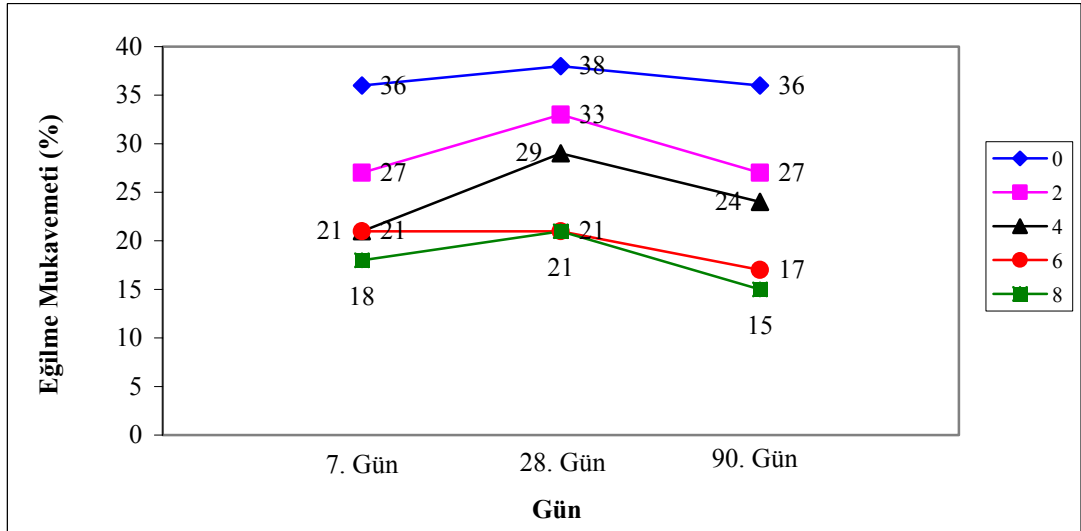
Şekil 5.40: %10 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



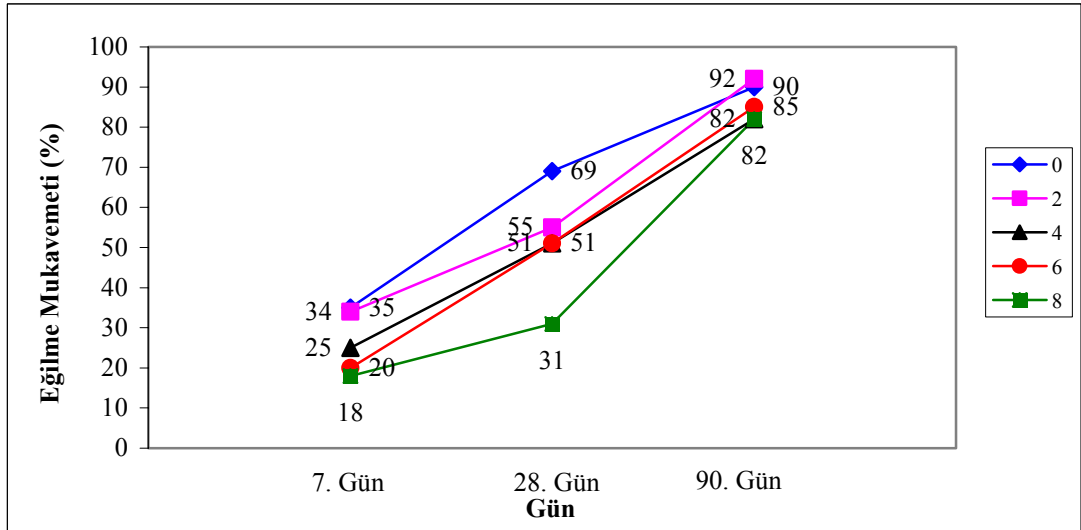
Şekil 5.41: %25 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



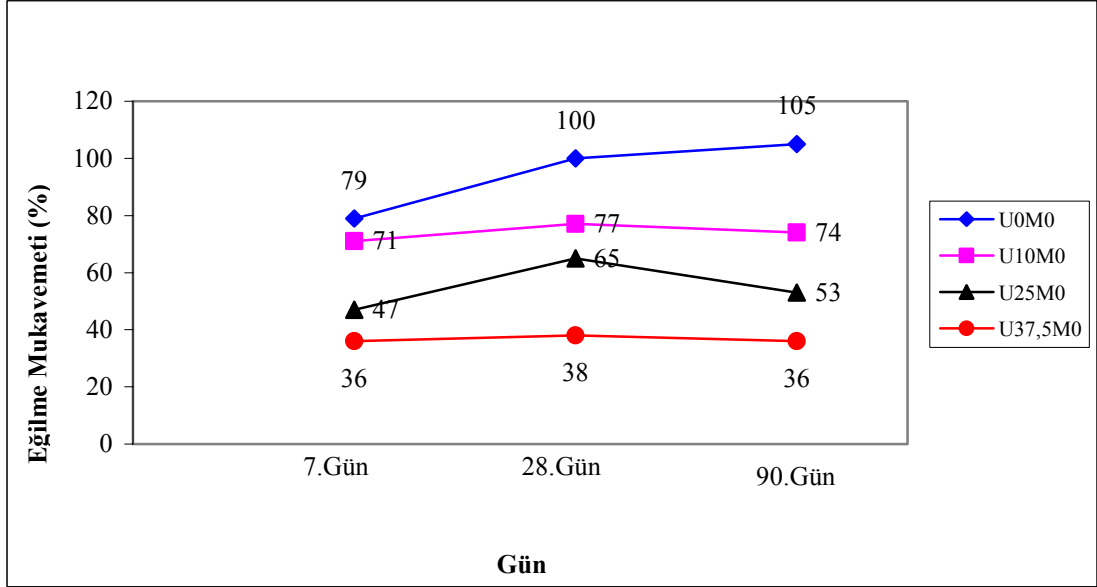
Şekil 5.42: %25 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



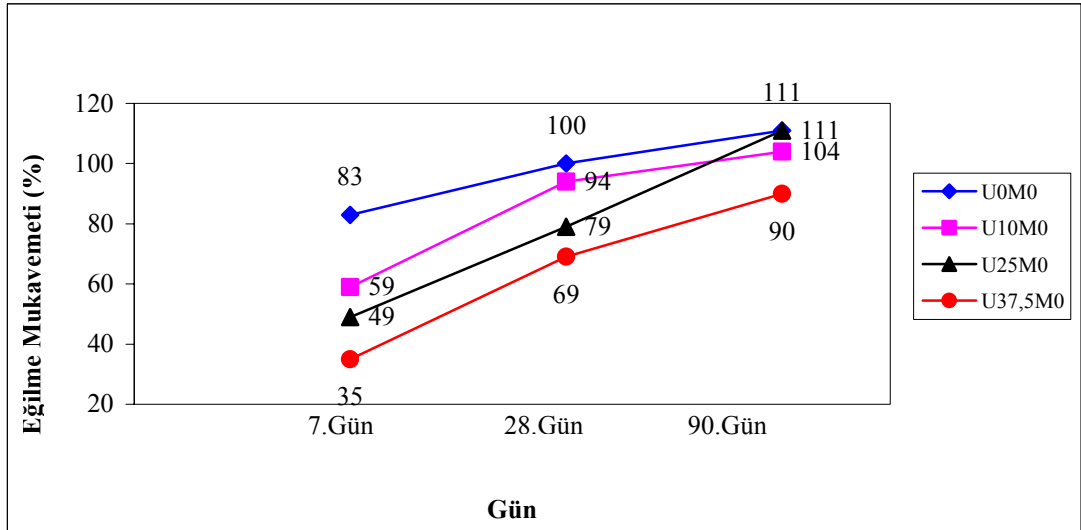
Şekil 5.43: %37.5 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



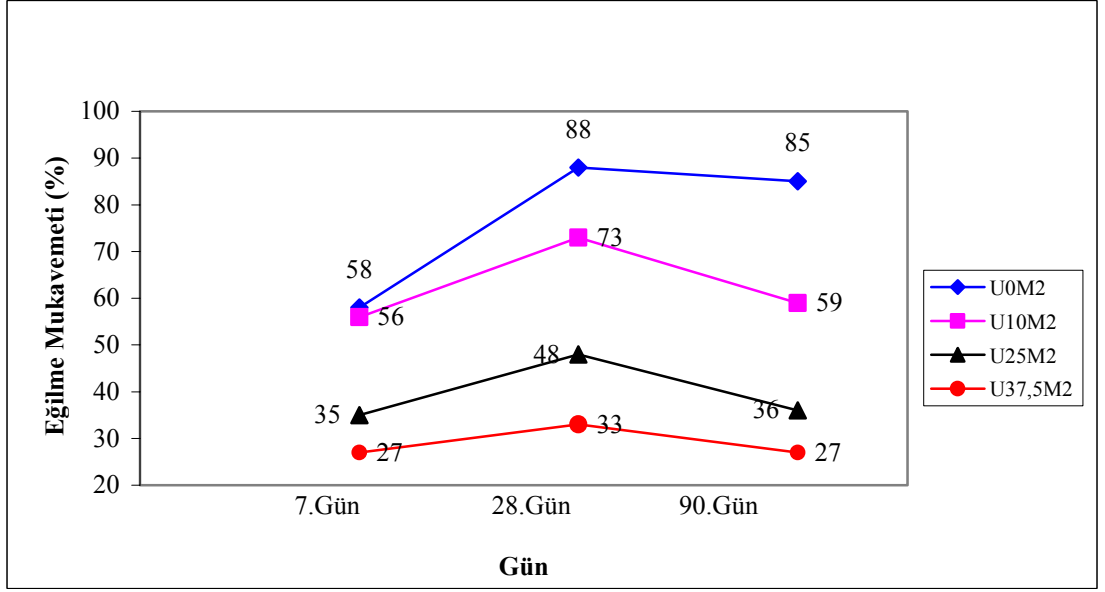
Şekil 5.44: %37.5 uçucu kül içeren betonların eğilme mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



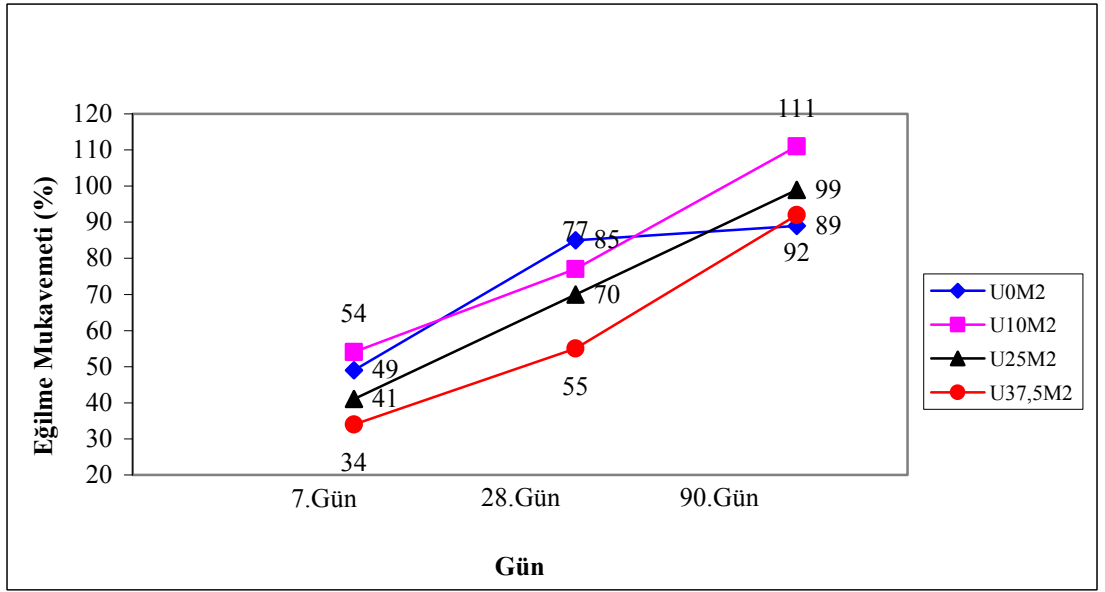
Şekil 5.45: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



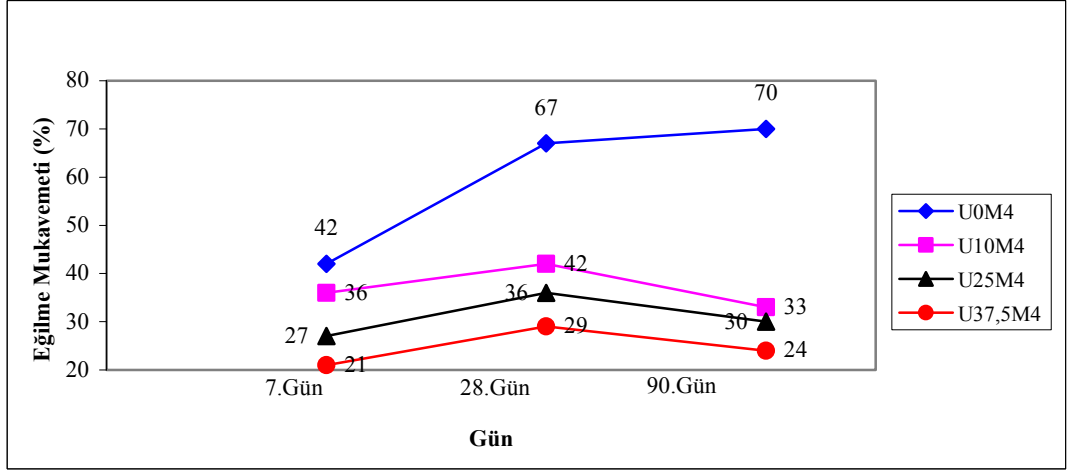
Şekil 5.46: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



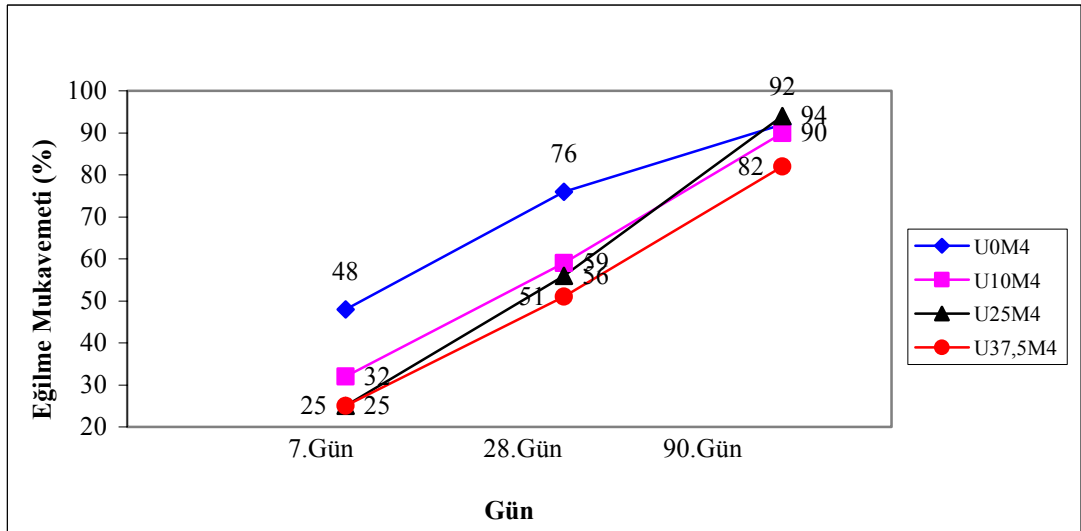
Şekil 5.47: %2 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



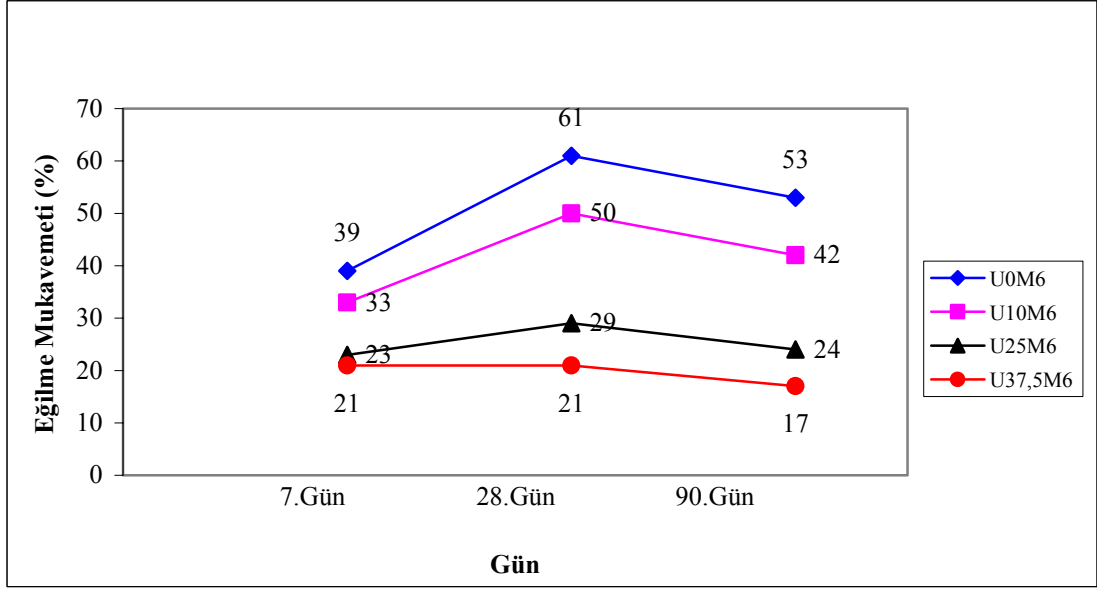
Şekil 5.48: %2 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



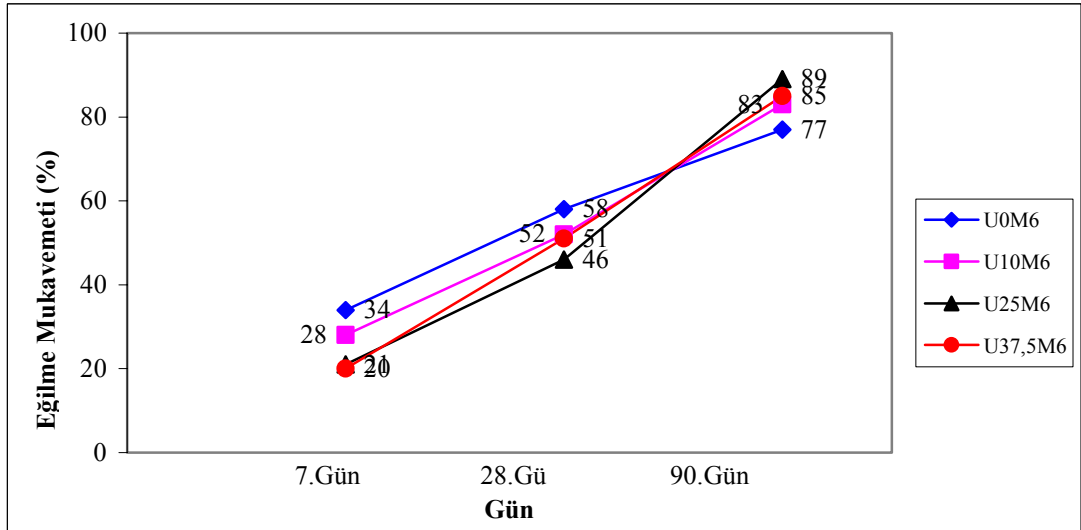
Şekil 5.49: %4 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



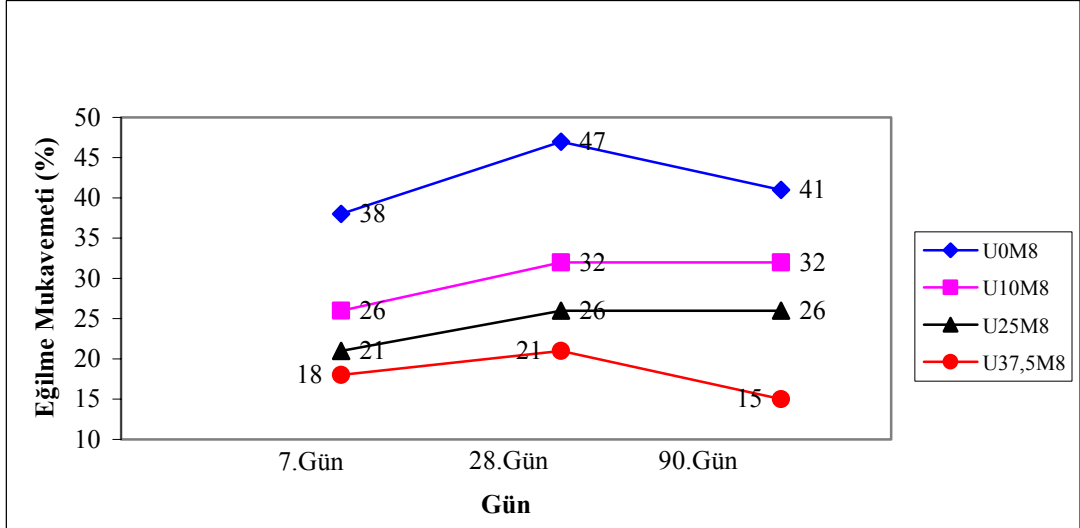
Şekil 5.50: %4 MgSO₄ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



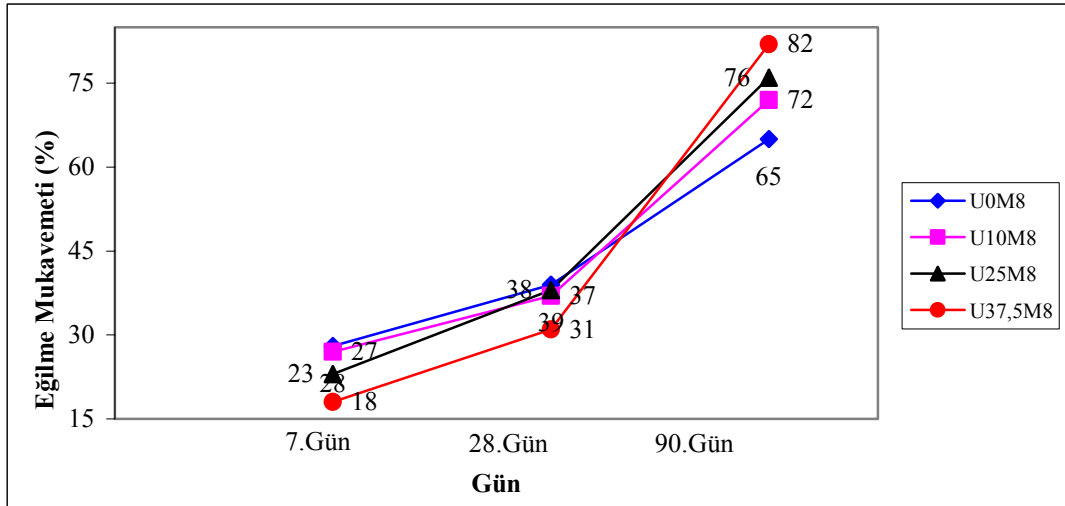
Şekil 5.51: %6 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



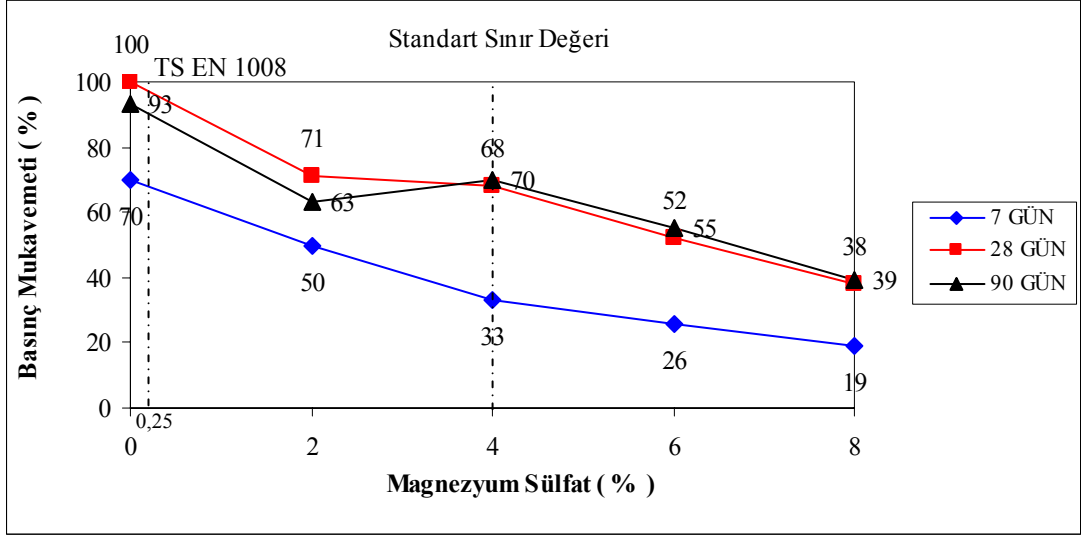
Şekil 5.52: %6 $MgSO_4$ çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



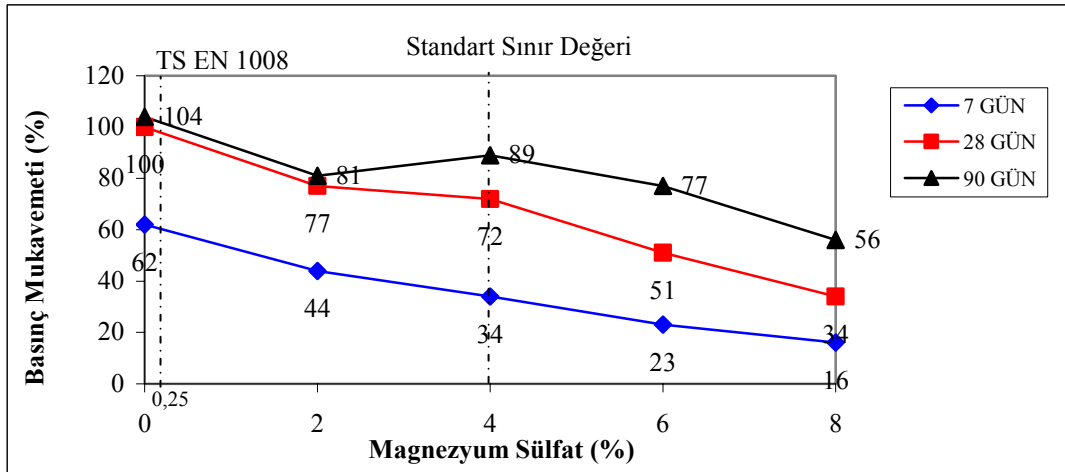
Şekil 5.53: %8 MgSO_4 çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



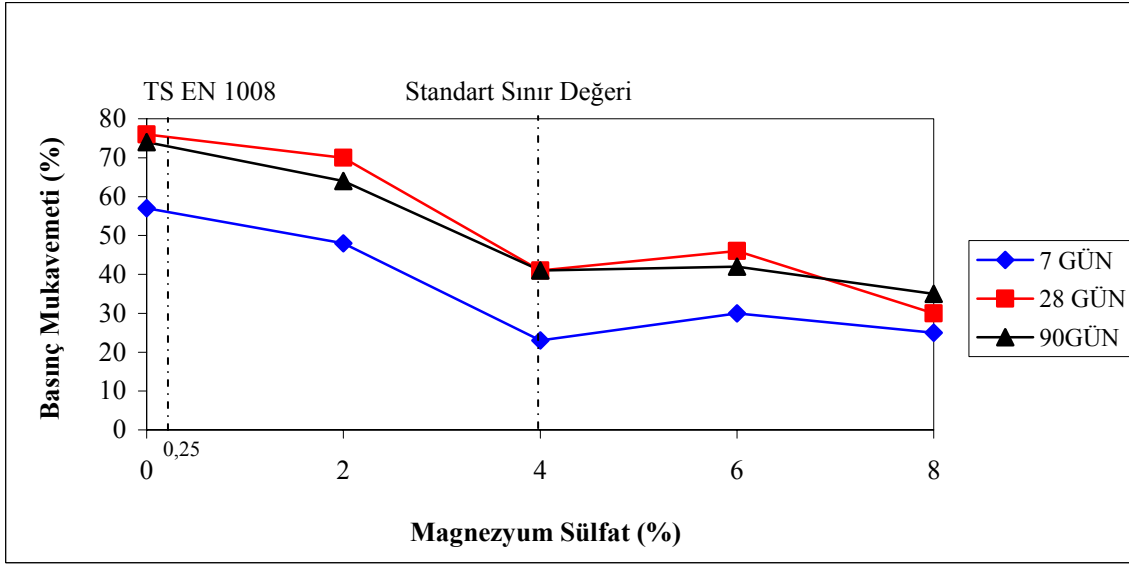
Şekil 5.54: %8 MgSO_4 çözeltili betonların eğilme mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



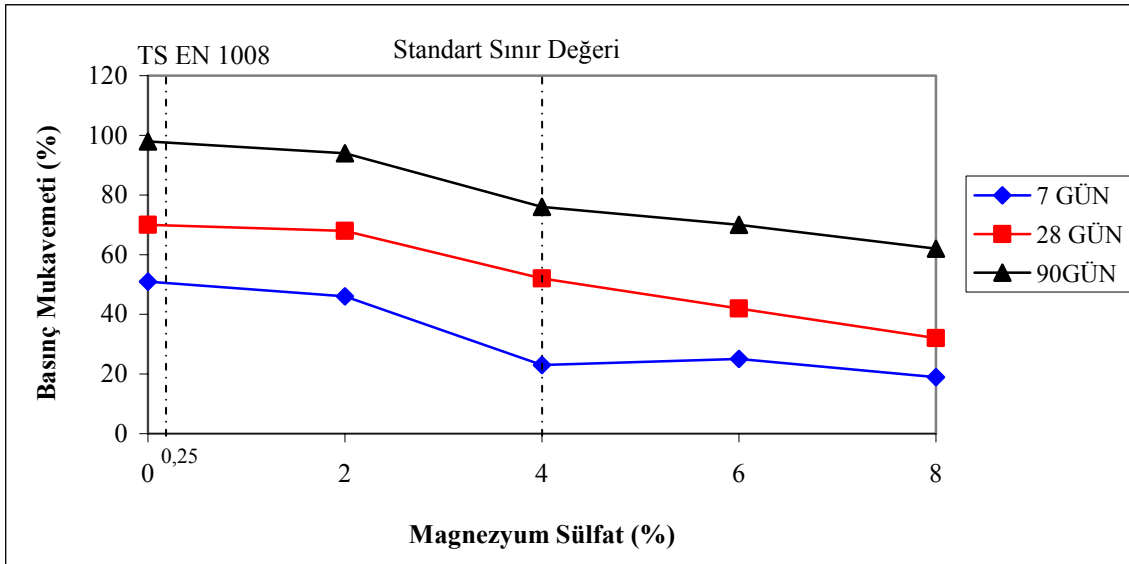
Şekil 5.55: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



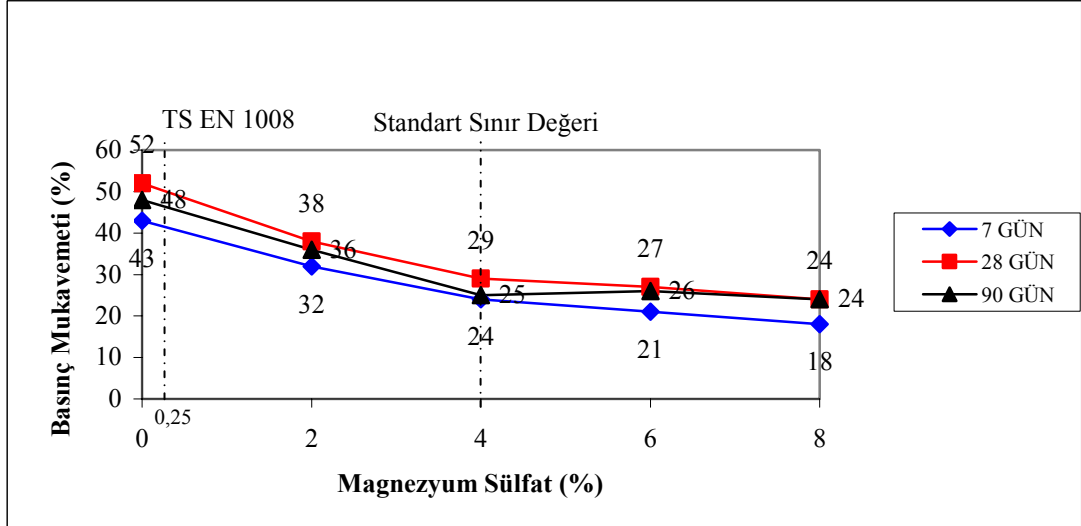
Şekil 5.56: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



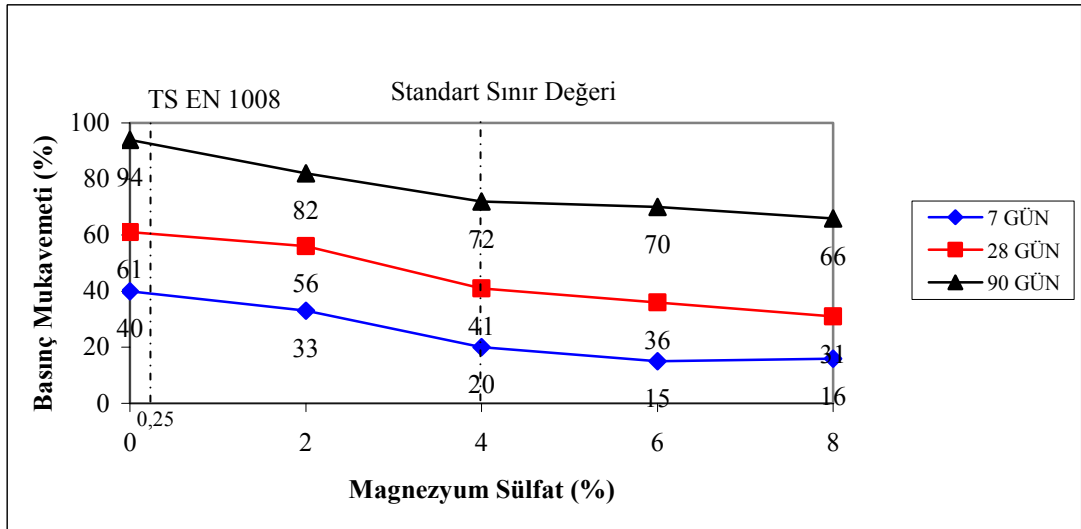
Şekil 5.57: %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



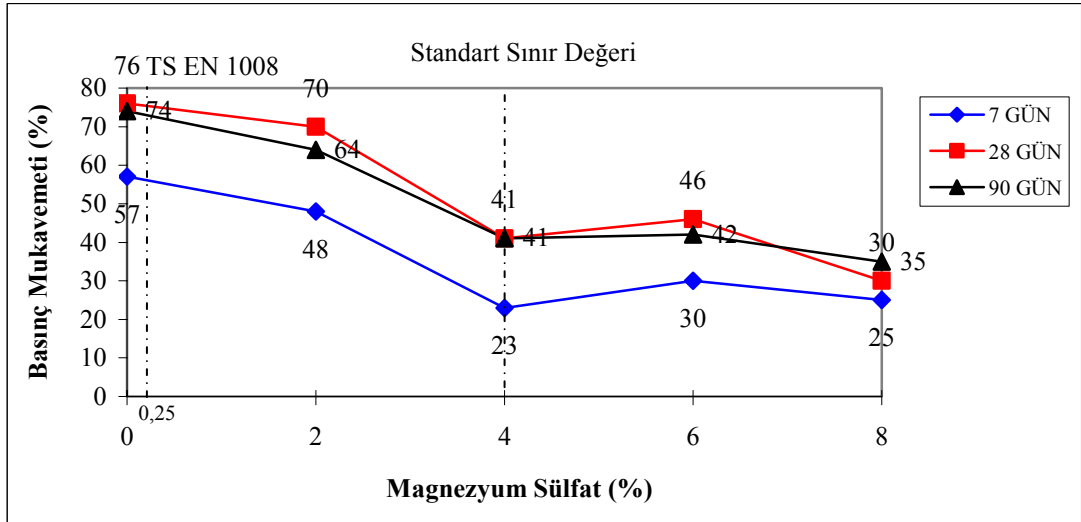
Şekil 5.58: %10 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



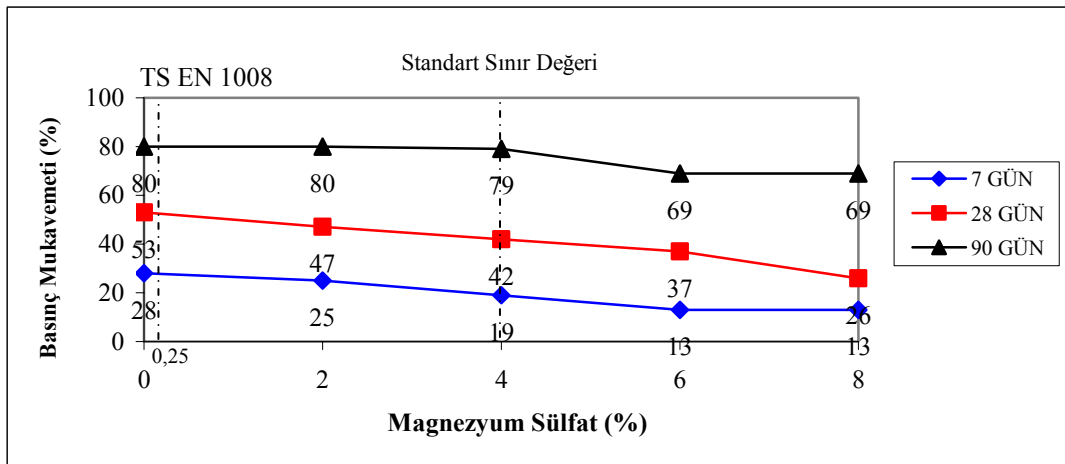
Şekil 5.59: %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



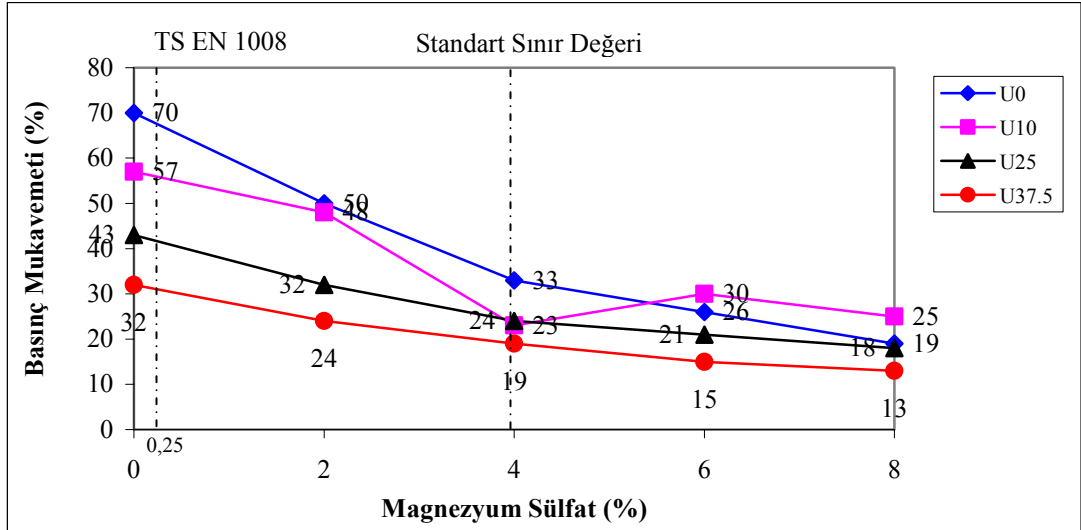
Şekil 5.60: %25 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



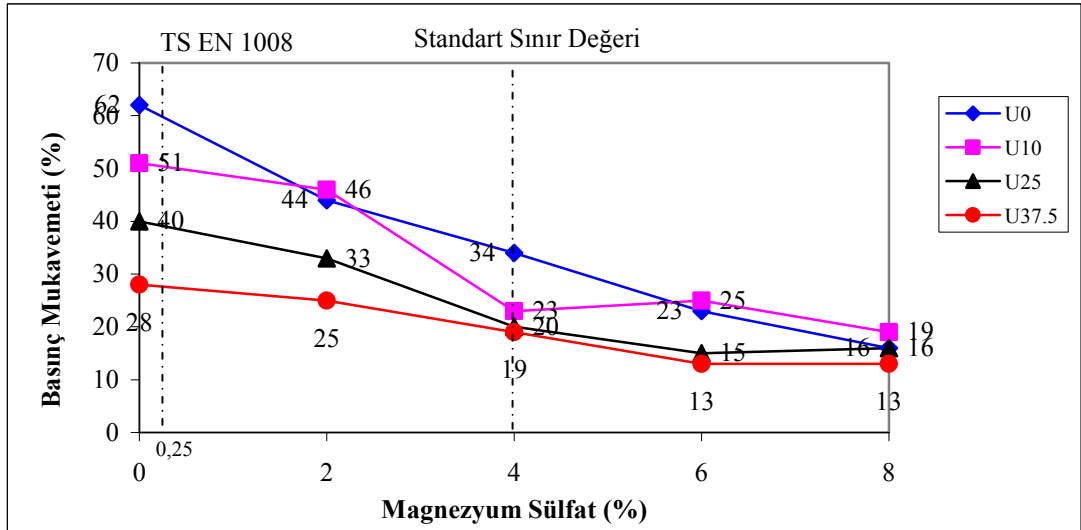
Şekil 5.61: %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



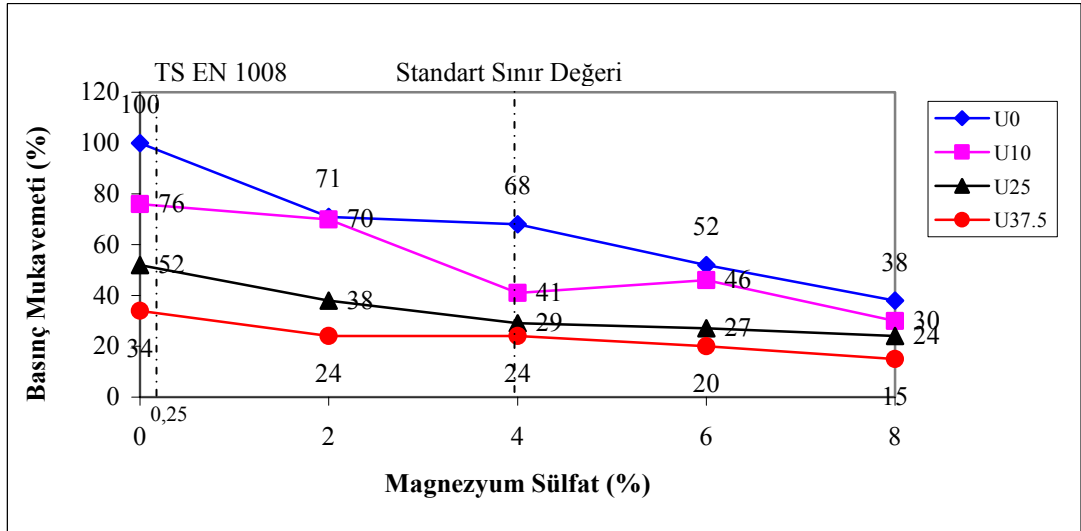
Şekil 5.62: %37.5 uçucu kül içeren $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



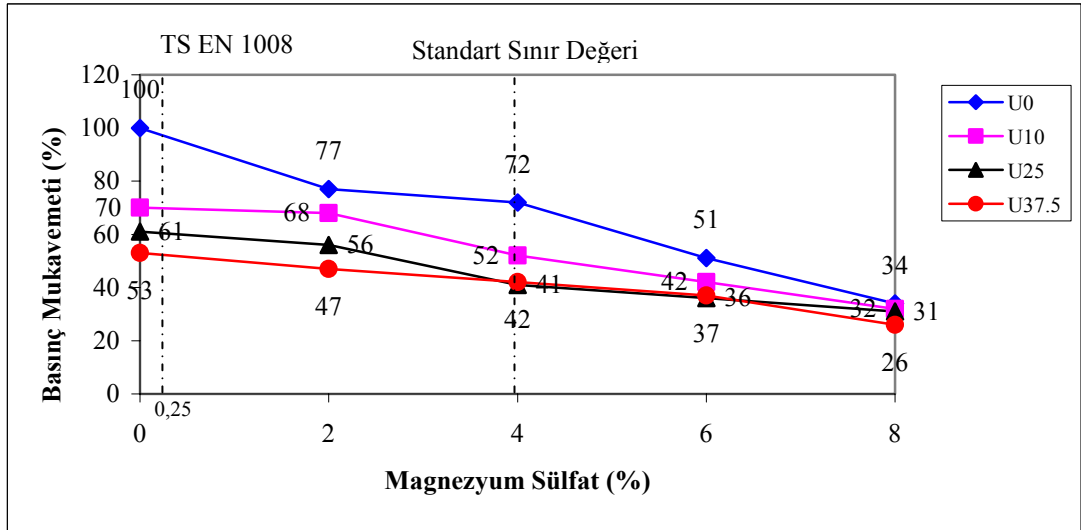
Şekil 5.63: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



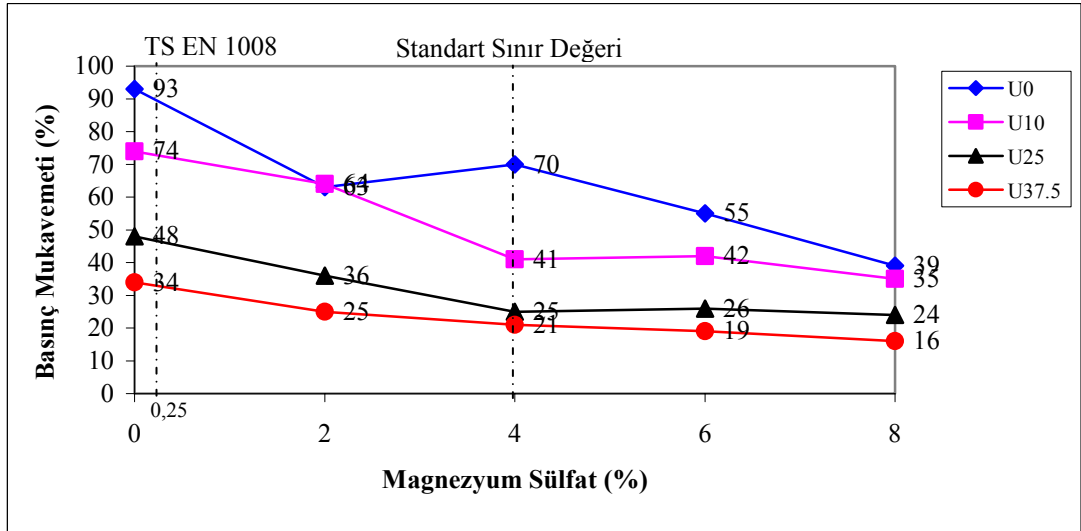
Şekil 5.64: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



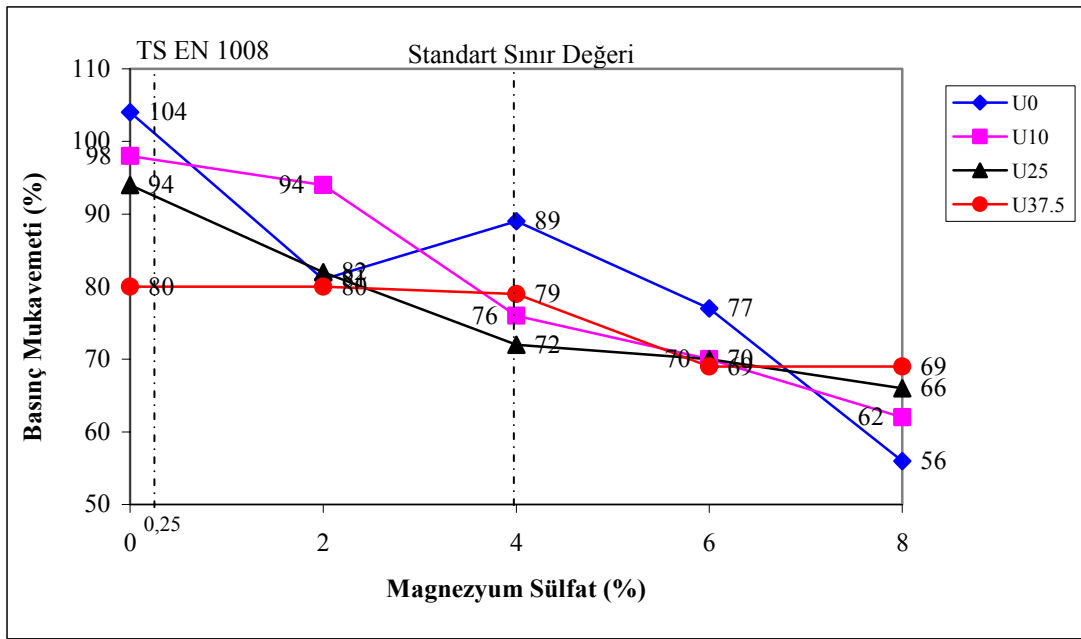
Şekil 5.65: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



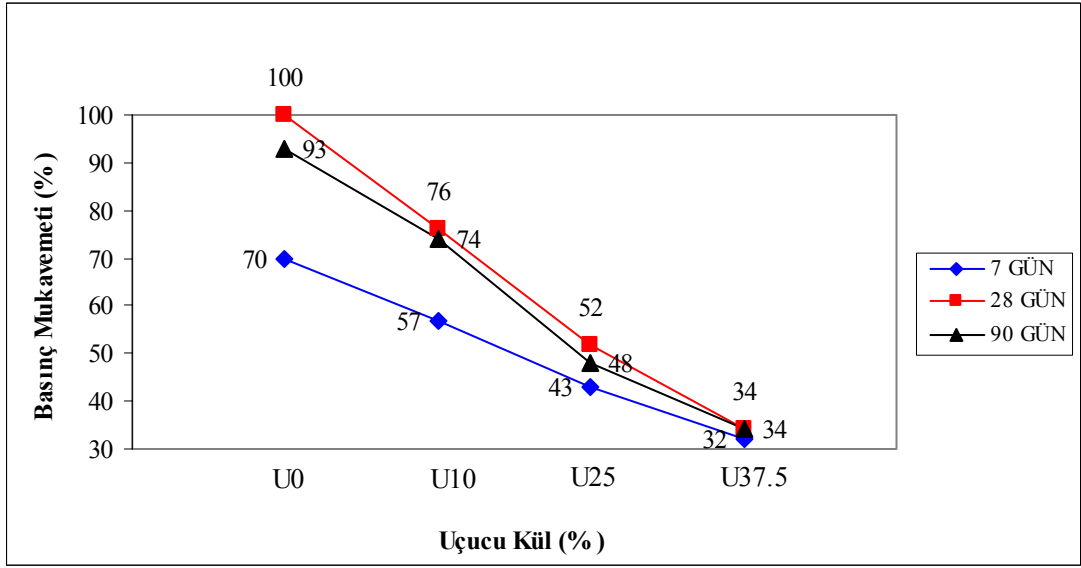
Şekil 5.66: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



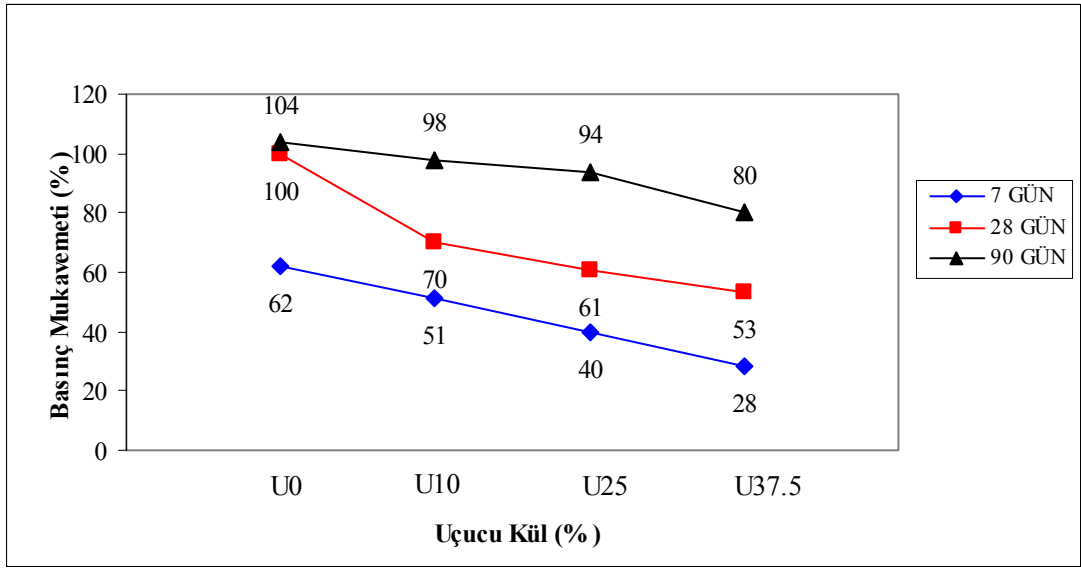
Şekil 5.67: Kontrol betonu ve MgSO_4 çözeltili betonların 90.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



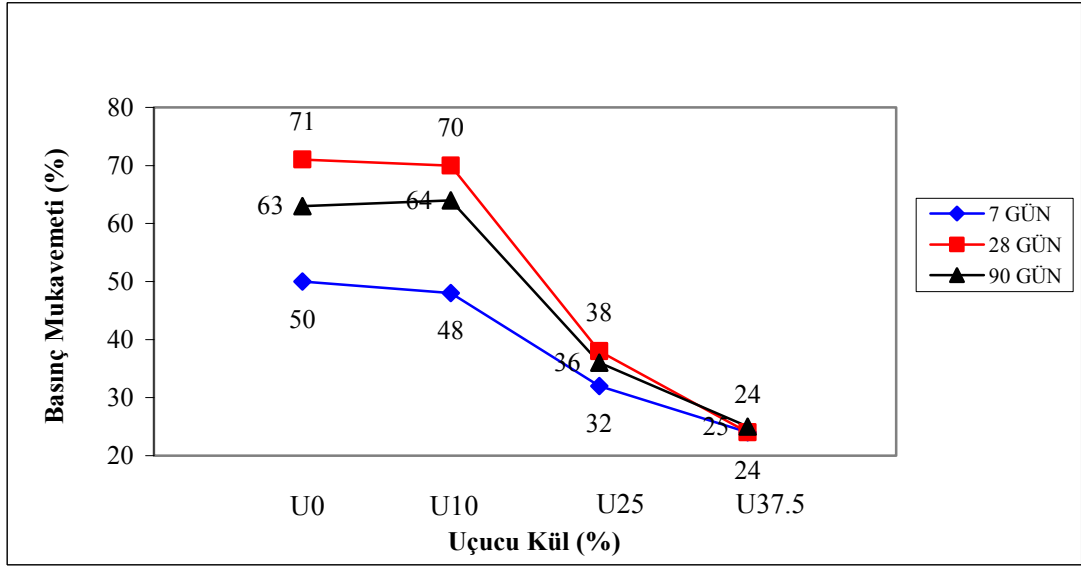
Şekil 5.68: Kontrol betonu ve MgSO_4 çözeltili betonların 90.gün basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



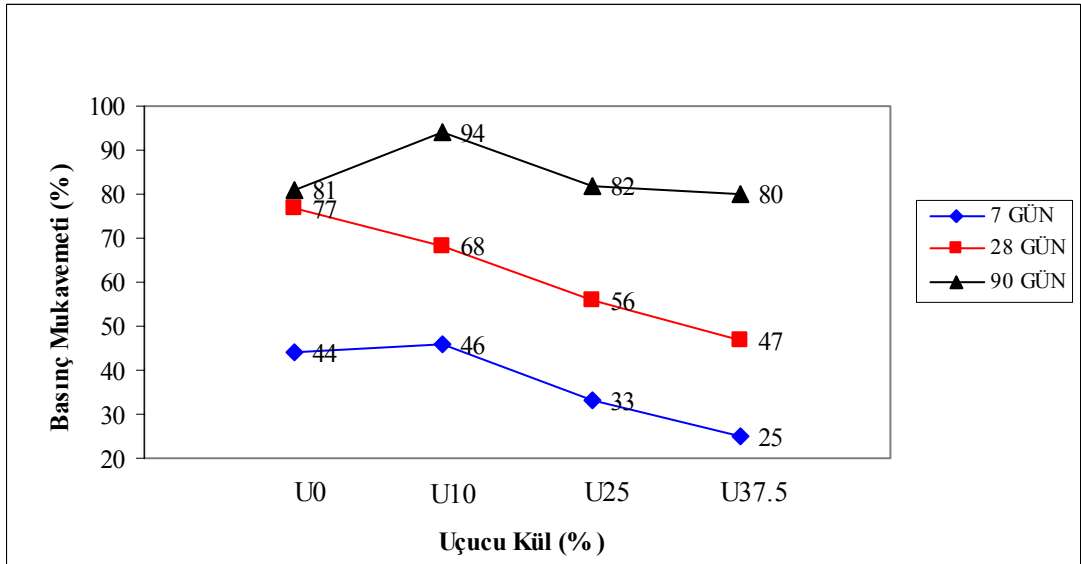
Şekil 5.69: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



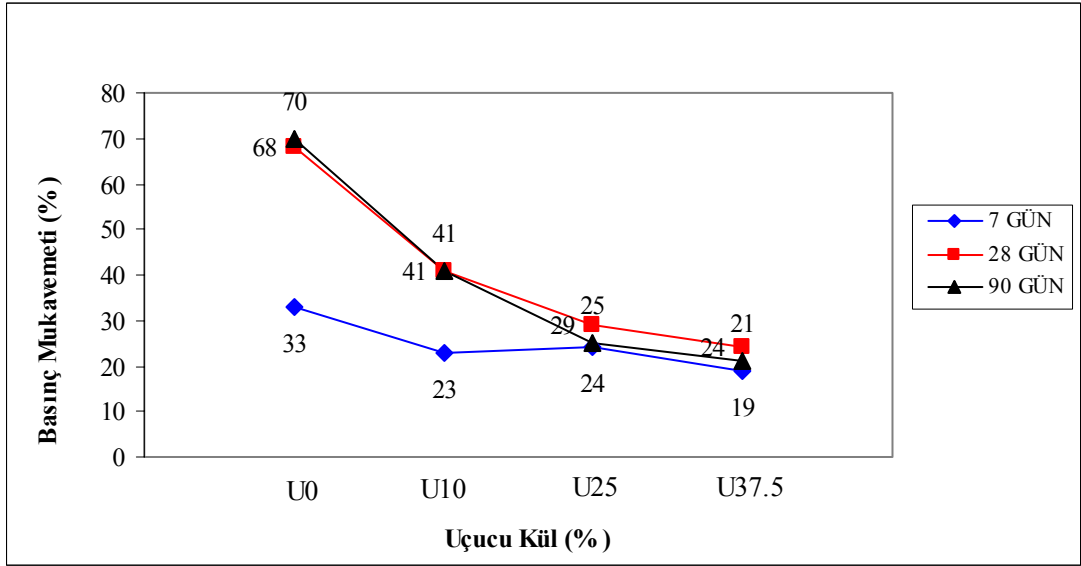
Şekil 5.70: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



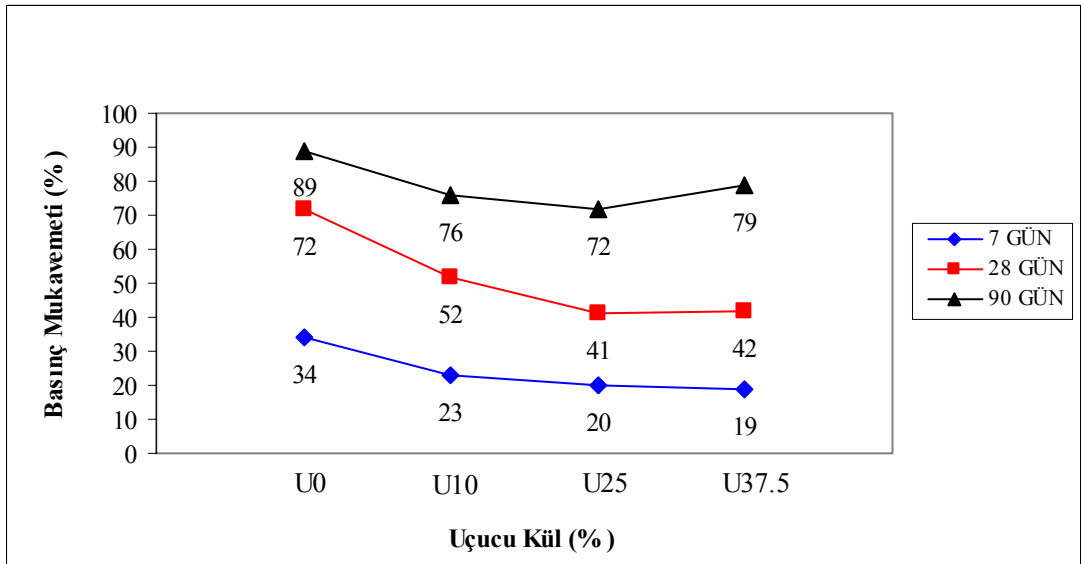
Şekil 5.71: %2 $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



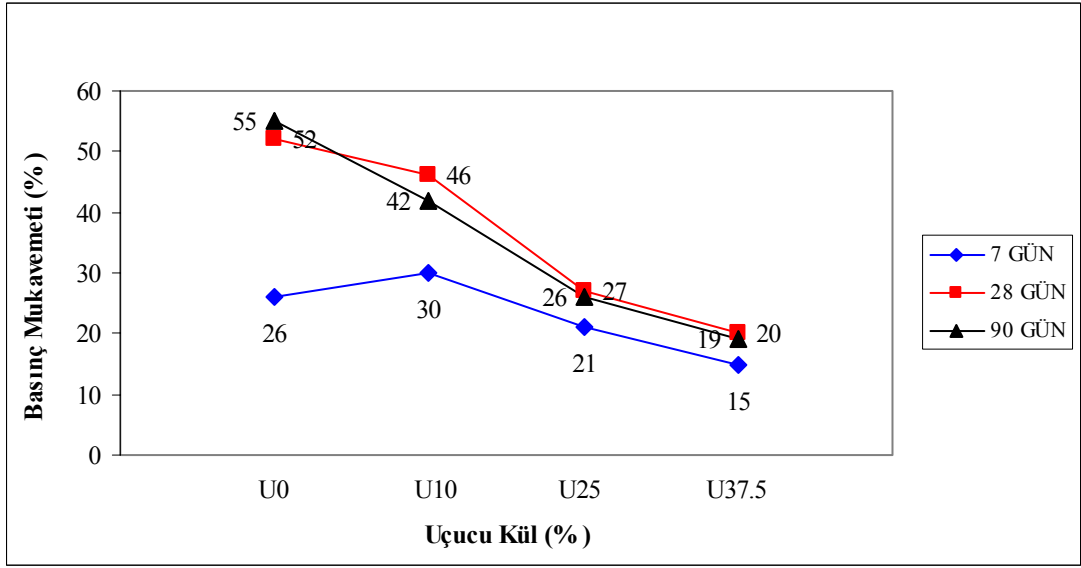
Şekil 5.72: %2 $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



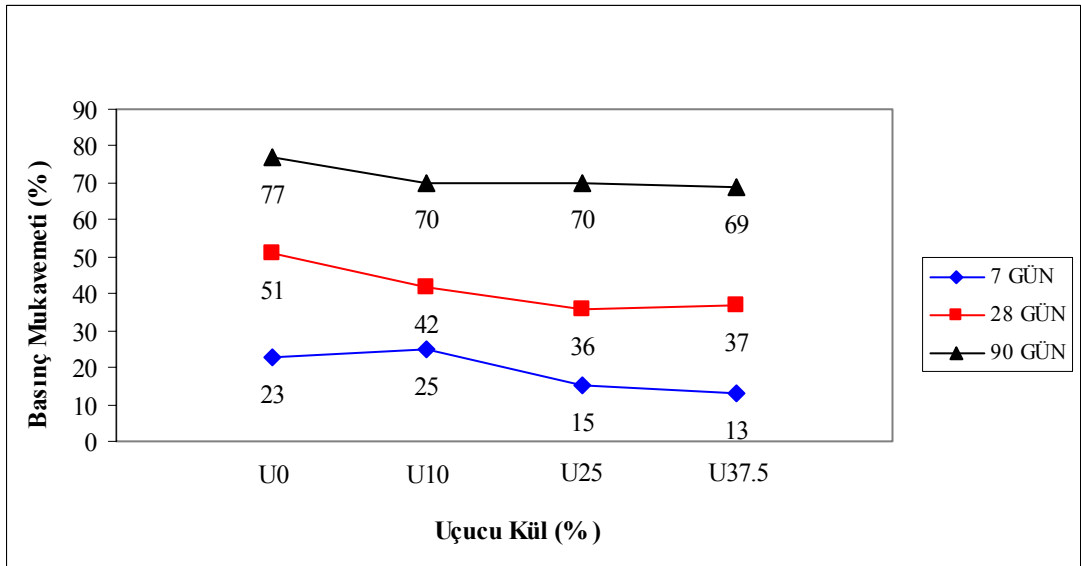
Şekil 5.73: %4 MgSO₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



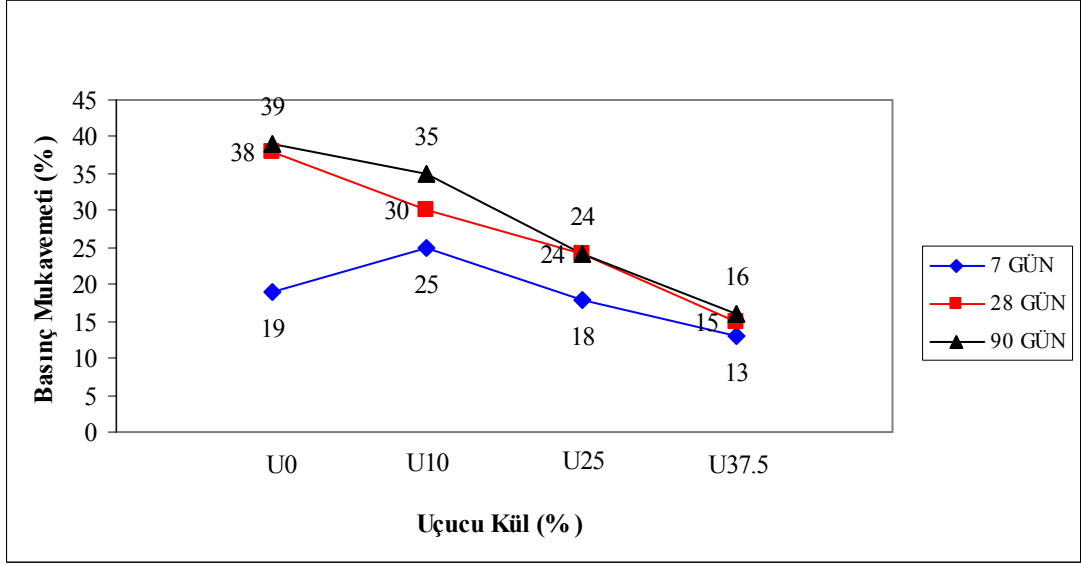
Şekil 5.74: %4 MgSO₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



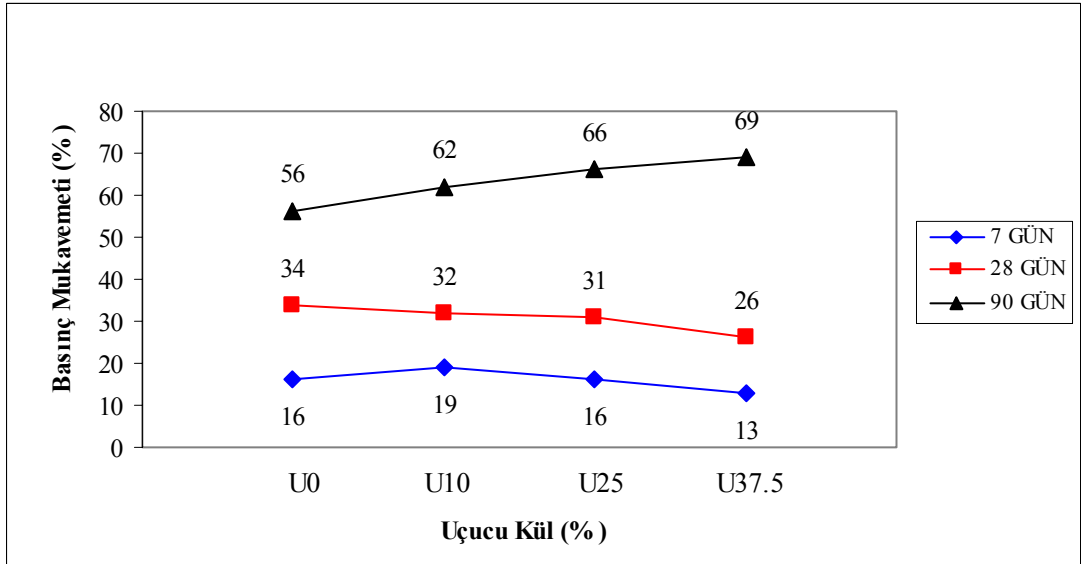
Şekil 5.75: %6 $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



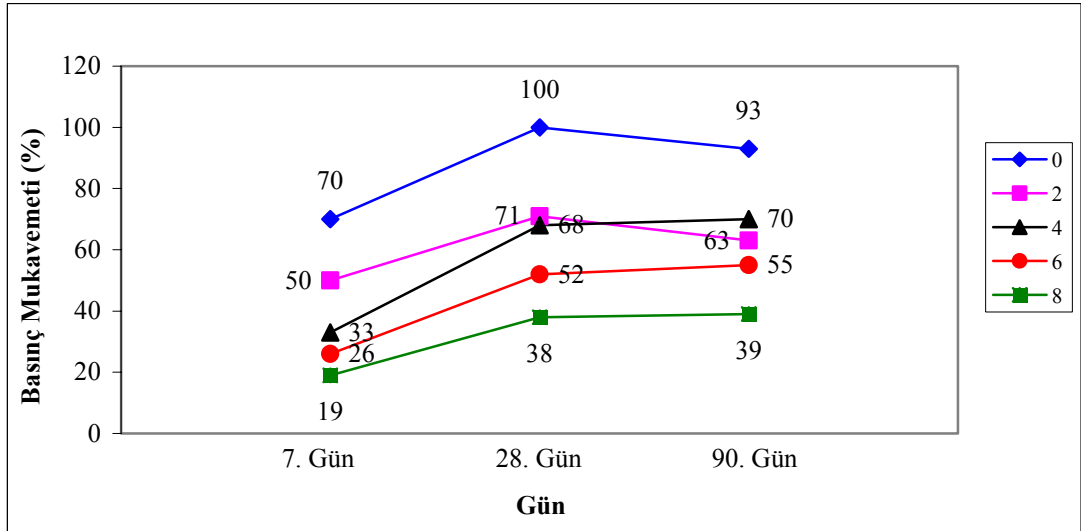
Şekil 5.76: %6 $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



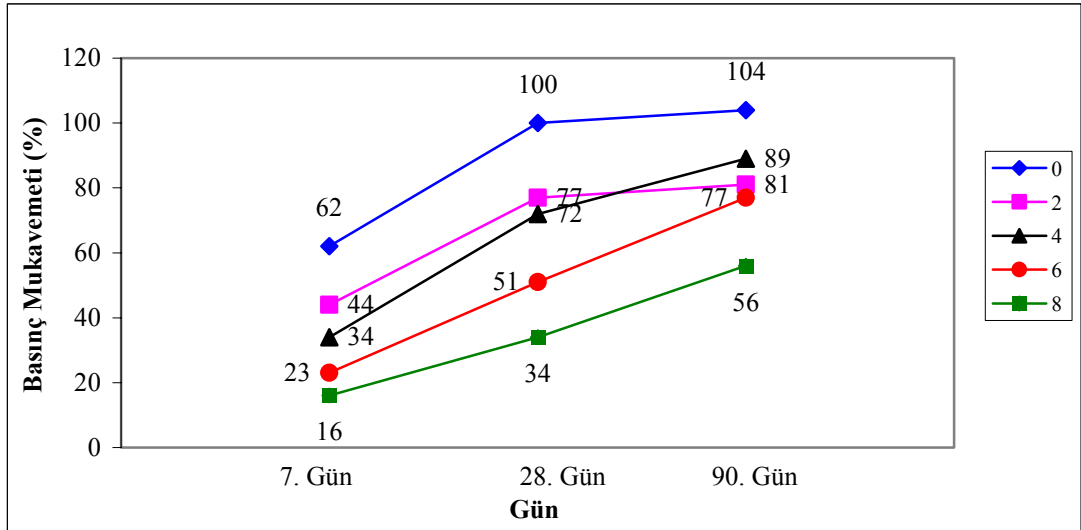
Şekil 5.77: %8 MgSO₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



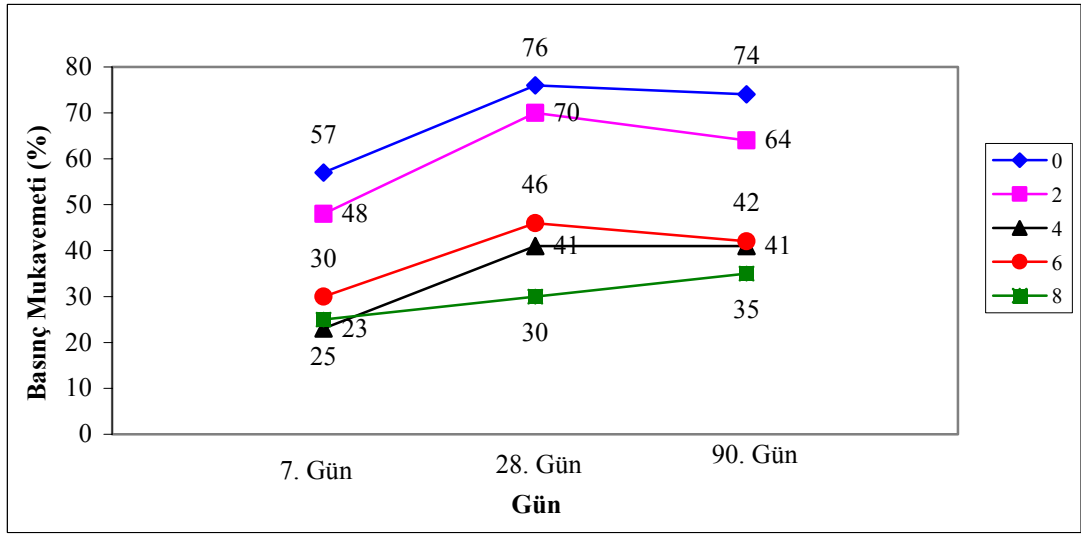
Şekil 5.78: %8 MgSO₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



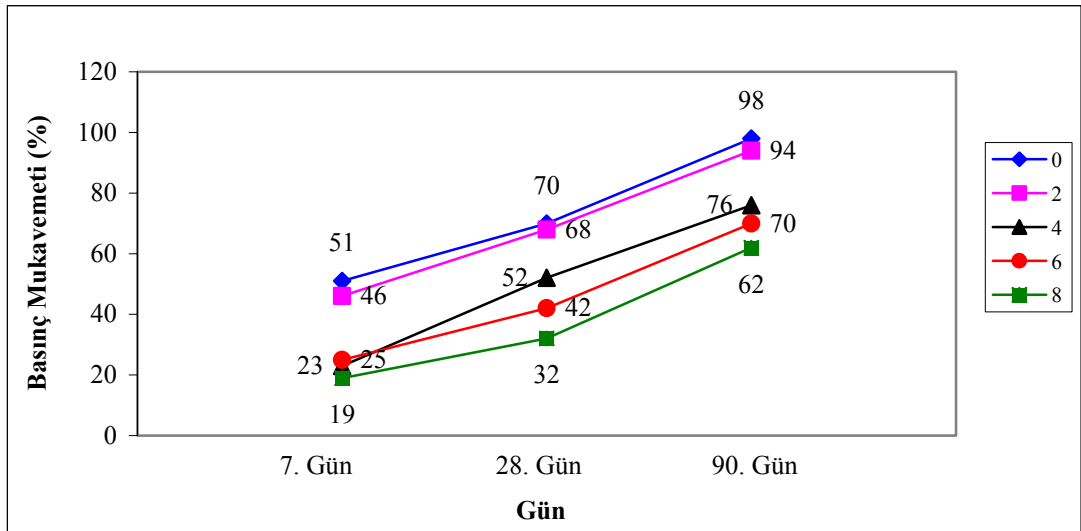
Şekil 5.79: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



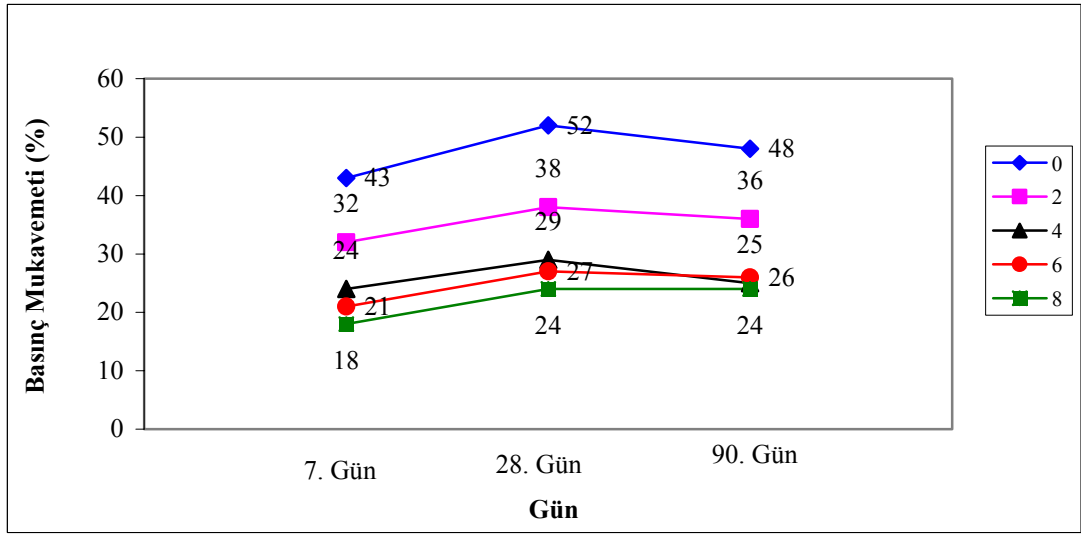
Şekil 5.80: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



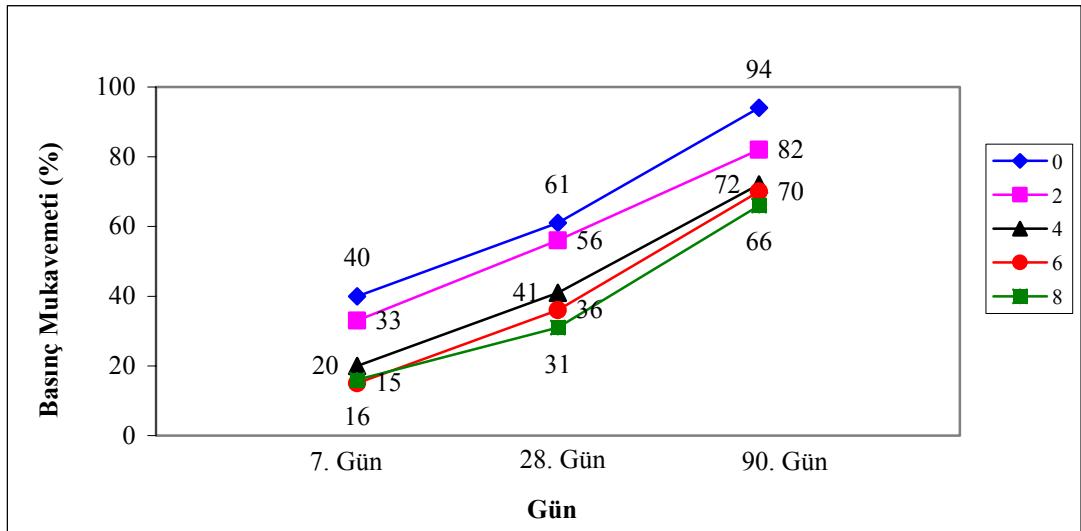
Şekil 5.81: %10 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



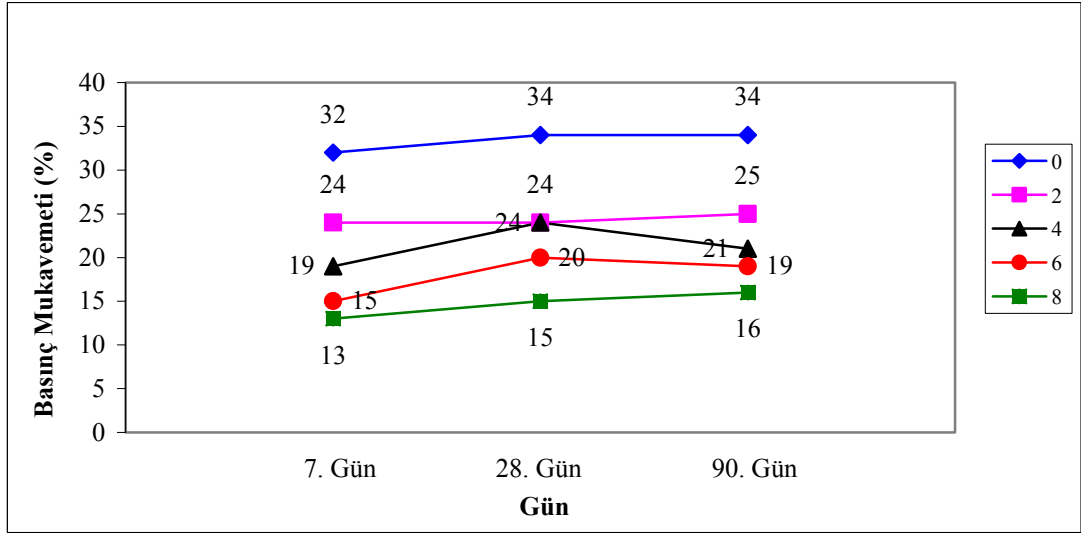
Şekil 5.82: %10 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



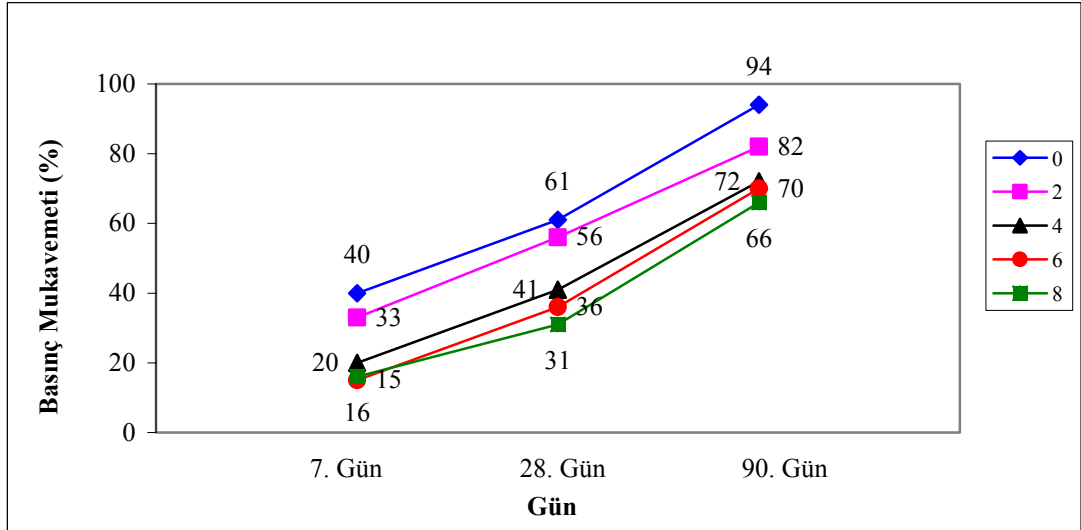
Şekil 5.83: %25 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



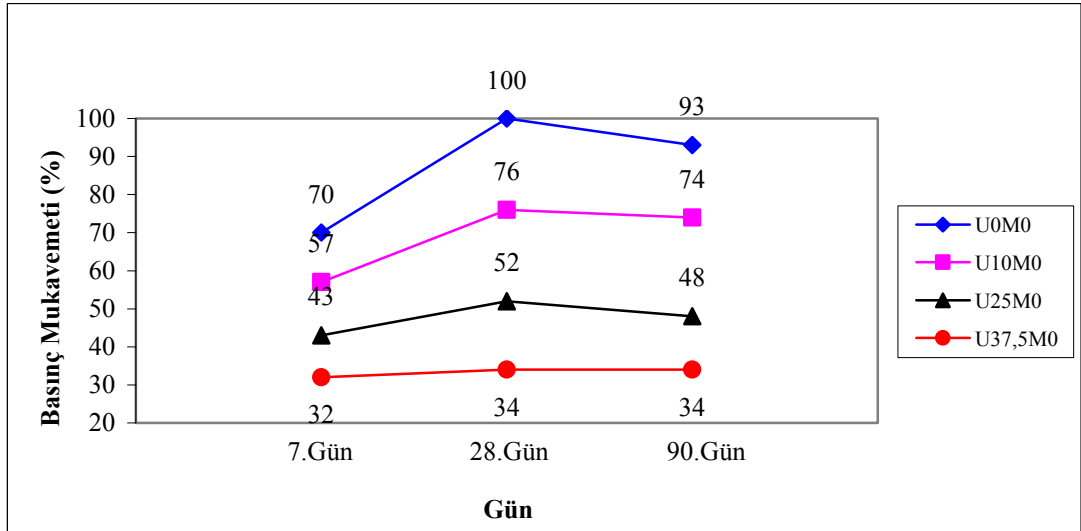
Şekil 5.84: %25 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



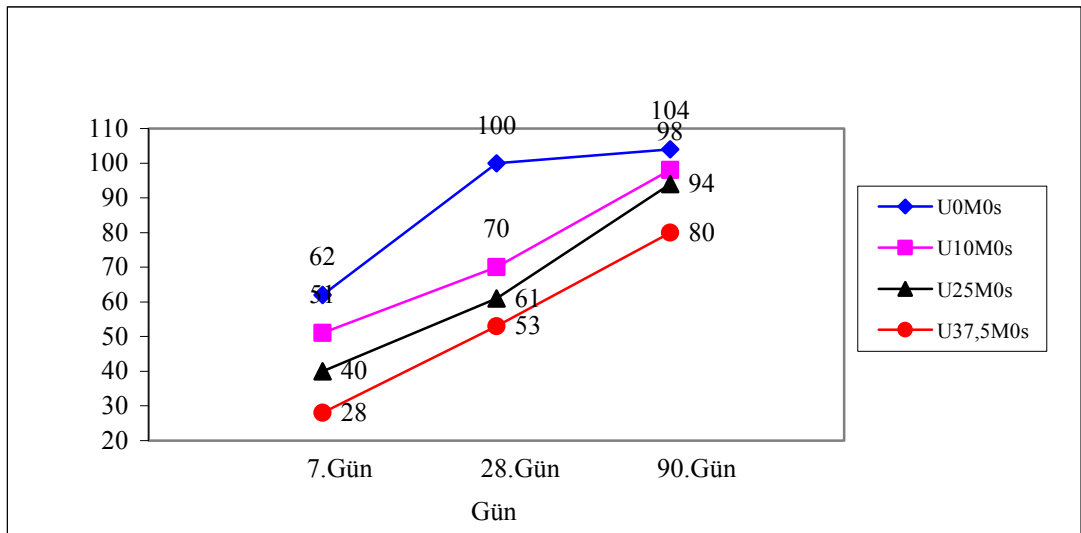
Şekil 5.85: %37.5 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



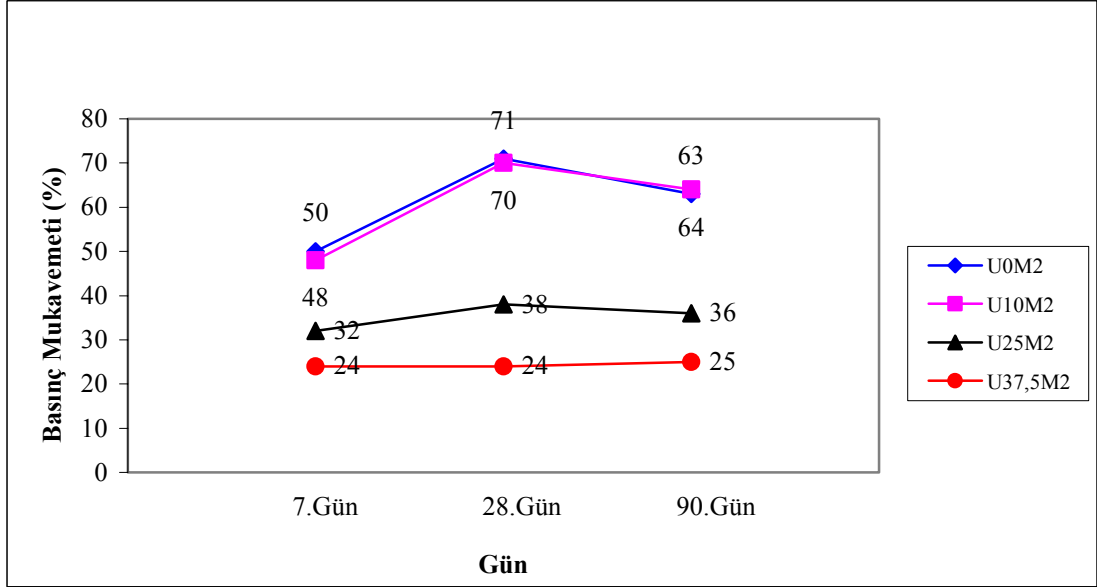
Şekil 5.86: %37.5 uçucu kül içeren betonların basınç mukavemeti değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



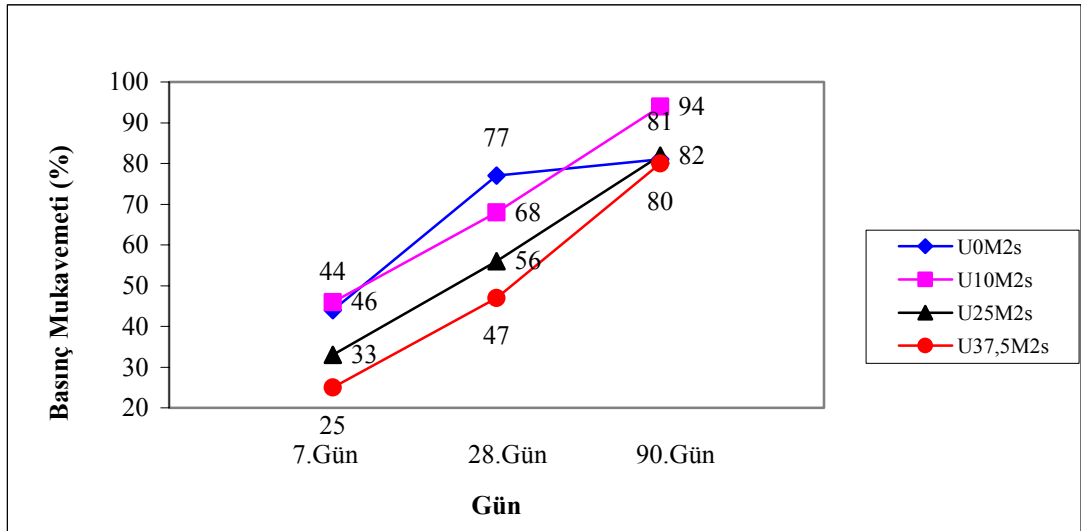
Şekil 5.87: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



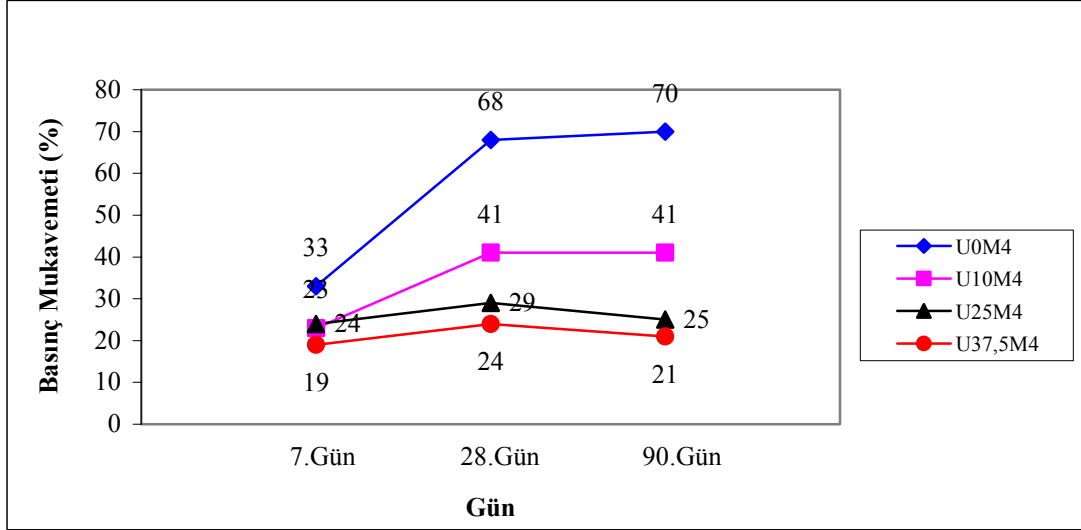
Şekil 5.88: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



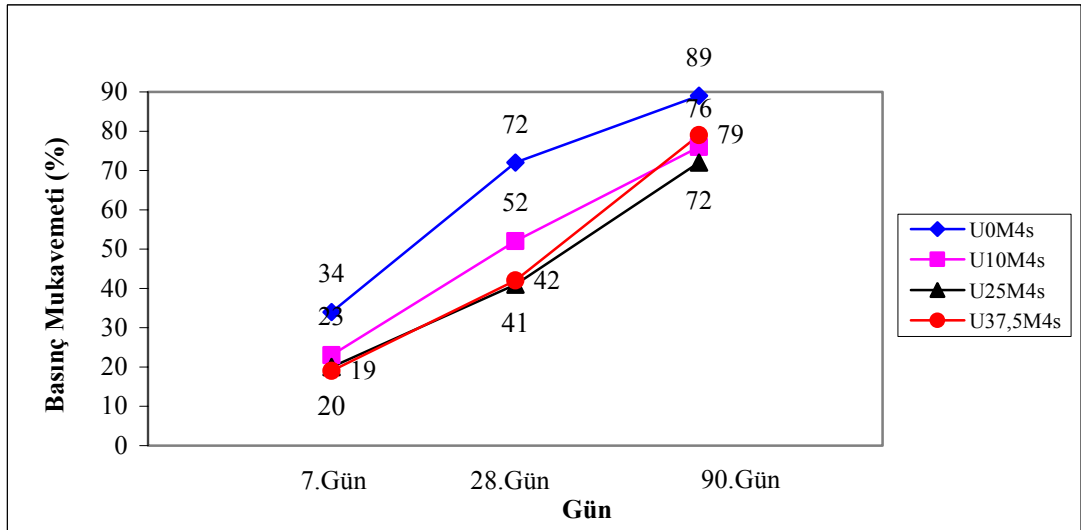
Şekil 5.89: %2 MgSO₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



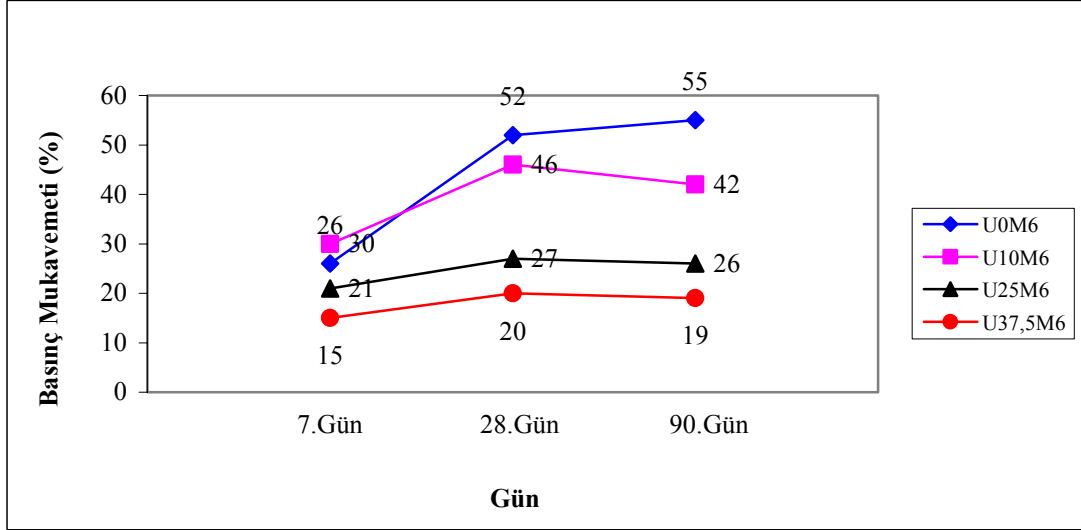
Şekil 5.90: %2 MgSO₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



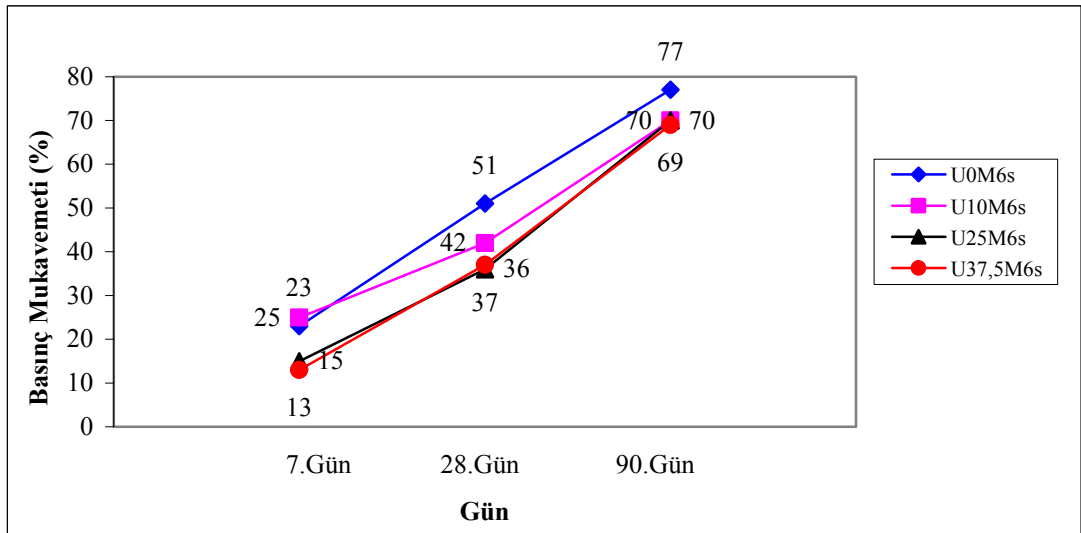
Şekil 5.91: %4 $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



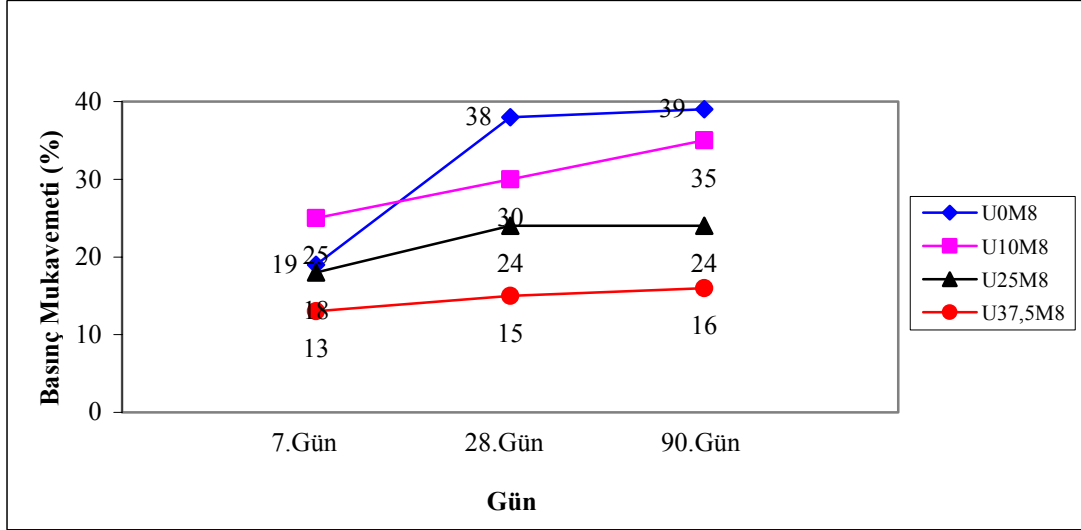
Şekil 5.92: %4 $MgSO_4$ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



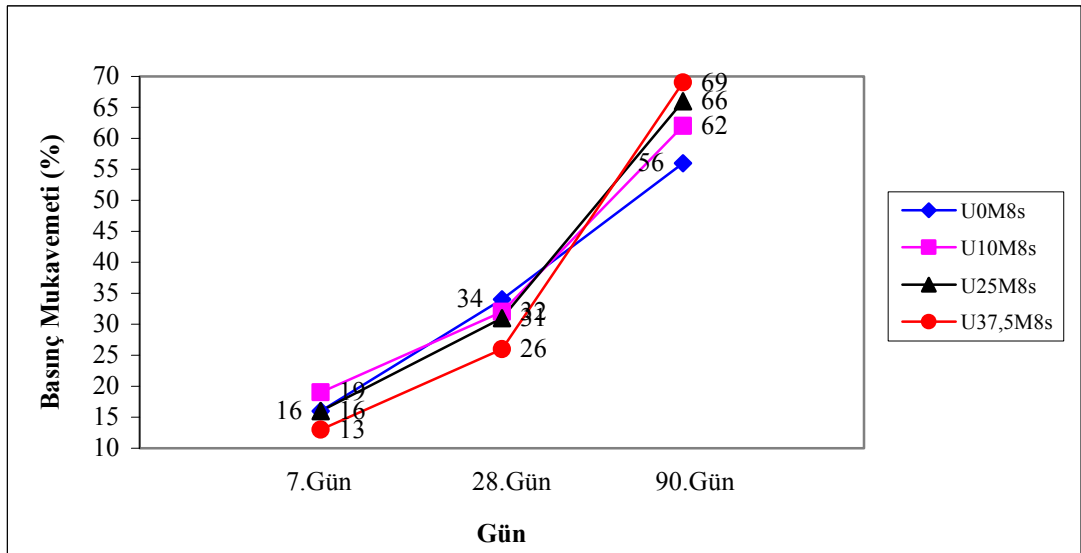
Şekil 5.93: %6 MgSO_4 çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



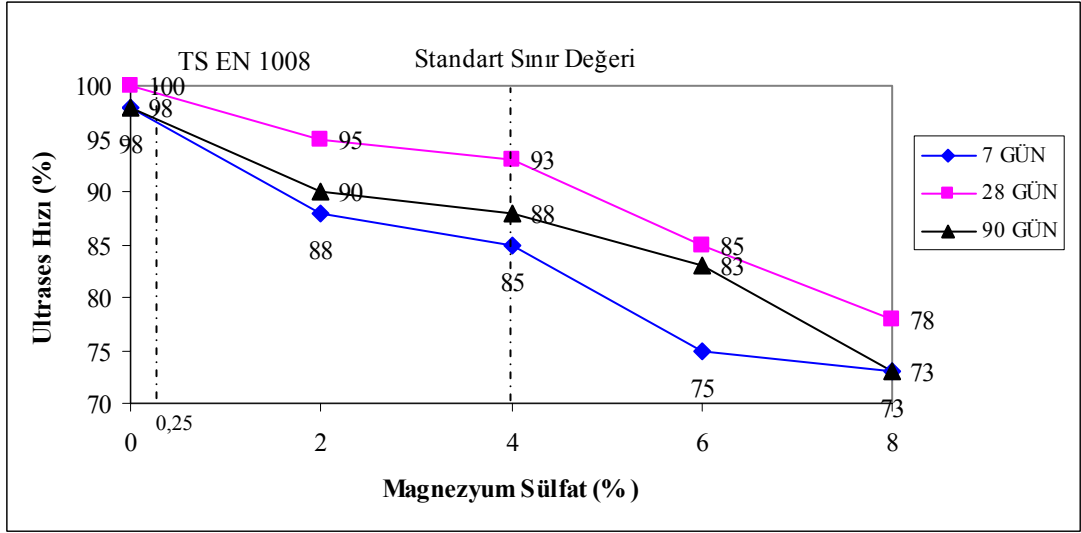
Şekil 5.94: %6 MgSO_4 çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



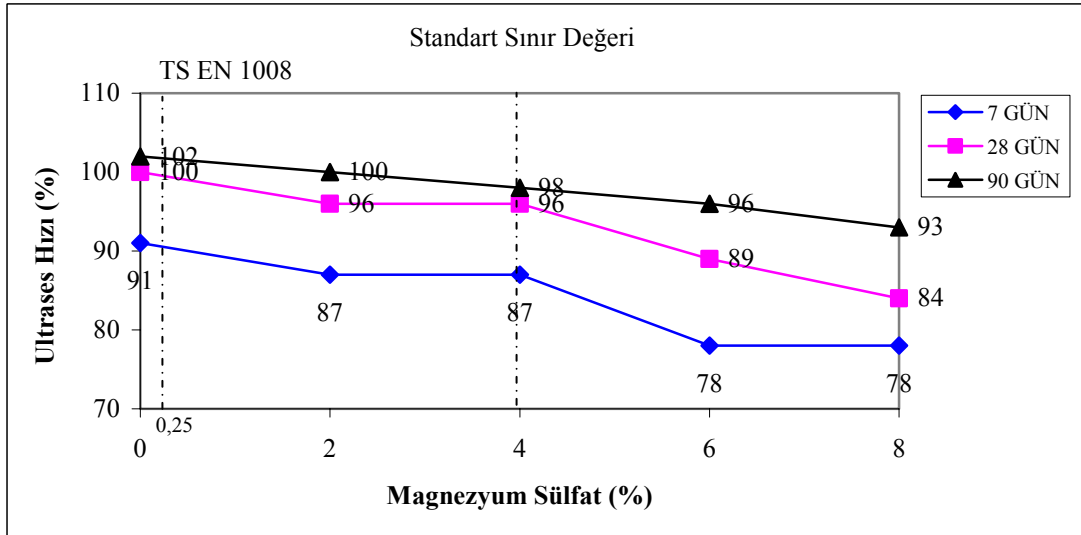
Şekil 5.95: %8 MgSO₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



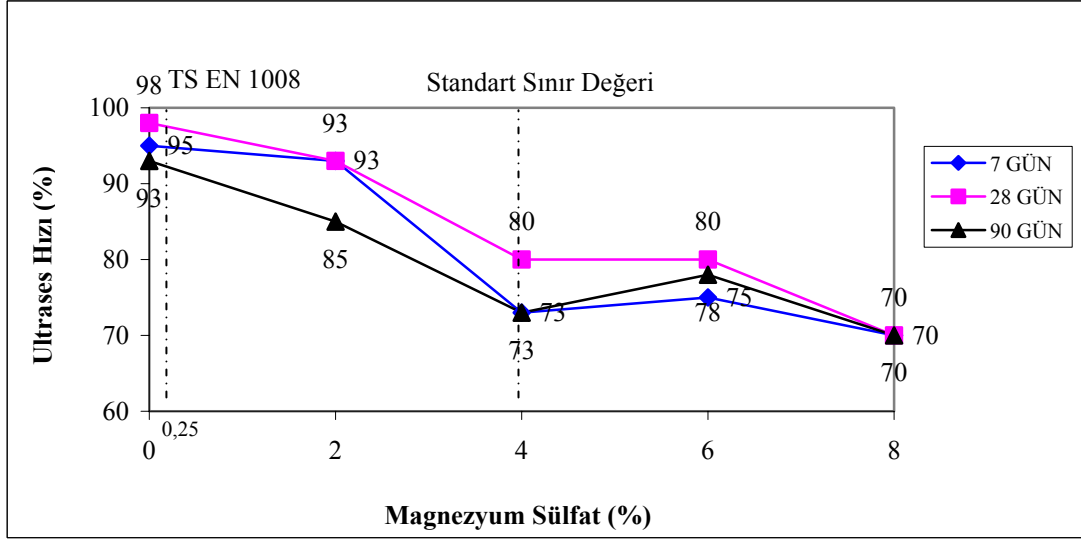
Şekil 5.96: %8 MgSO₄ çözeltili betonların basınç mukavemeti değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



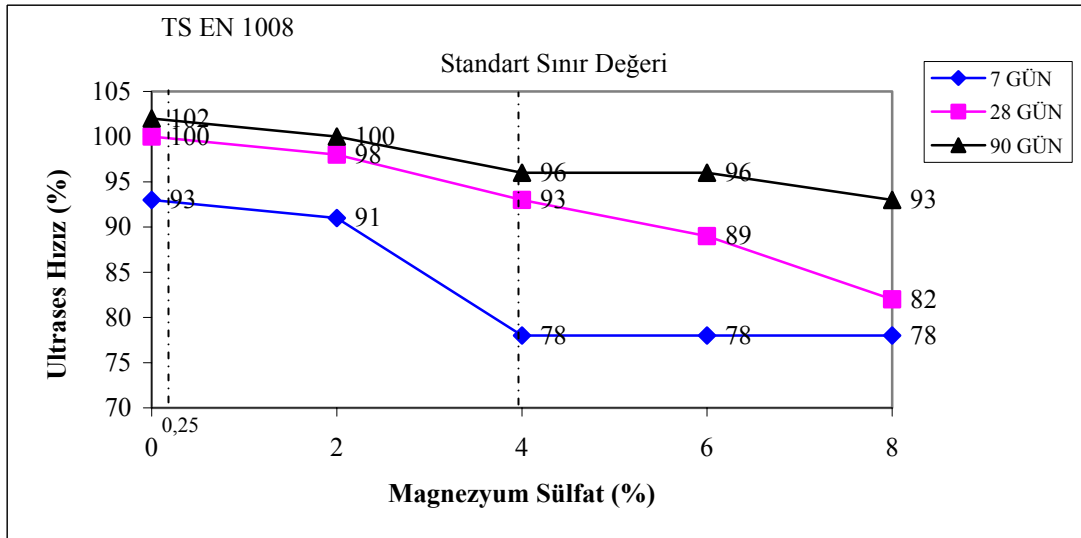
Şekil 5.97: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



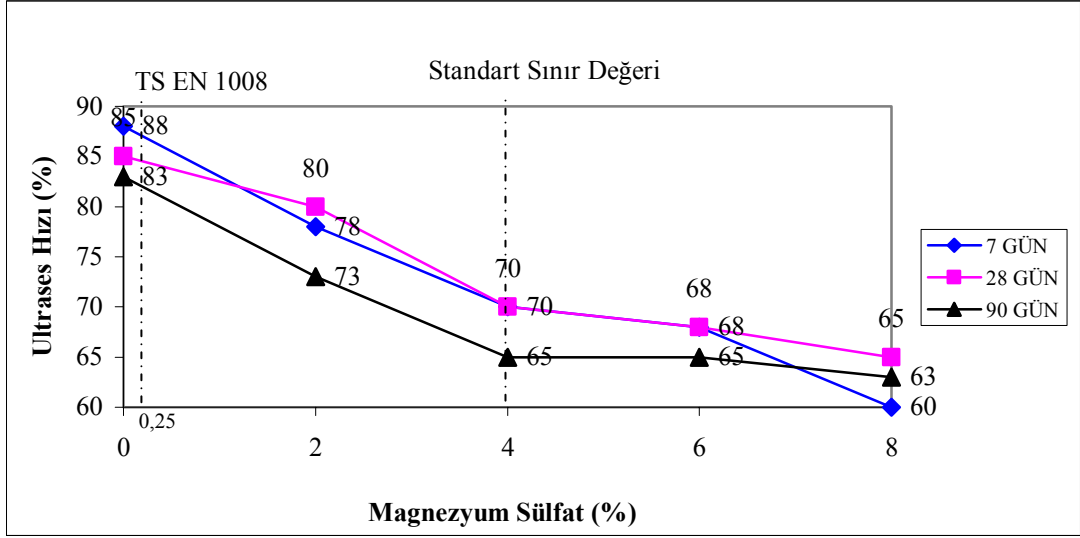
Şekil 5.98: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



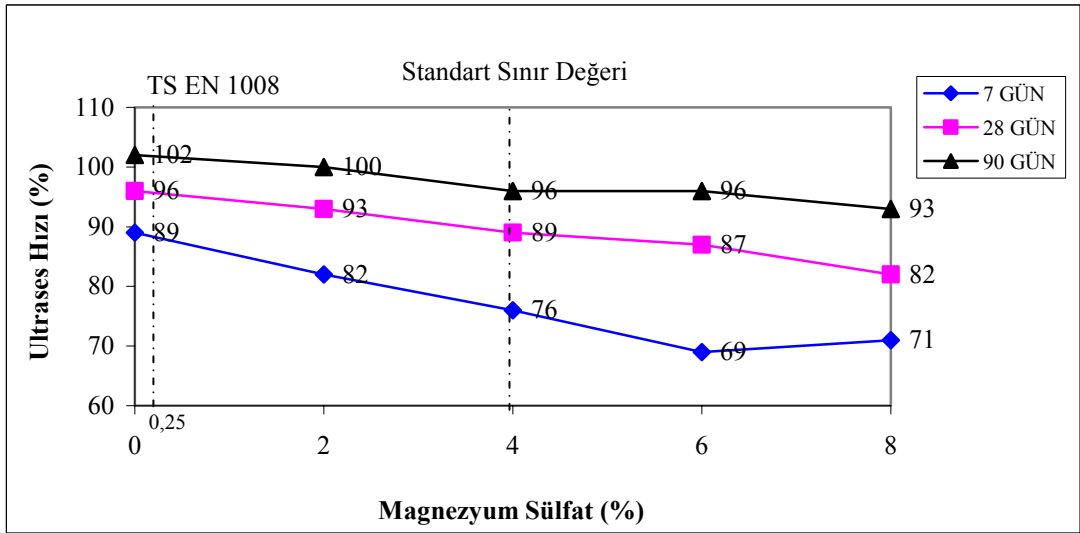
Şekil 5.99: %10 uçucu kül içeren betonların ultrasen hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



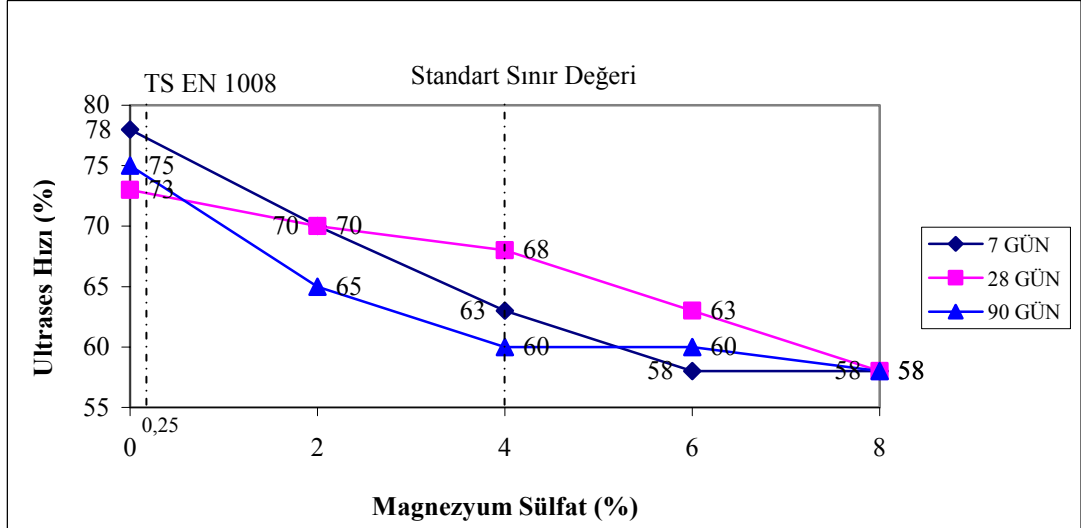
Şekil 5.100: %10 uçucu kül içeren betonların ultrasen hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



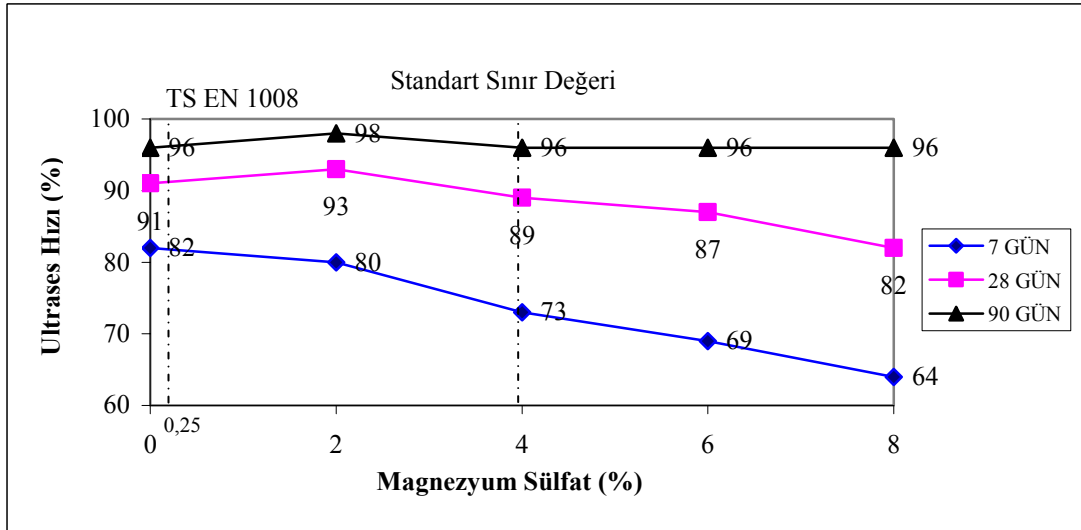
Şekil 5.101: %25 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



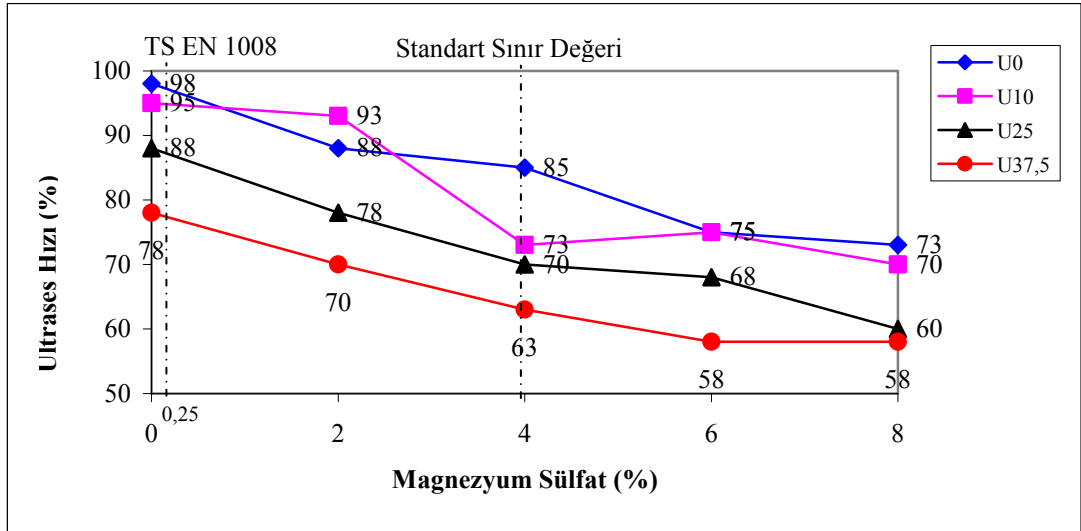
Şekil 5.102: %25 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



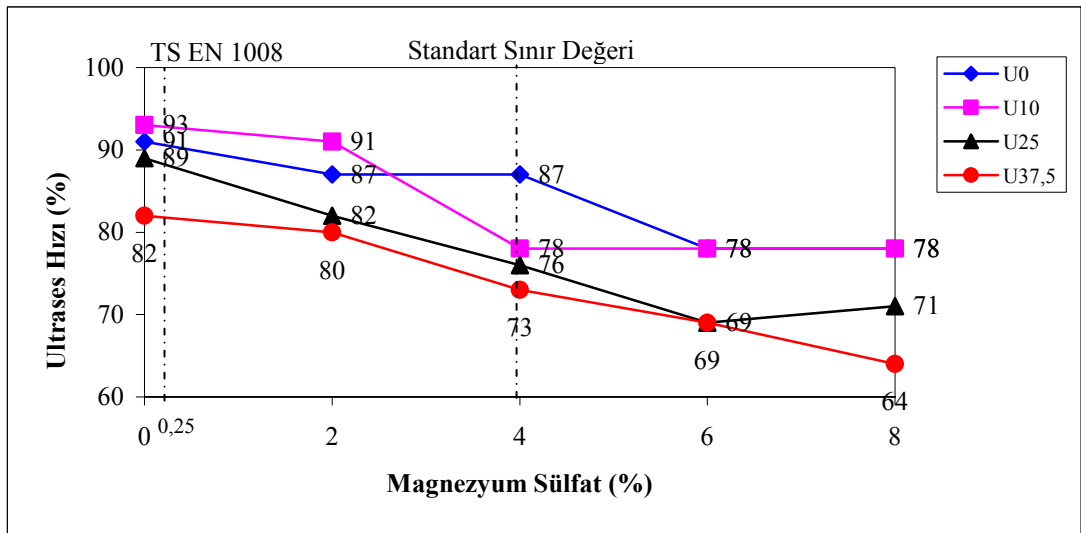
Şekil 5.103: %37.5 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (havada kür edilmiş)



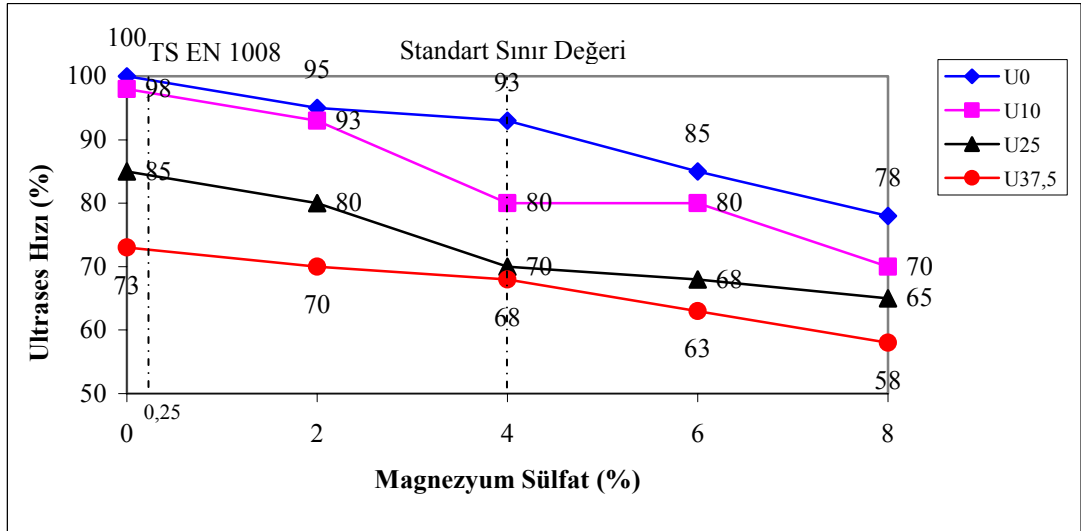
Şekil 5.104: %37.5 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.gündeki değişimleri (suda kür edilmiş)



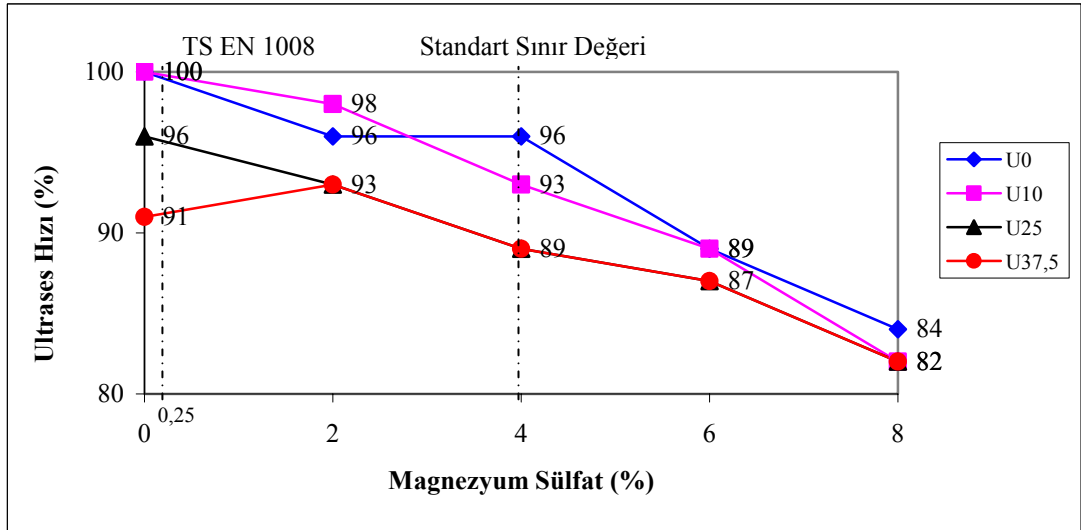
Şekil 5.105: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



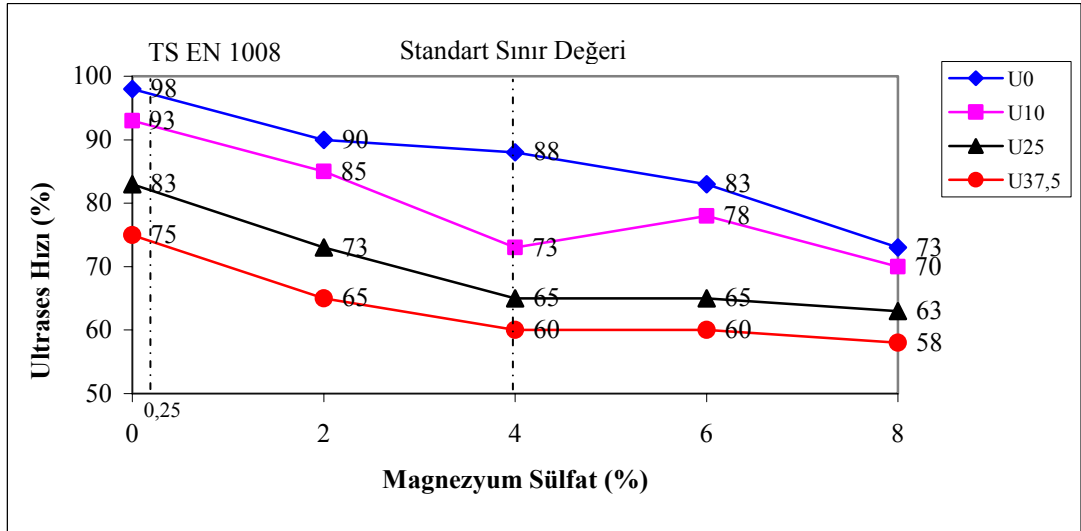
Şekil 5.106: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 7.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



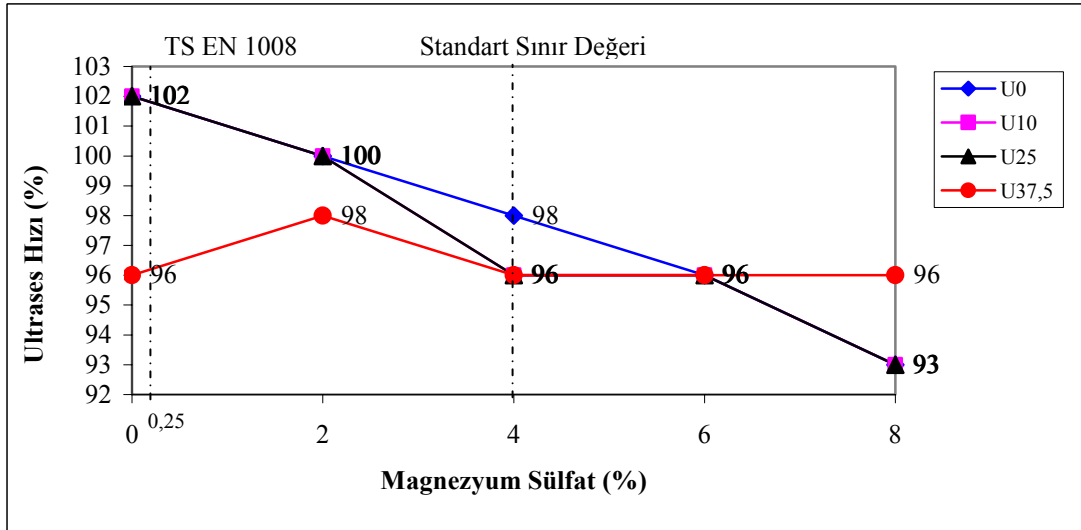
Şekil 5.107: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



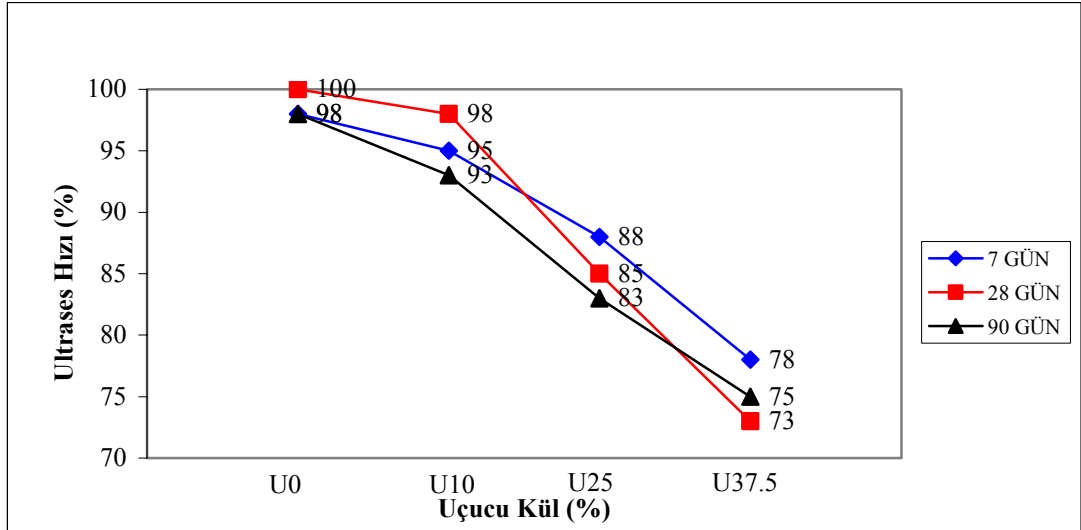
Şekil 5.108: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 28.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



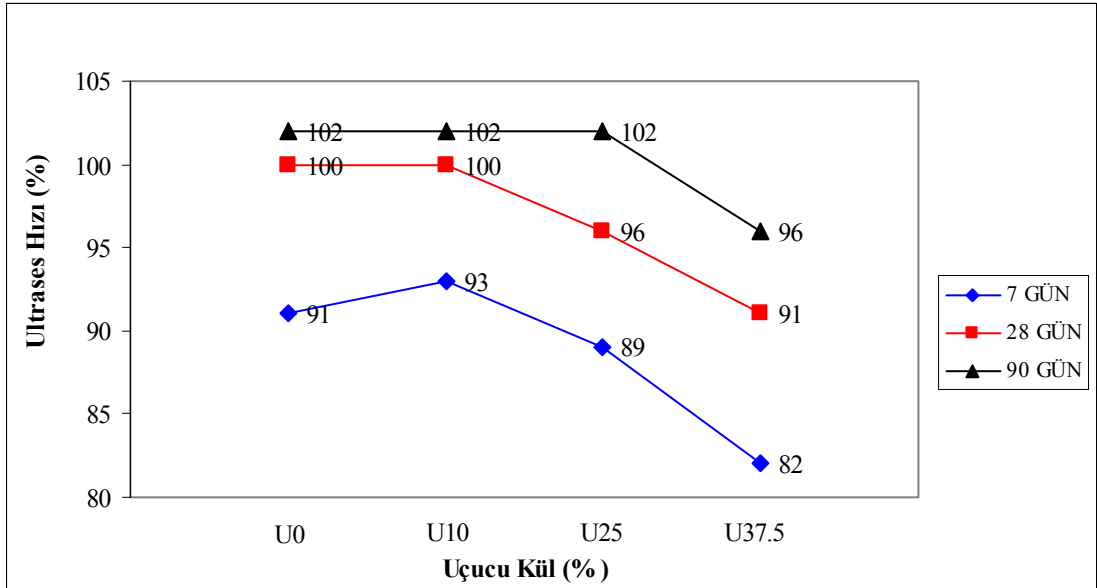
Şekil 5.109: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 90.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



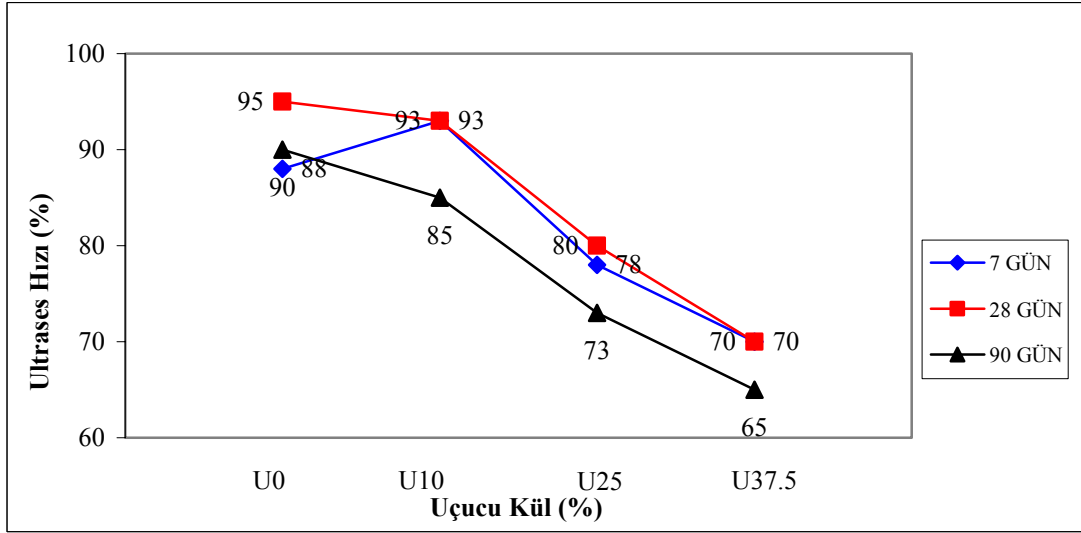
Şekil 5.110: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların 90.gün ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



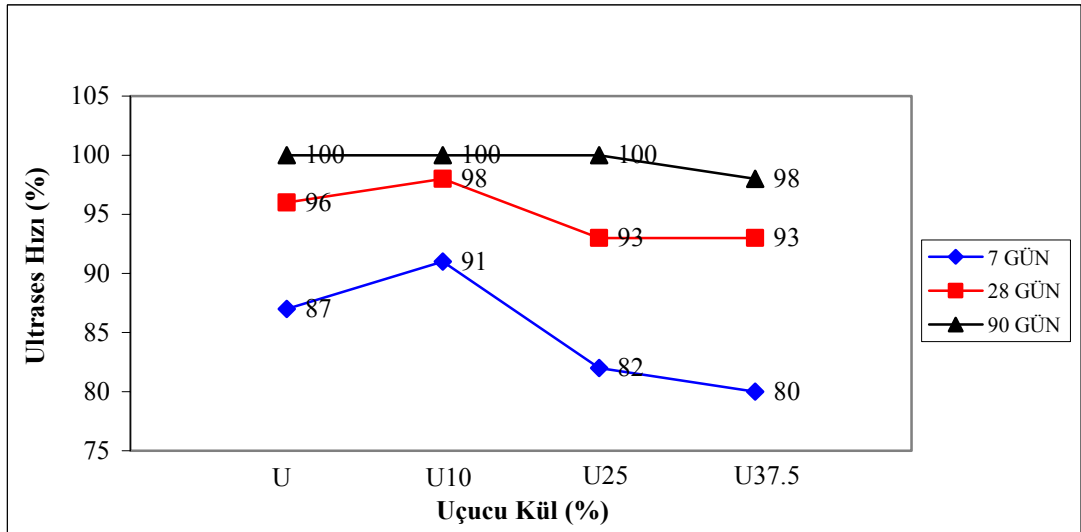
Şekil 5.111: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



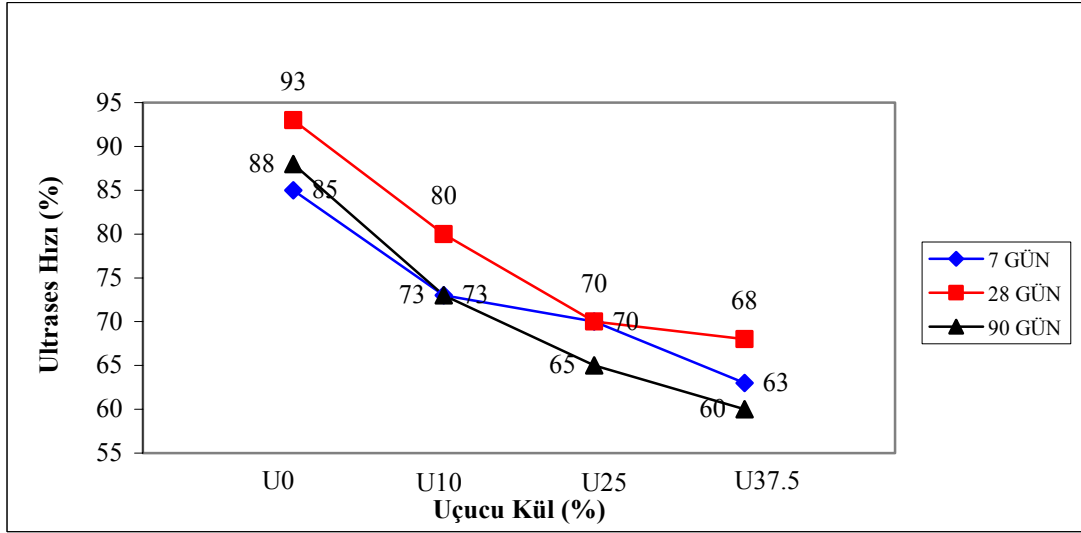
Şekil 5.112: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen uçucu küllü betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



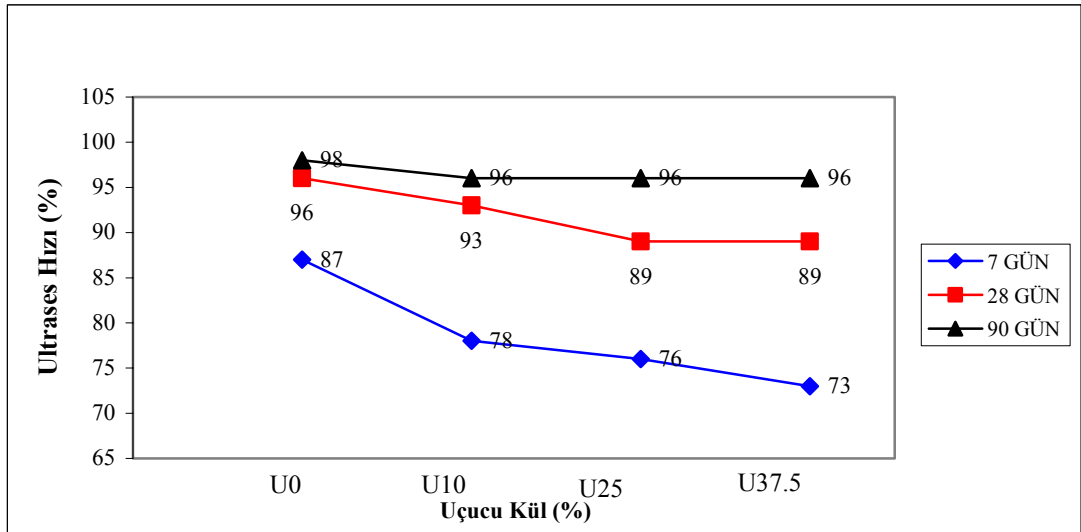
Şekil 5.113: %2 MgSO_4 çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



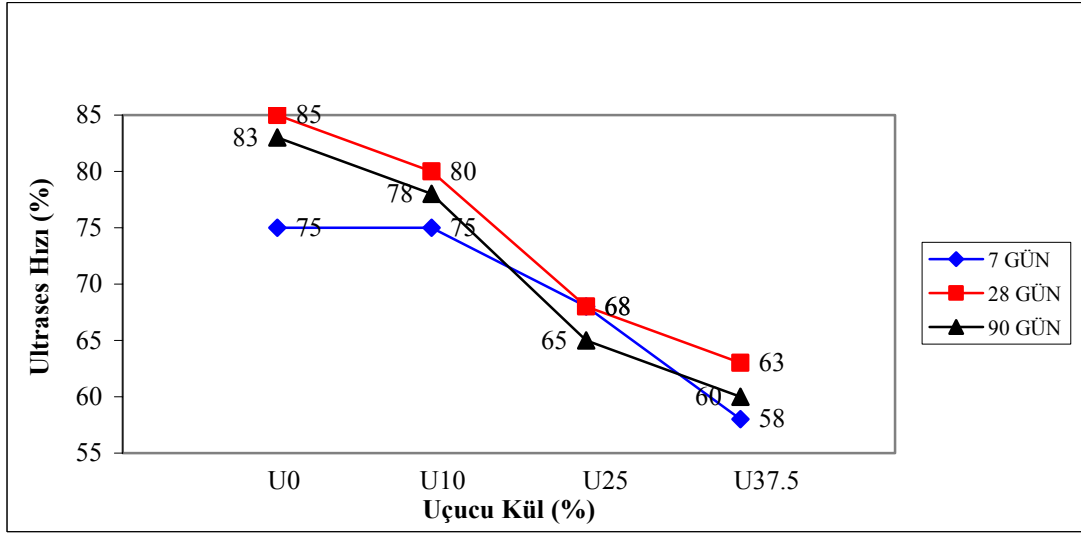
Şekil 5.114: %2 MgSO_4 çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90.günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



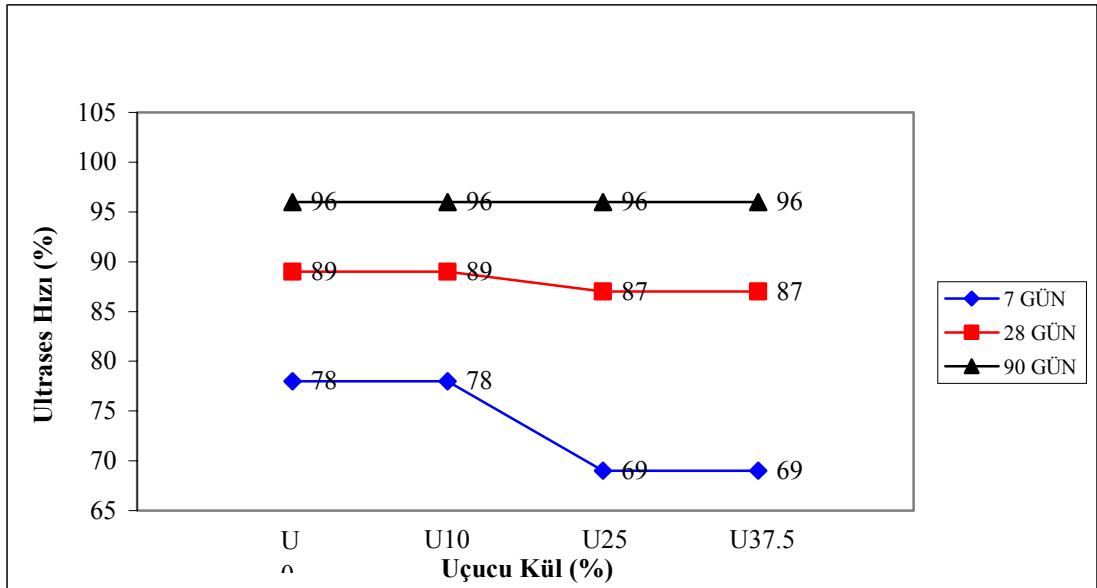
Şekil 5.115: %4 MgSO₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



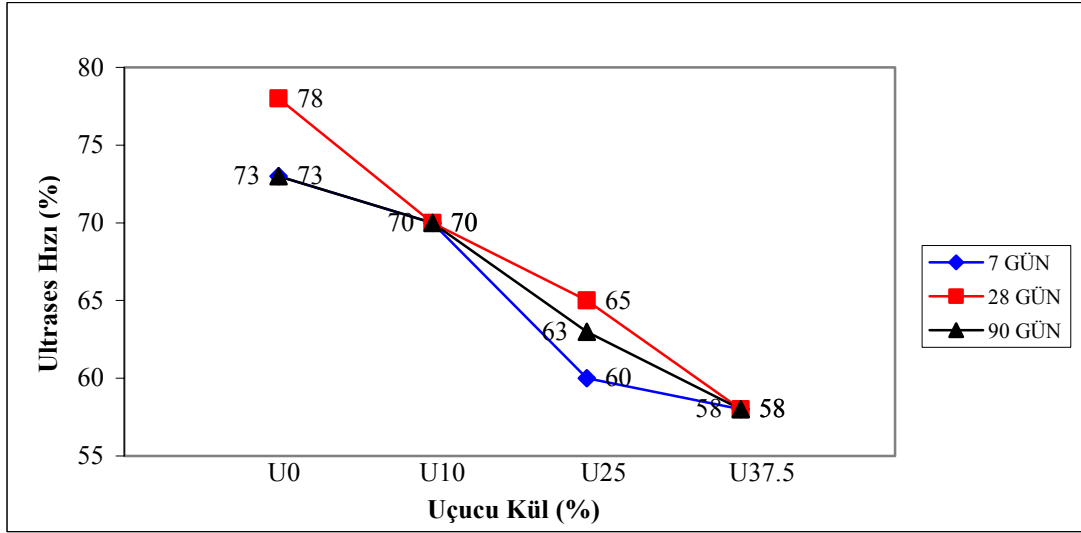
Şekil 5.116: %4 MgSO₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



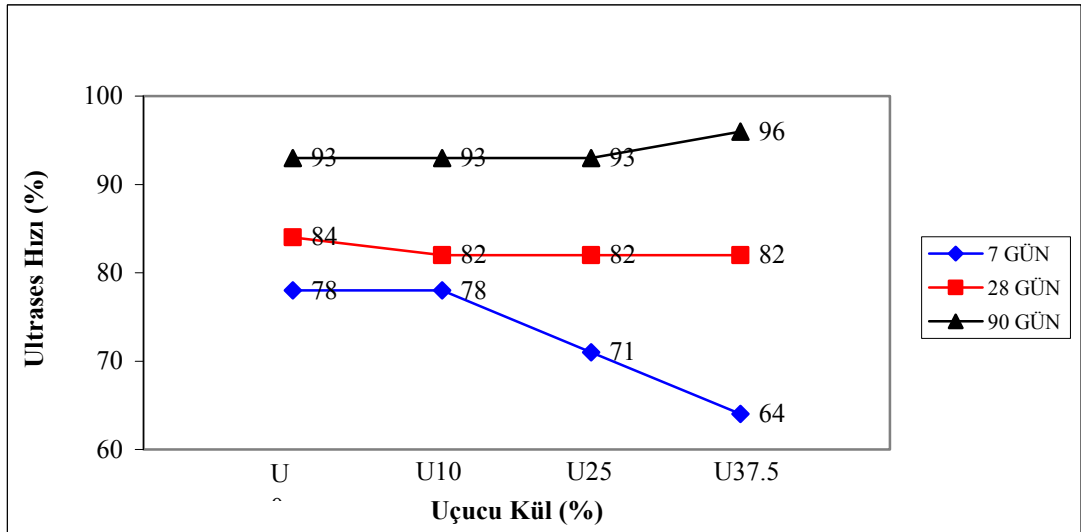
Şekil 5.117: %6 MgSO₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



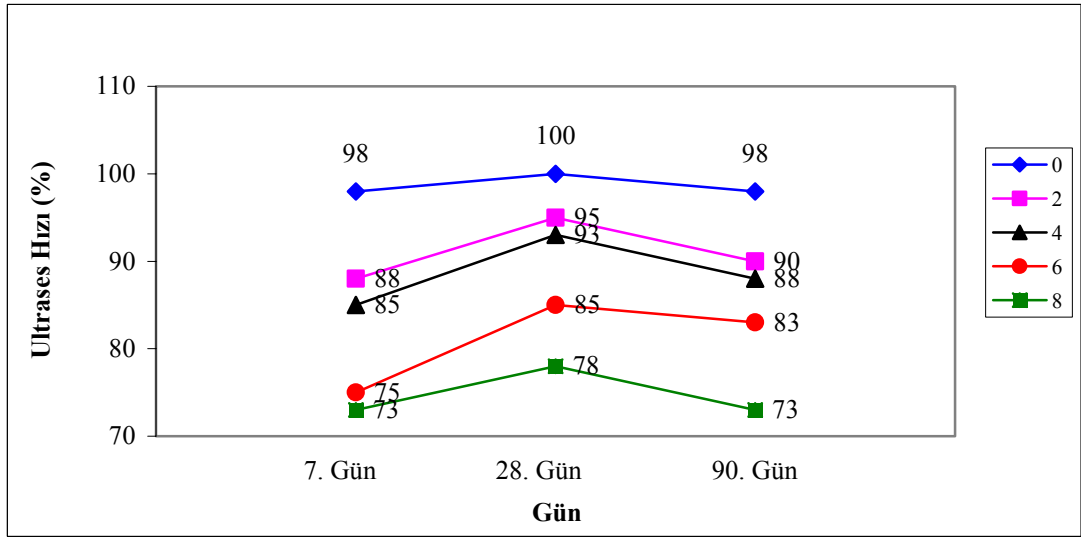
Şekil 5.118: %6 MgSO₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



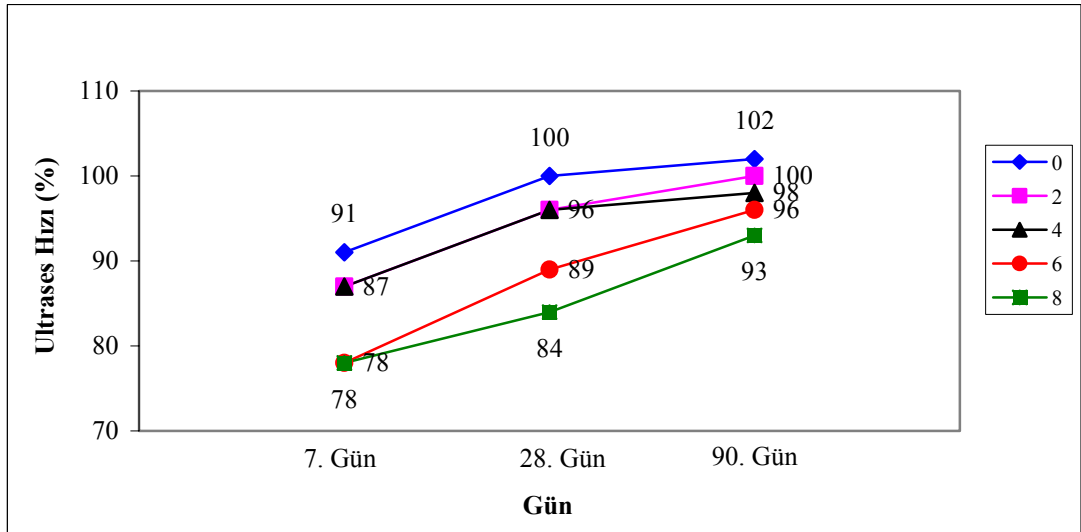
Şekil 5.119: %8 MgSO_4 çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



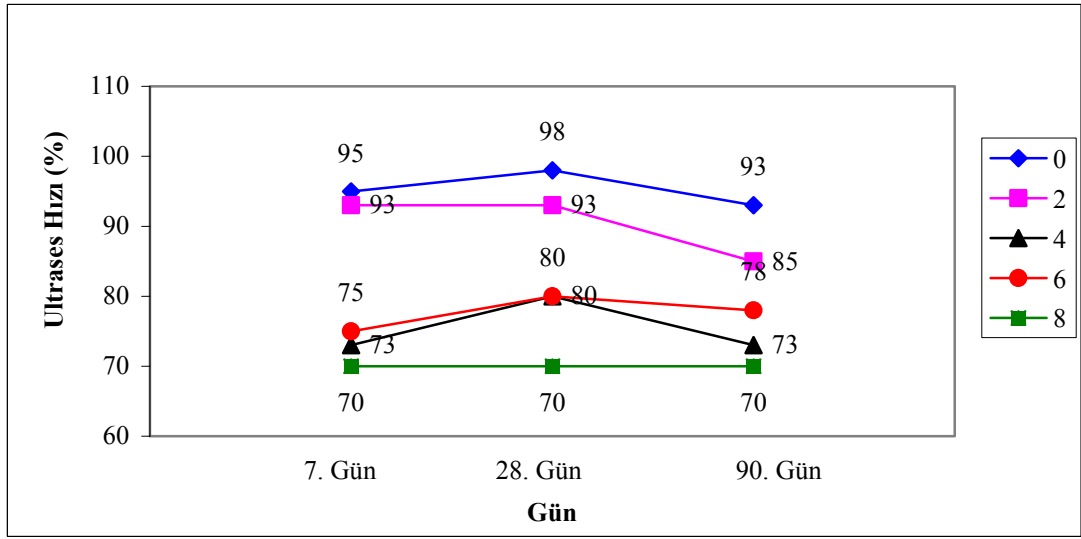
Şekil 5.120: %8 MgSO_4 çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



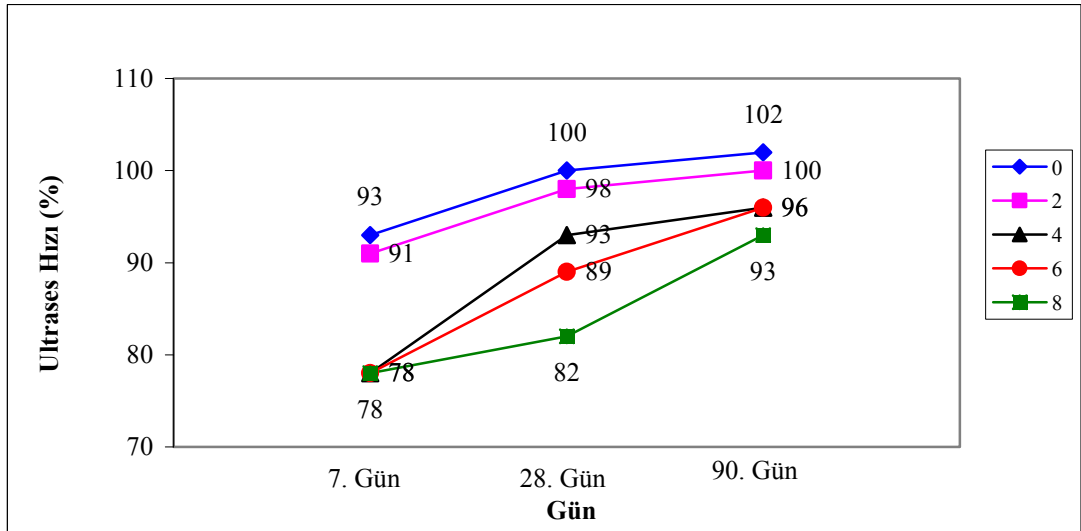
Şekil 5.121: Kontrol betonu ve MgSO_4 çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO_4 yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



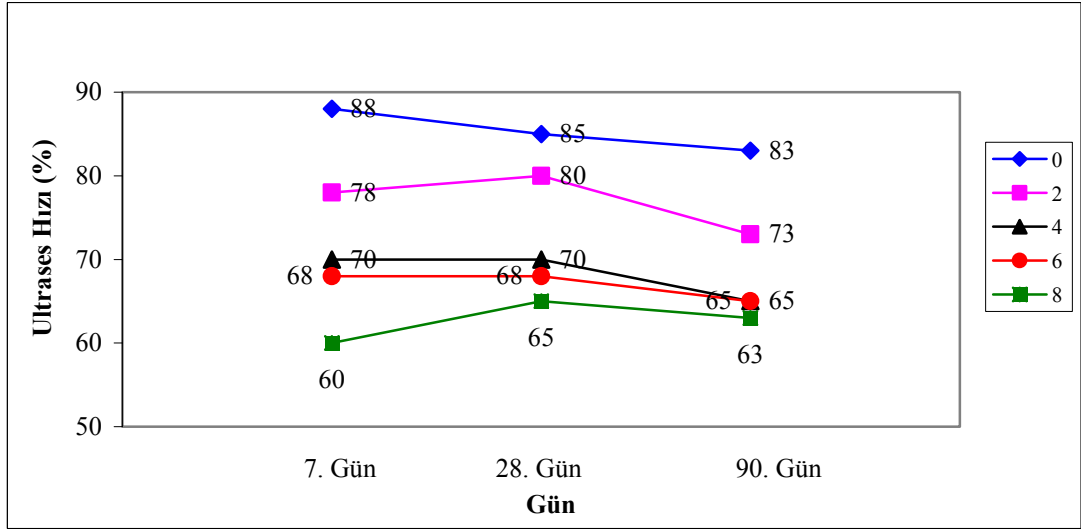
Şekil 5.122: Kontrol betonu ve MgSO_4 çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin MgSO_4 yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



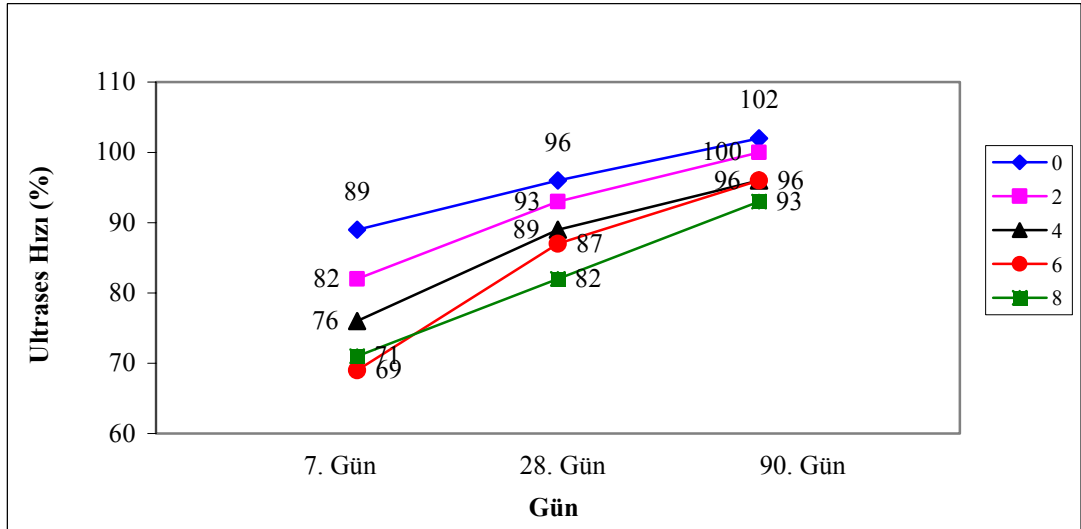
Şekil 5.123: %10 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



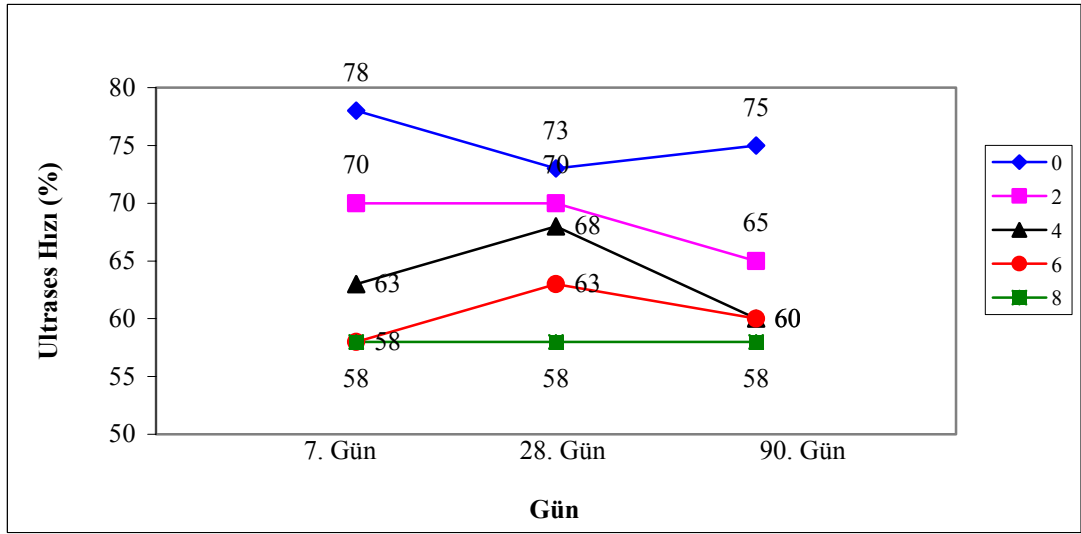
Şekil 5.124: %10 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



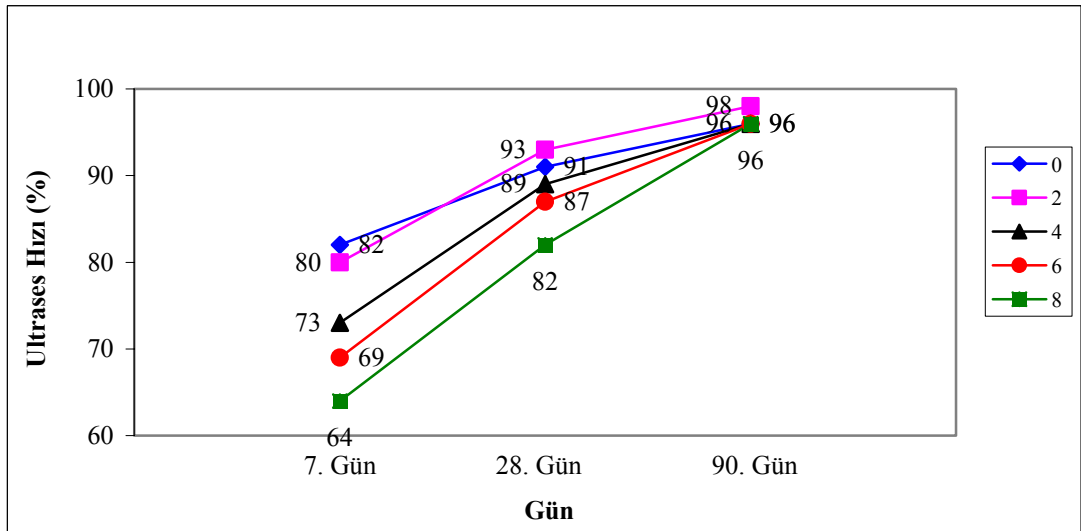
Şekil 5.125: %25 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



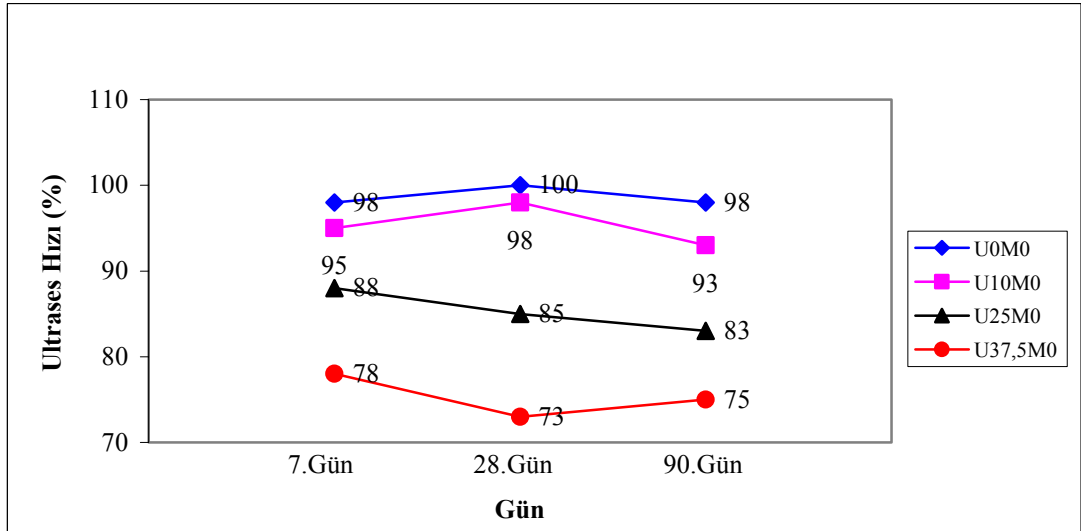
Şekil 5.126: %25 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



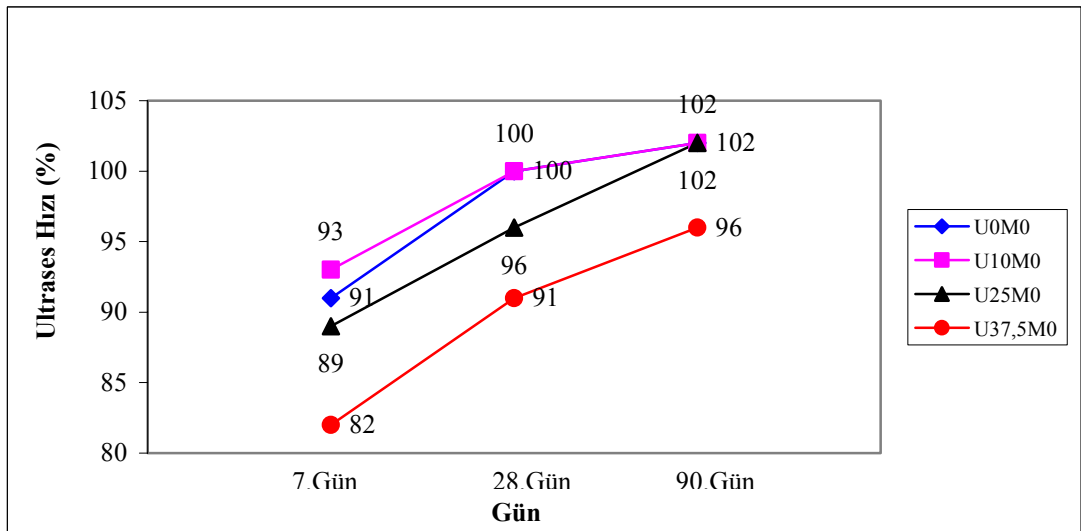
Şekil 5.127: %37.5 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



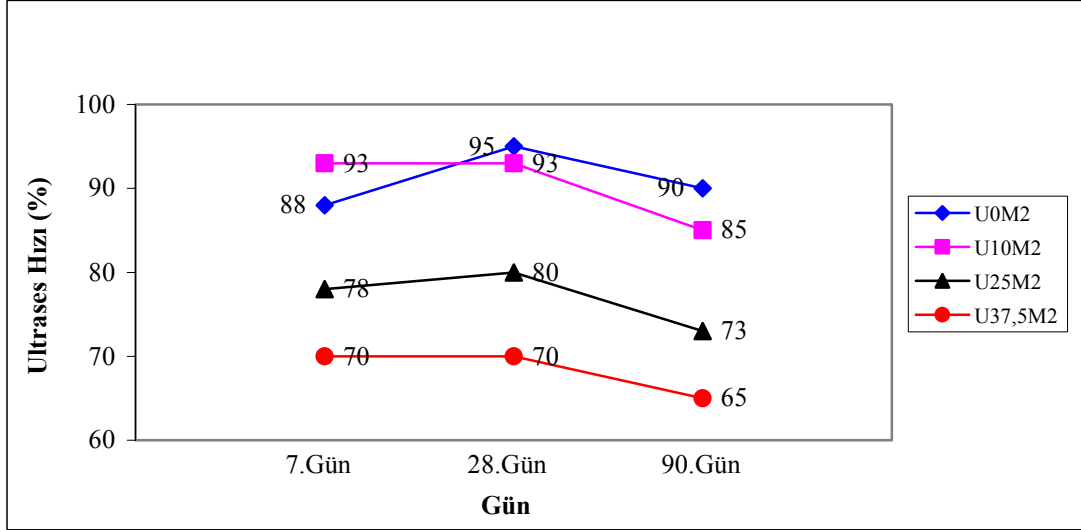
Şekil 5.128: %37.5 uçucu kül içeren betonların ultrases hızı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



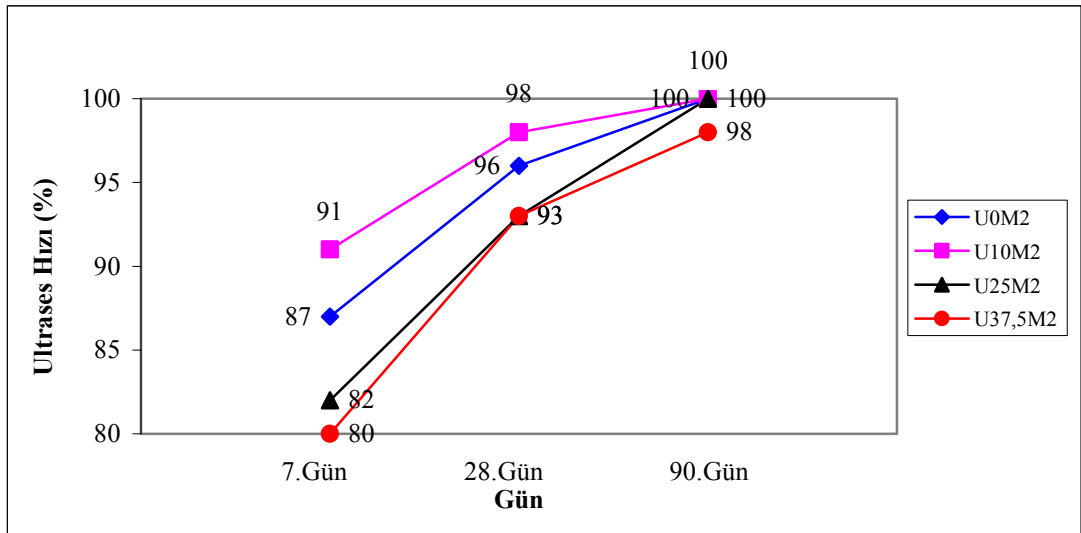
Şekil 5.129: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



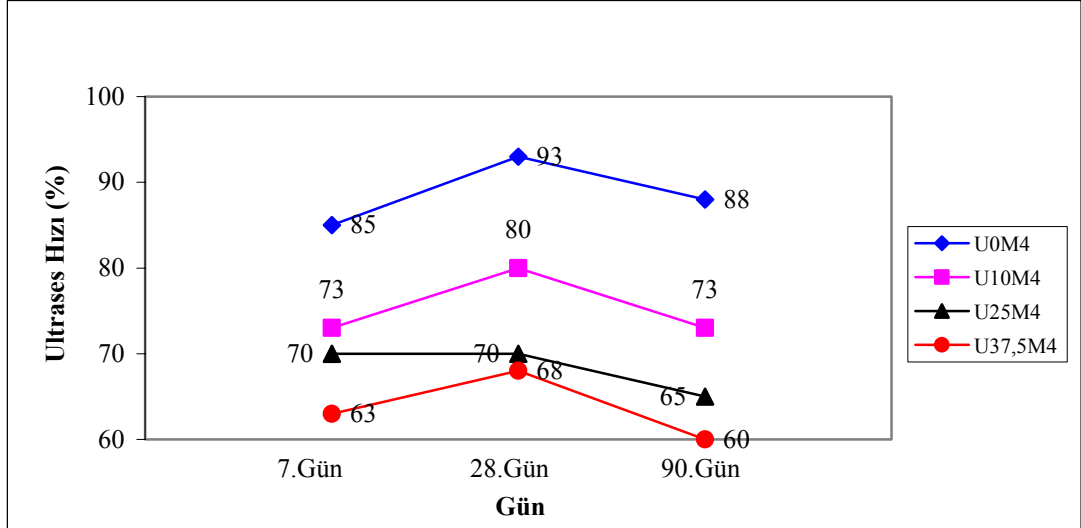
Şekil 5.130: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltisi içermeyen betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



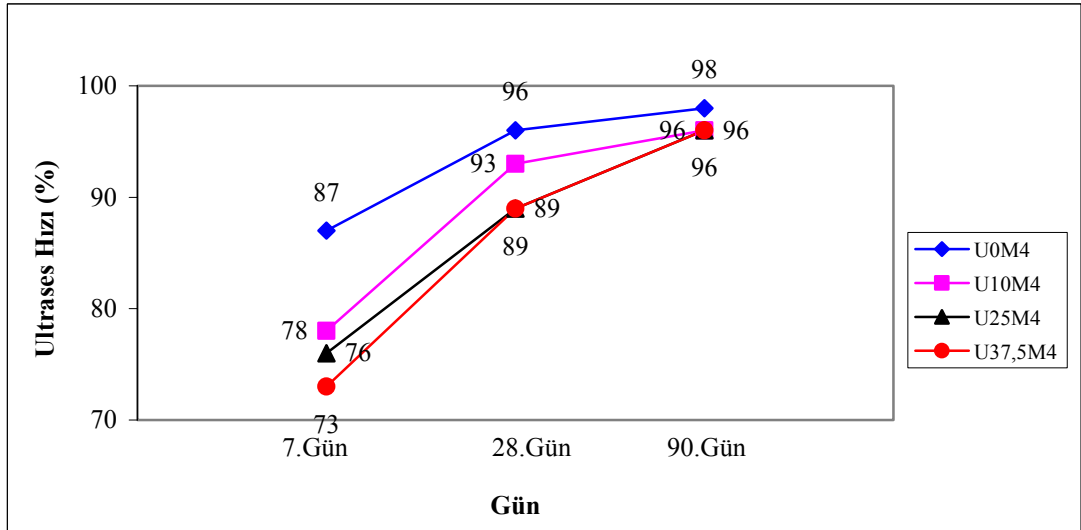
Şekil 5.131: %2 $MgSO_4$ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



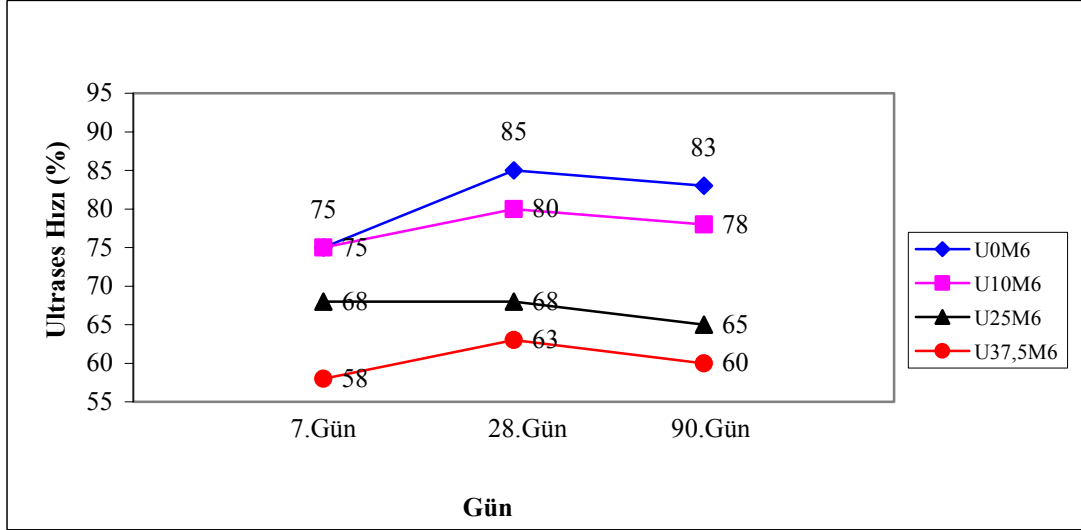
Şekil 5.132: %2 $MgSO_4$ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



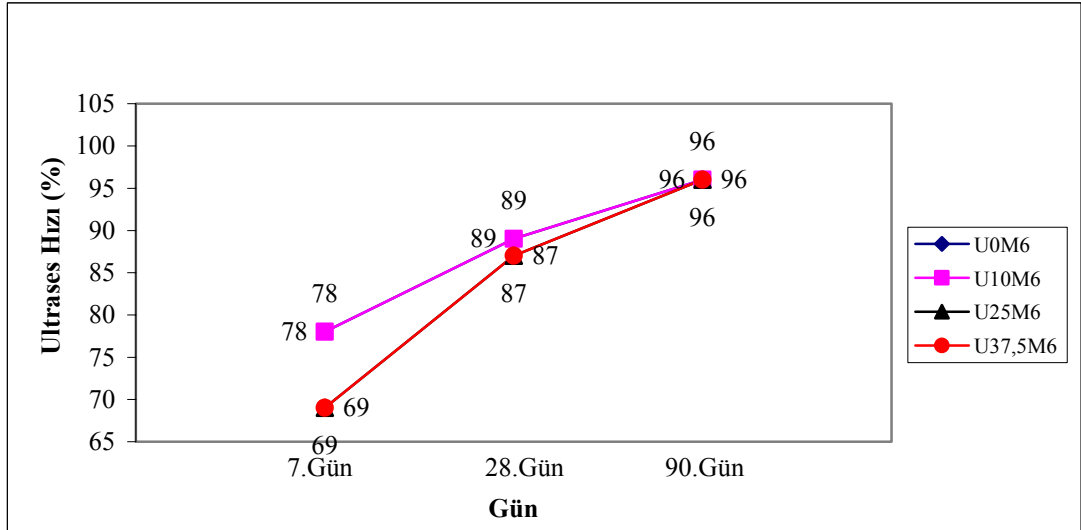
Şekil 5.133: %4 MgSO₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



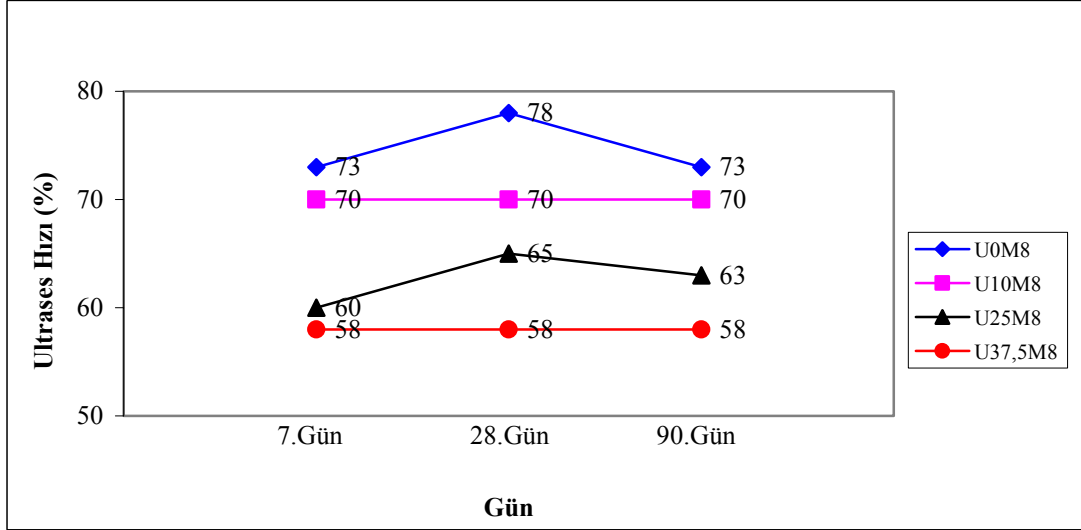
Şekil 5.134: %4 MgSO₄ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



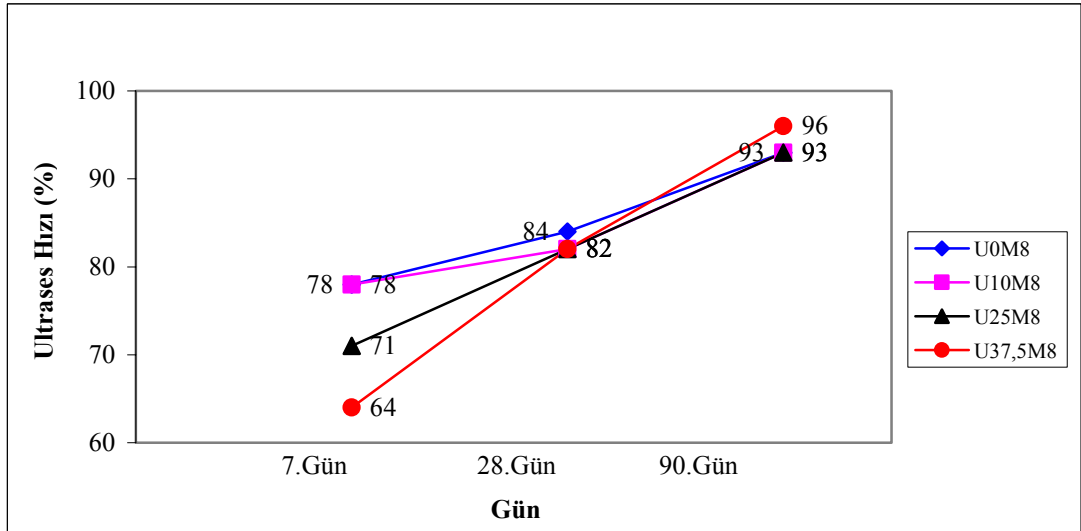
Şekil 5.135: %6 $MgSO_4$ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



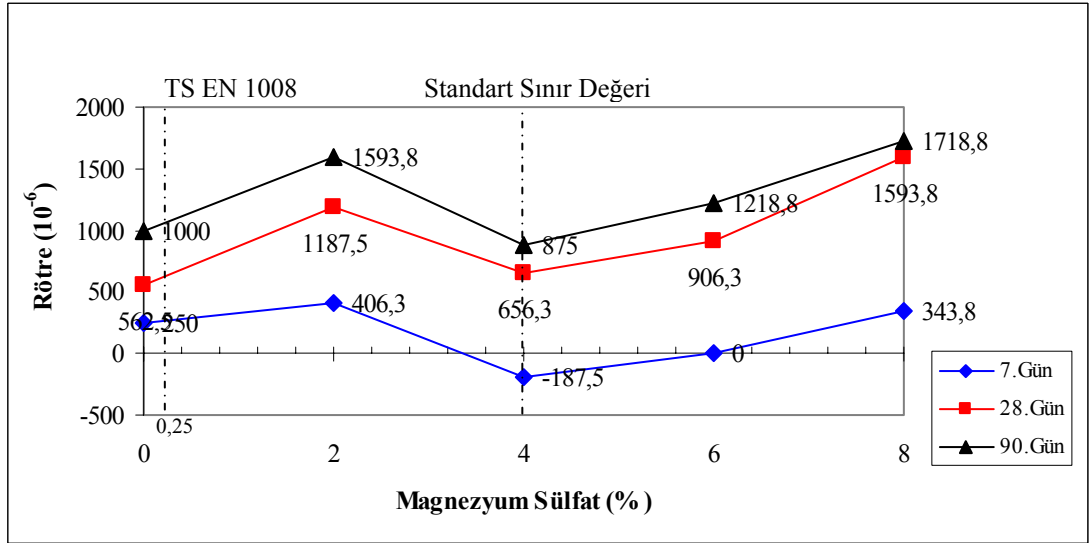
Şekil 5.136: %6 $MgSO_4$ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



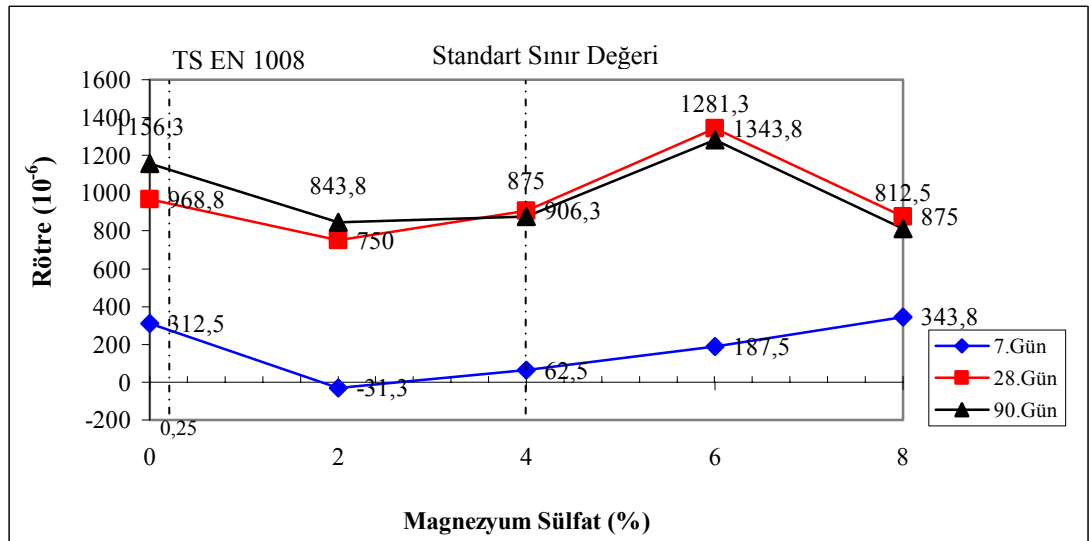
Şekil 5.137: %8 $MgSO_4$ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



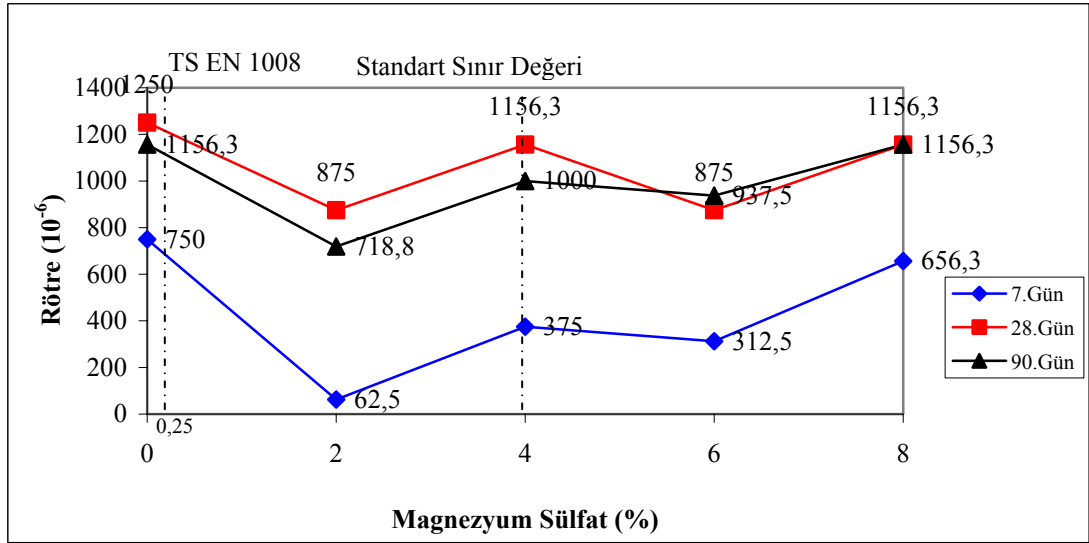
Şekil 5.138: %8 $MgSO_4$ çözeltili betonların ultrases hızı değerlerinin uçucu kül yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



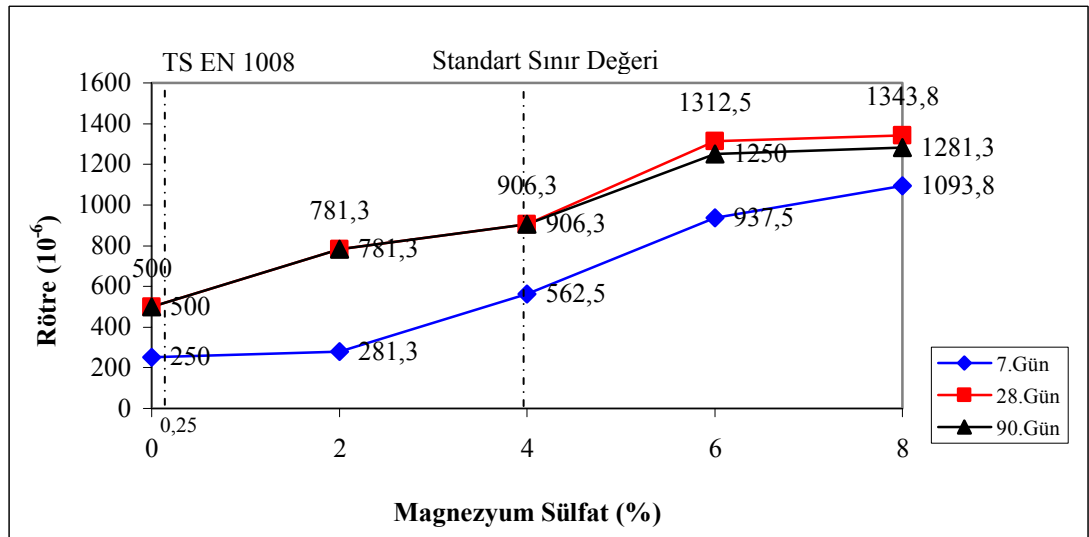
Şekil 5.139: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların rötre değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri



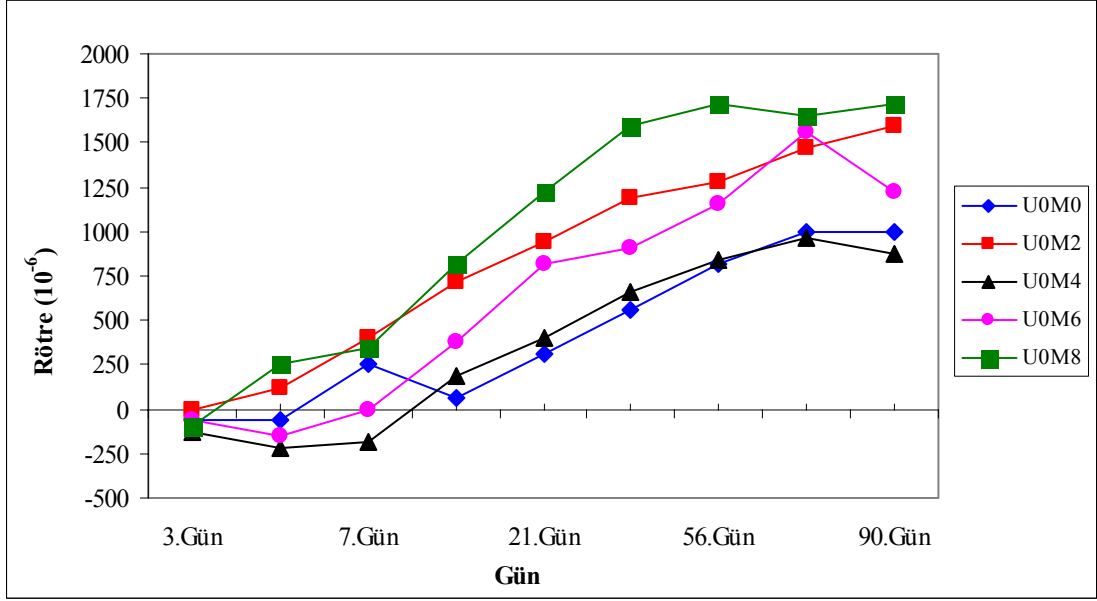
Şekil 5.140: %10 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri



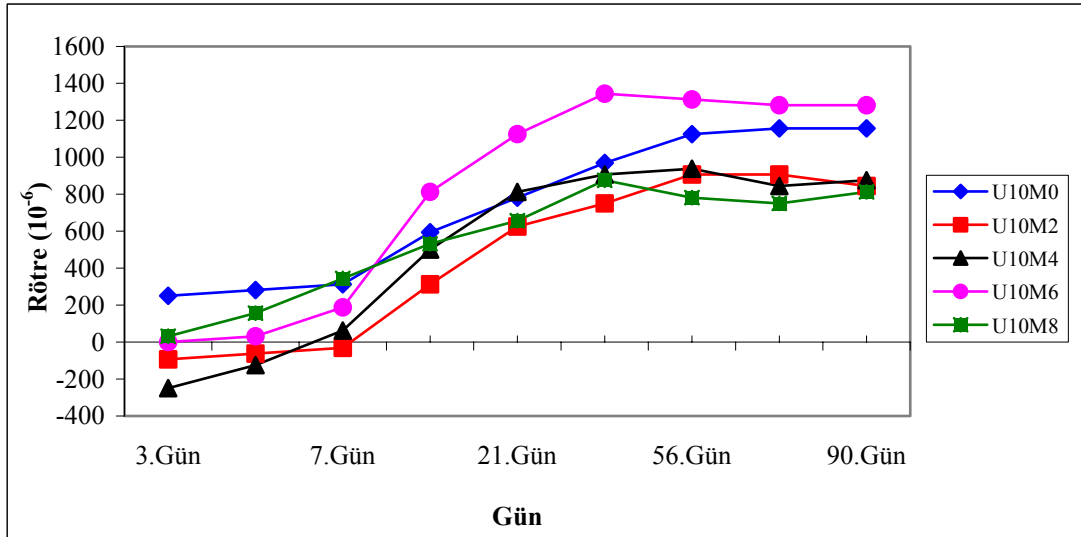
Şekil 5.141: %25 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri



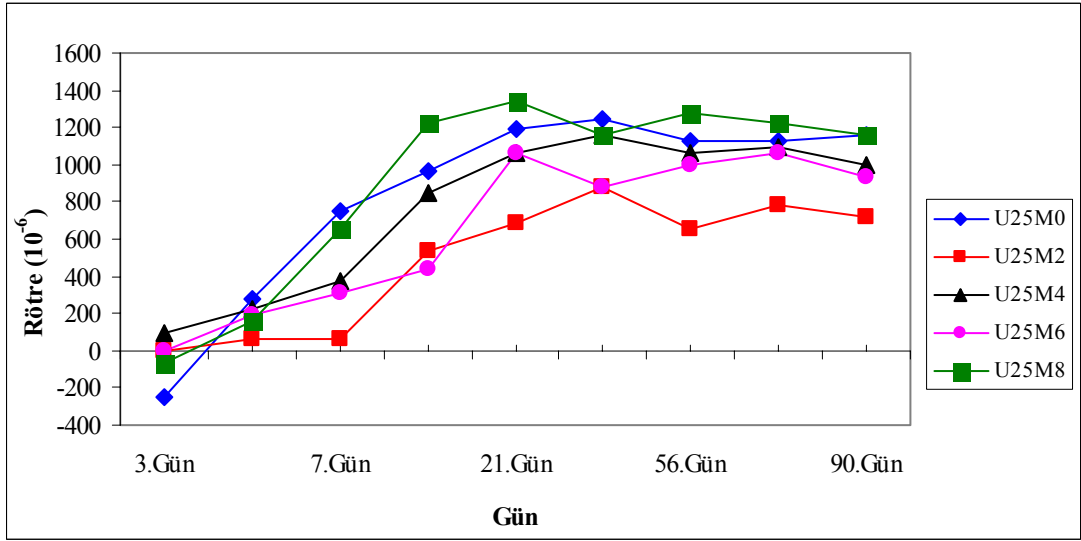
Şekil 5.142: %37.5 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri



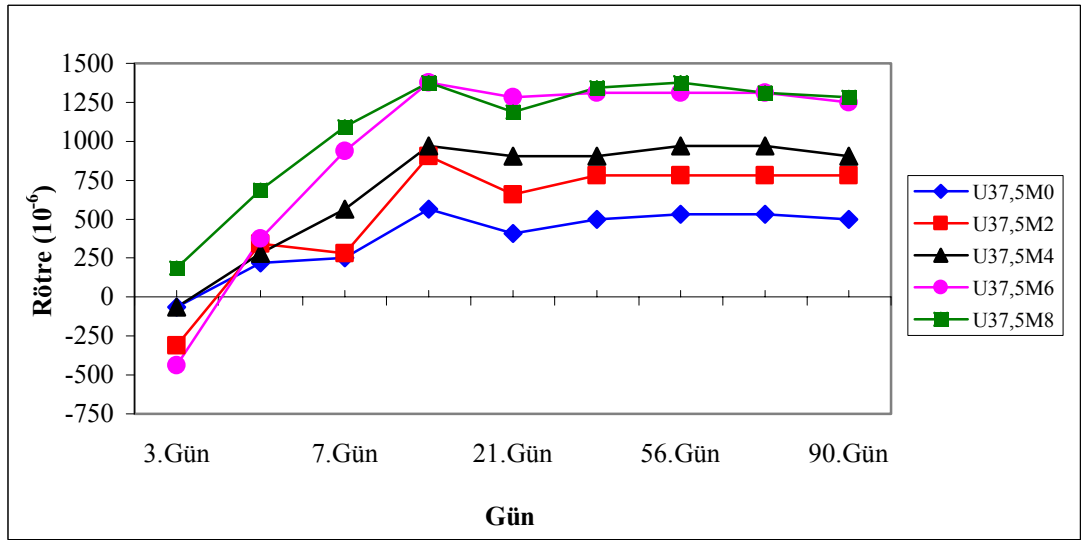
Şekil 5.143: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların rötre değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri



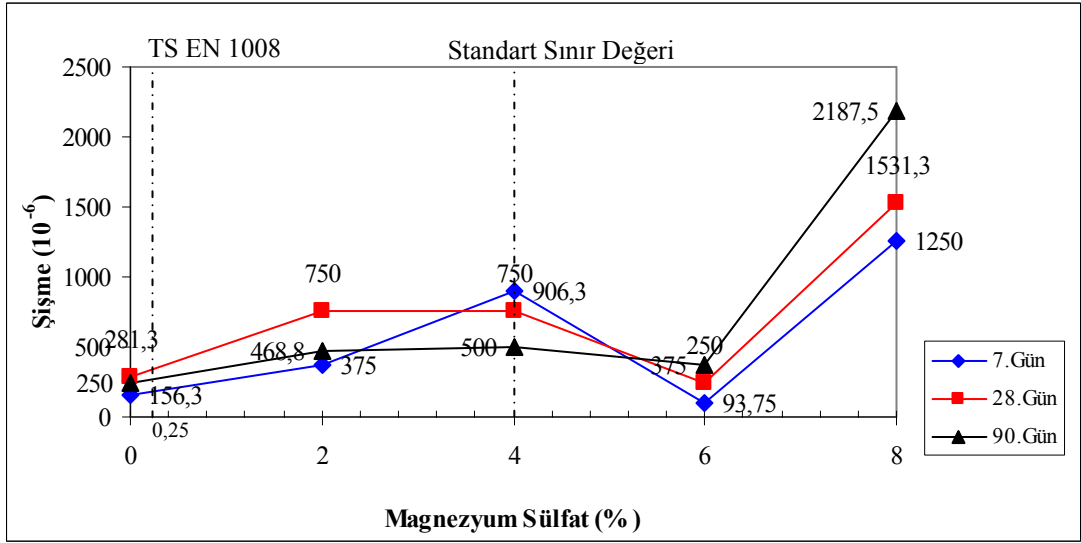
Şekil 5.144: %10 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri



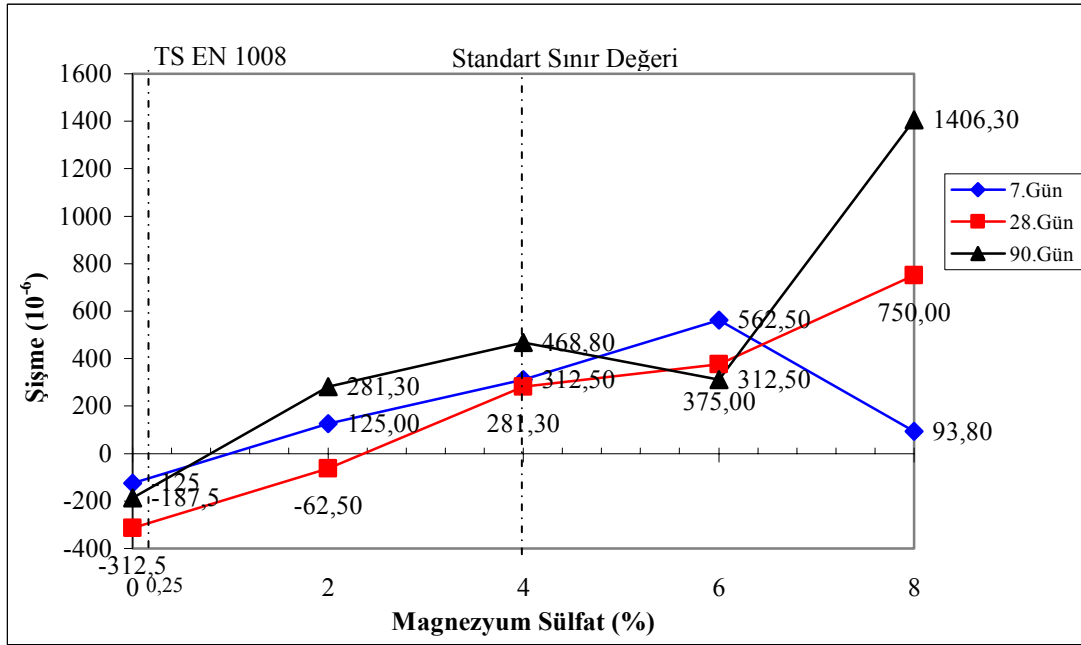
Şekil 5.145: %25 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri



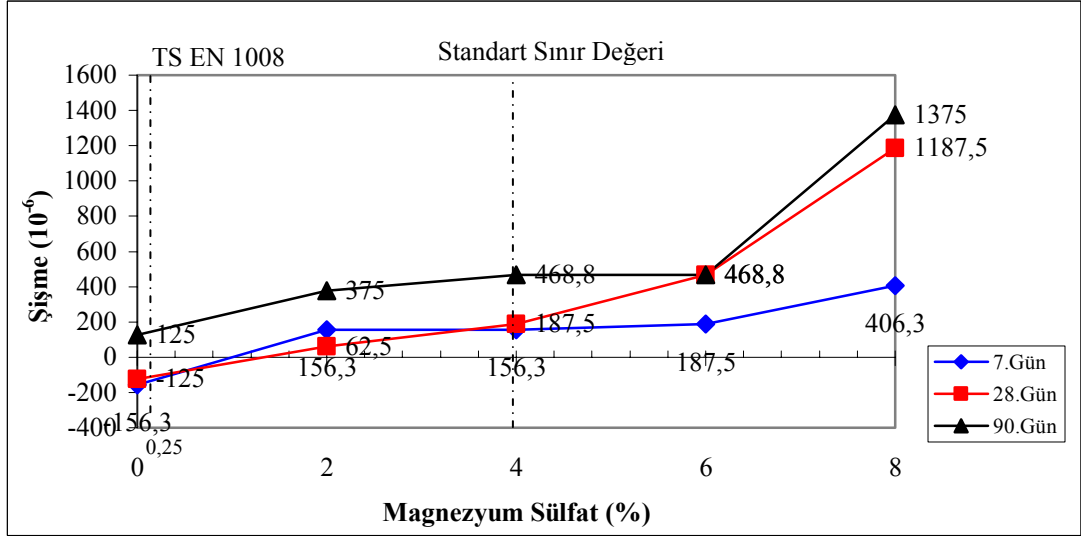
Şekil 5.146: %37.5 uçucu kül içeren betonların rötre değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri



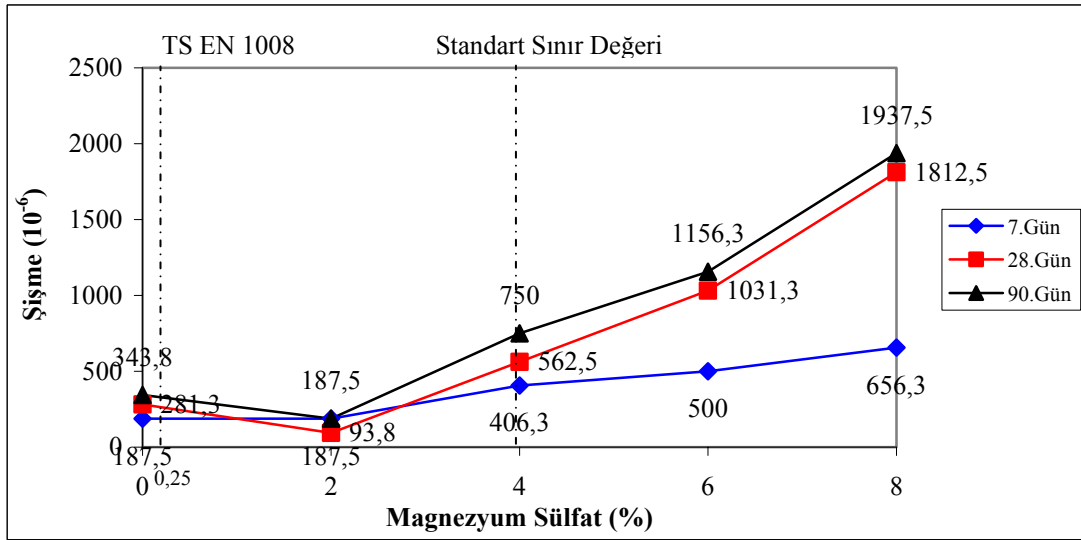
Şekil 5.147: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların şişme değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri



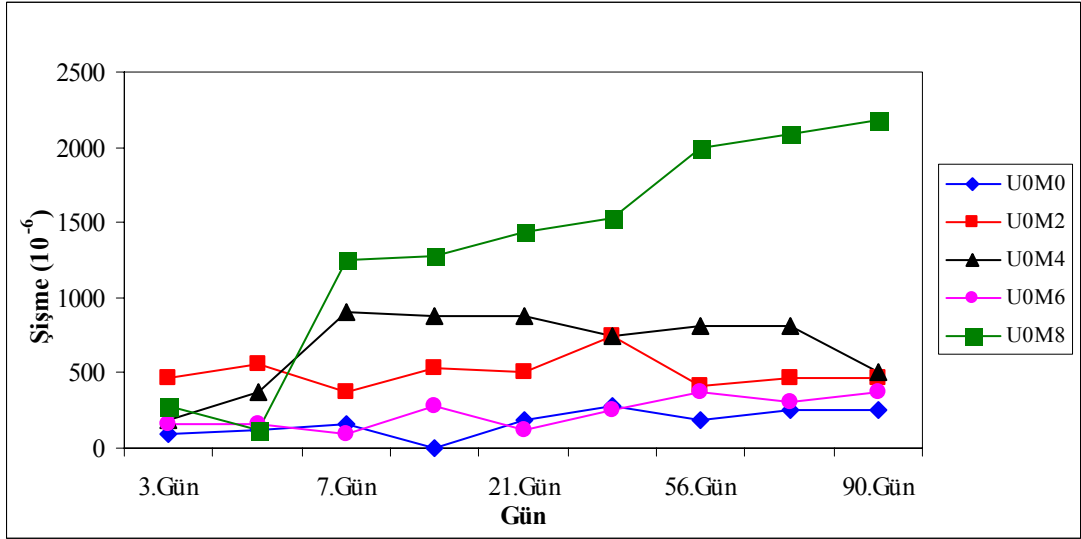
Şekil 5.148: %10 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri



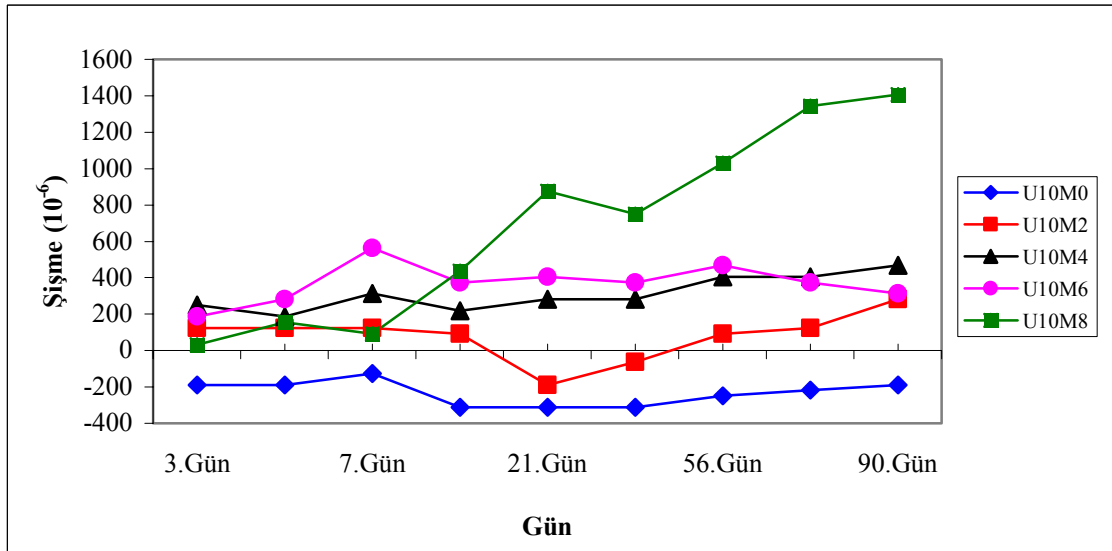
Şekil 5.149: %25 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri



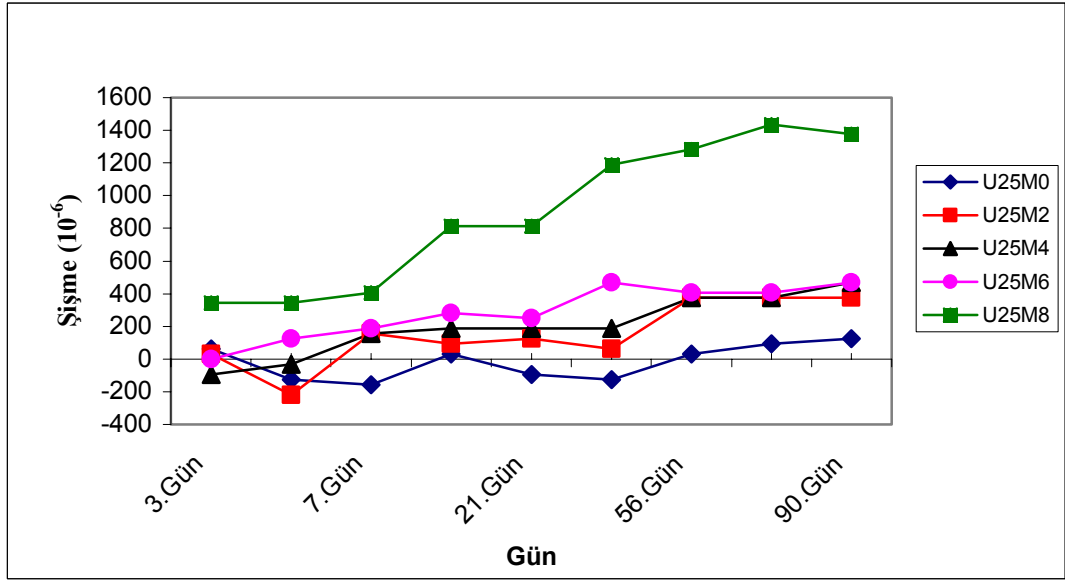
Şekil 5.150: %37.5 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 7, 28 ve 90. günlerdeki değişimleri



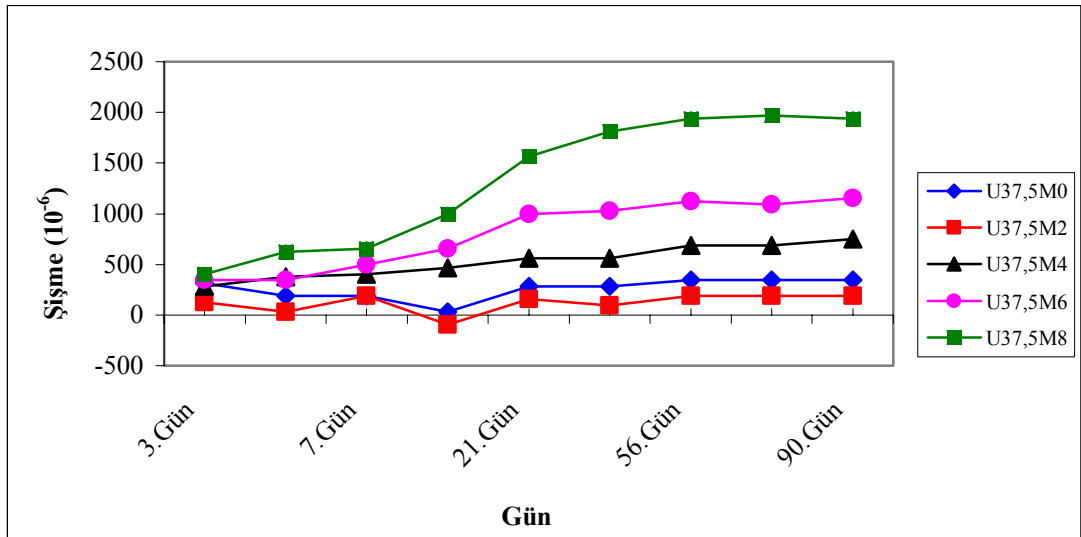
Şekil 5.151: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların şişme değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri



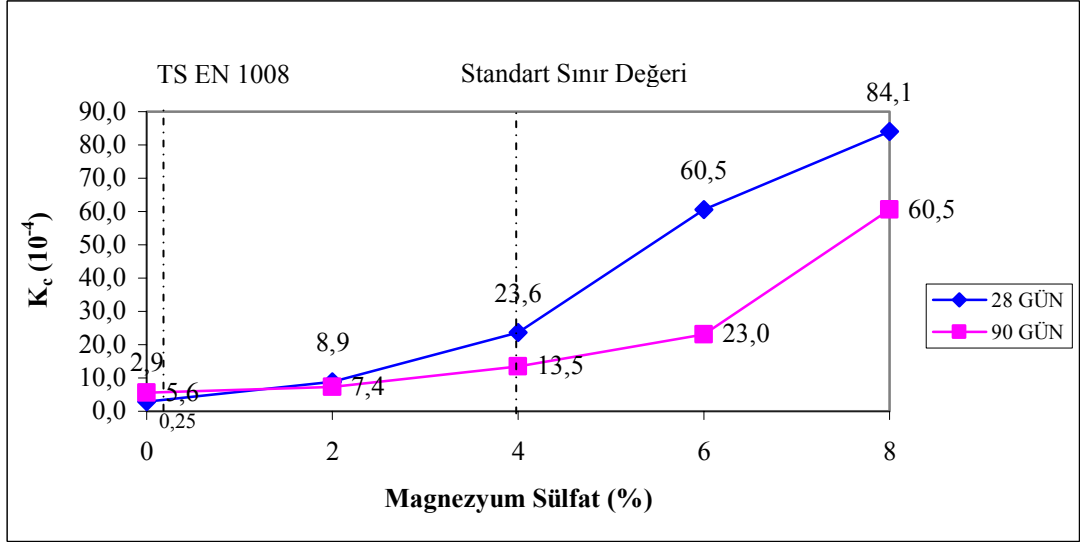
Şekil 5.152: %10 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri



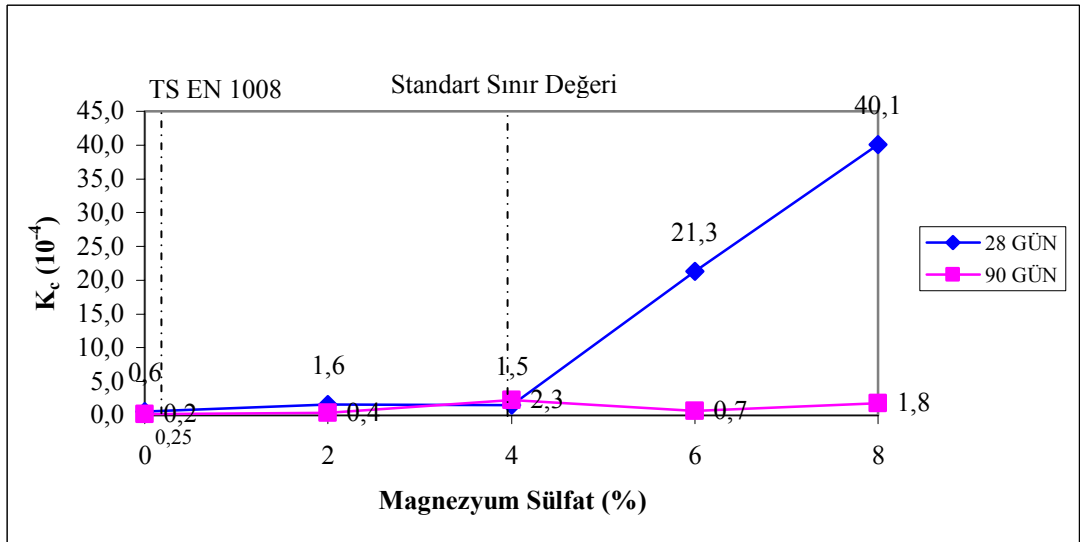
Şekil 5.153: %25 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri



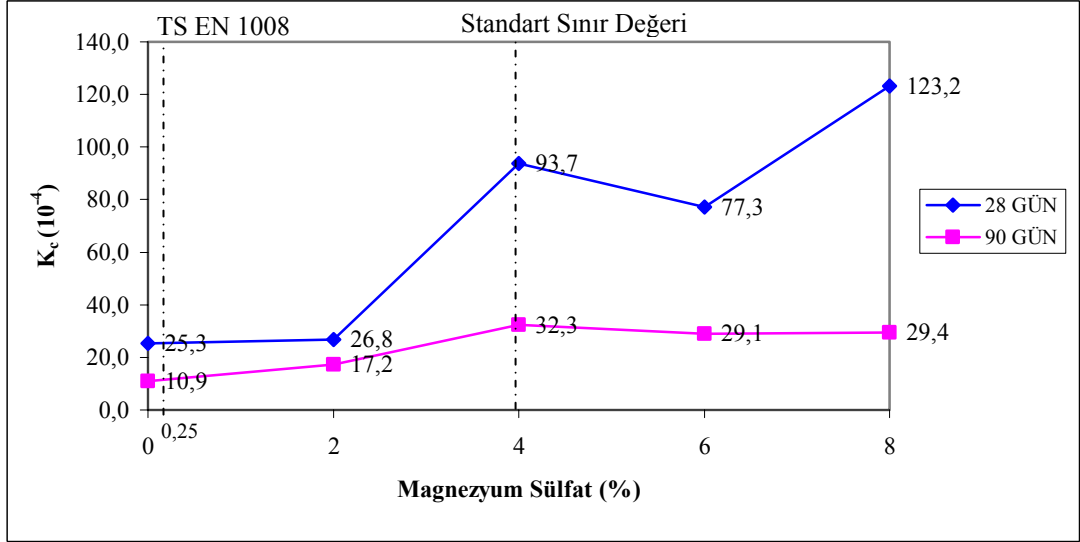
Şekil 5.154: %37.5 uçucu kül içeren betonların şişme değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelerindeki değişimleri



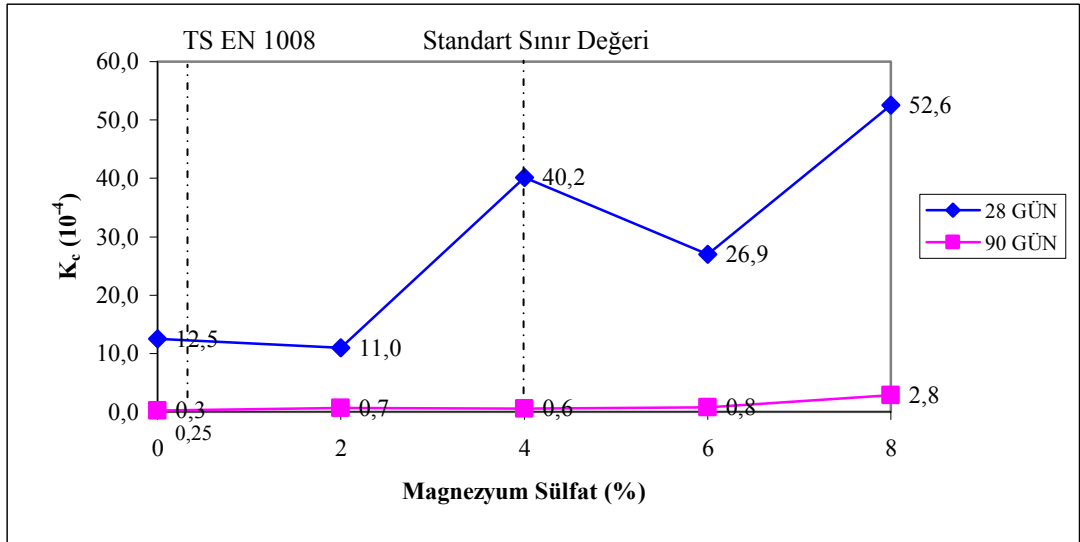
Şekil 5.155: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların kılcalılık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



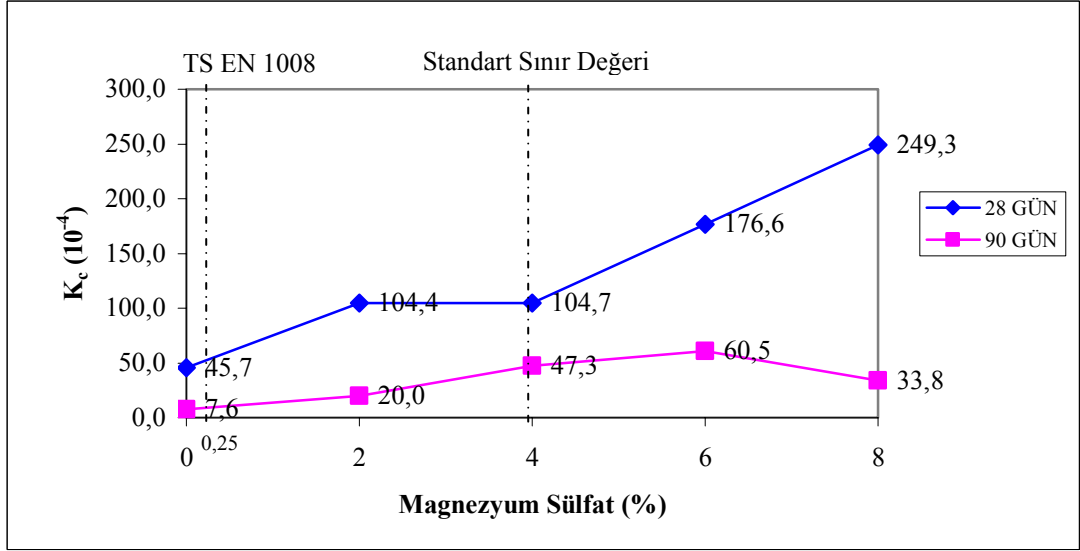
Şekil 5.156: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların kılcalılık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



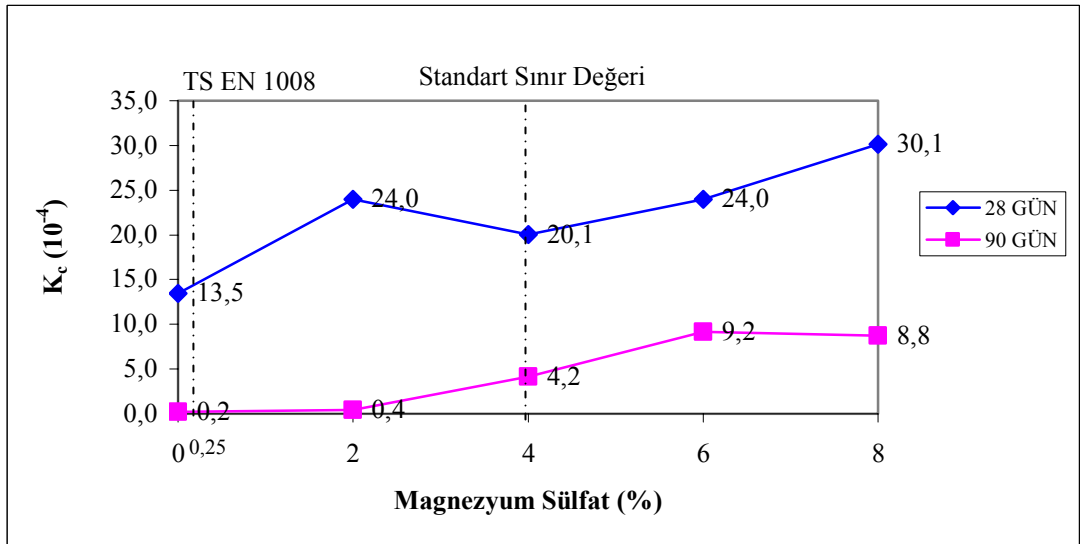
Şekil 5.157: %10 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



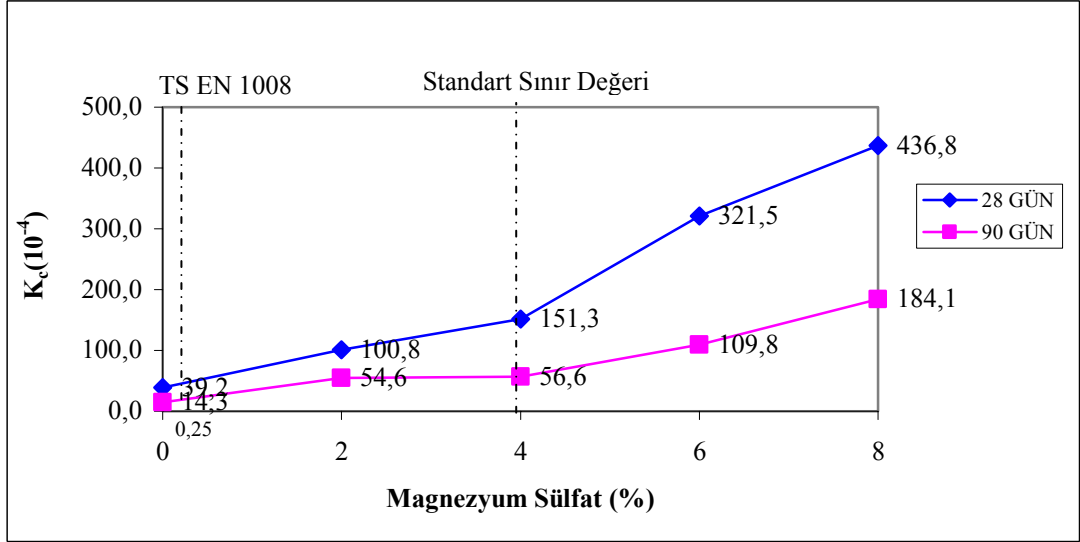
Şekil 5.158: %10 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



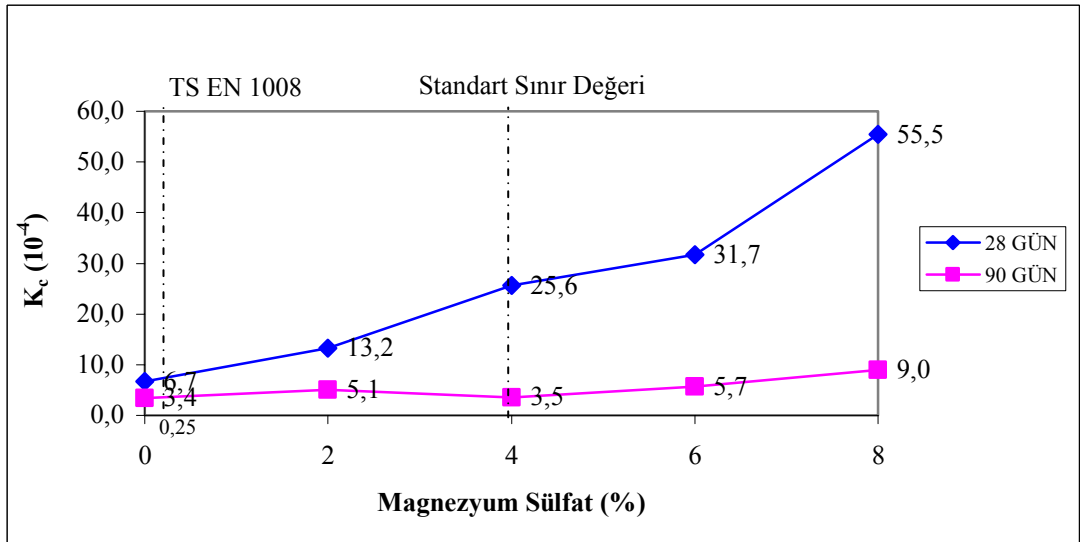
Şekil 5.159: %25 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



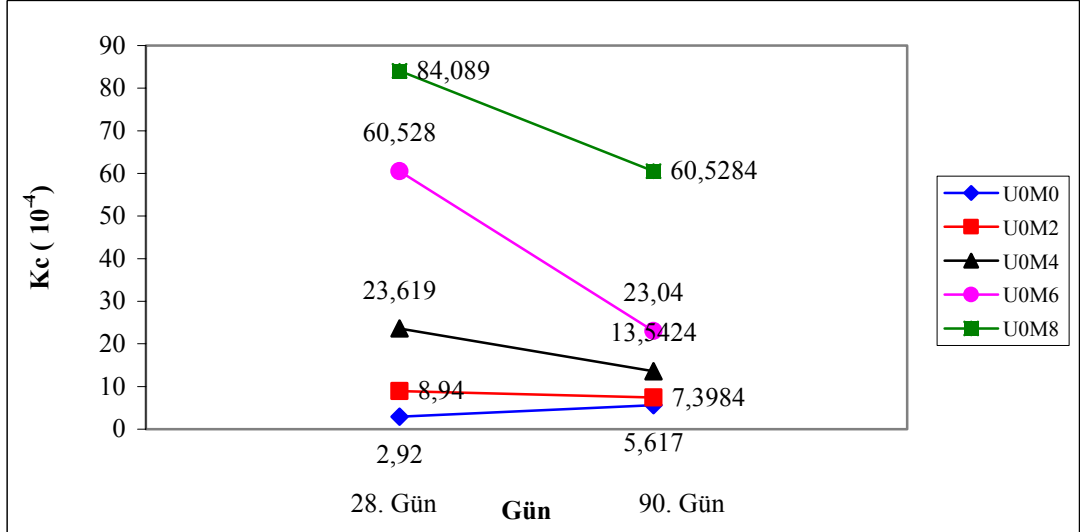
Şekil 5.160: %25 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



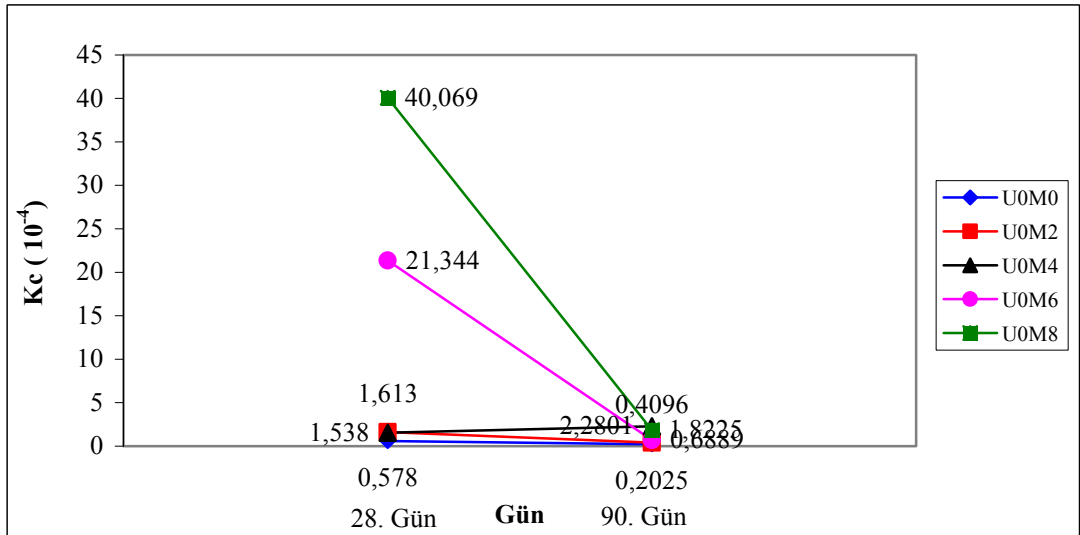
Şekil 5.161: %37.5 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



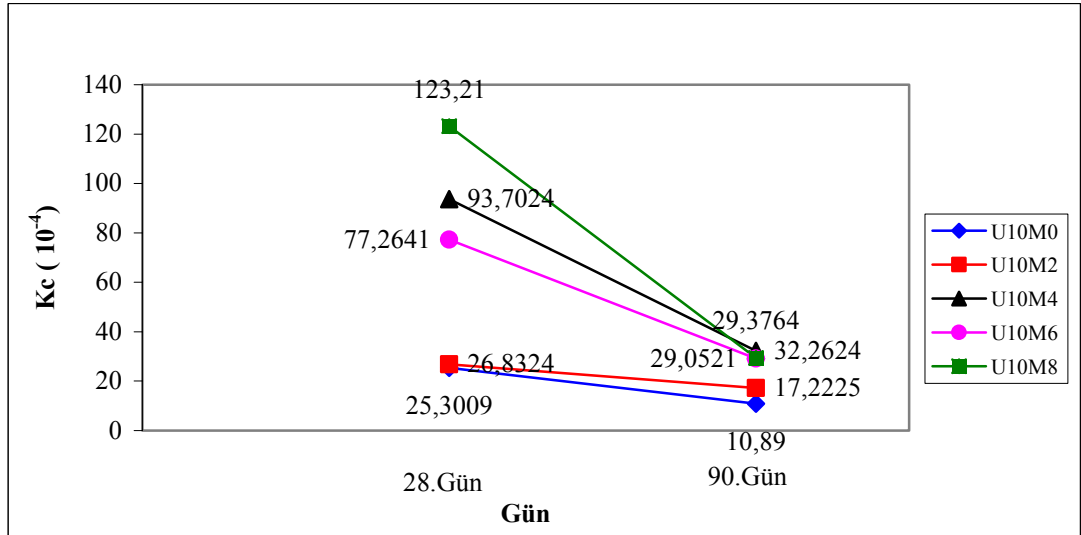
Şekil 5.162: %37.5 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



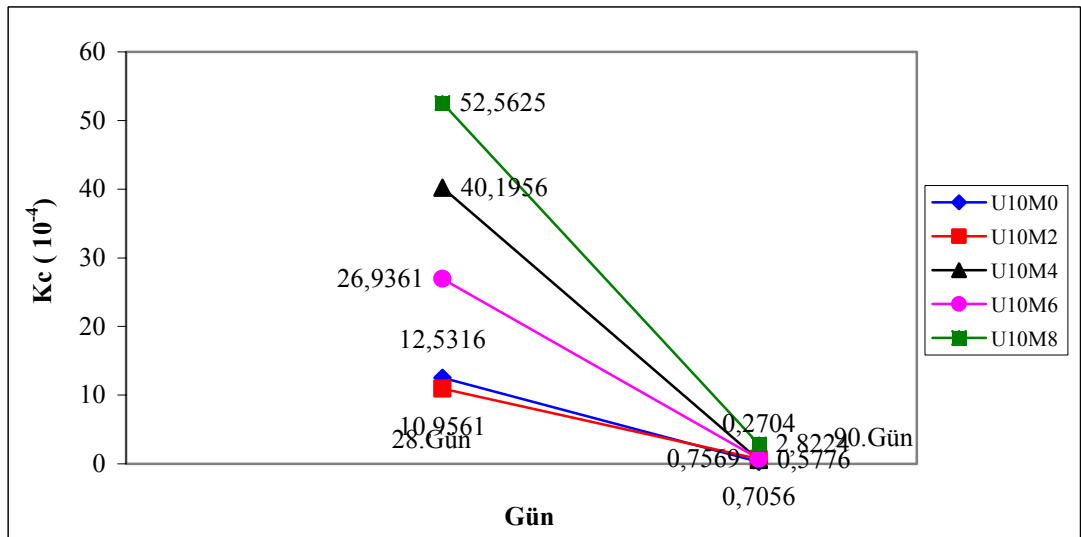
Şekil 5.163: Kontrol betonu ve MgSO_4 çözelti betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre magnezyum sülfat yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



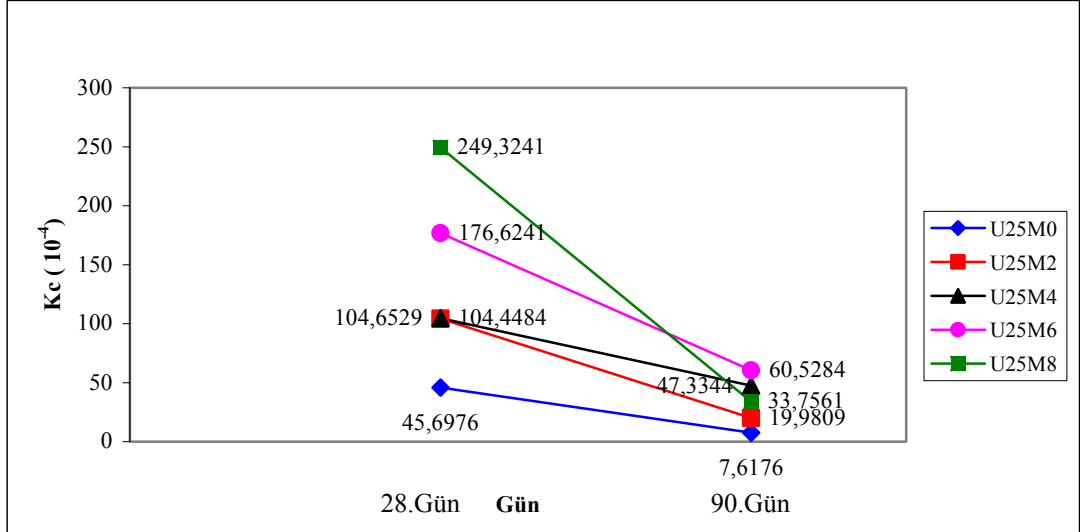
Şekil 5.164: Kontrol betonu ve MgSO_4 çözelti betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre magnezyum sülfat yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



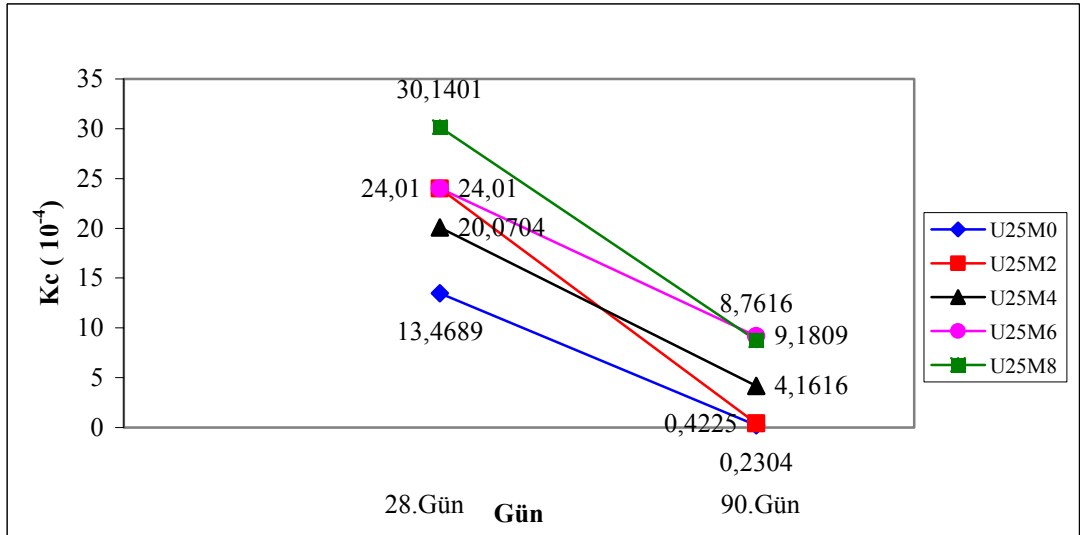
Şekil 5.165: %10 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre MgSO_4 yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



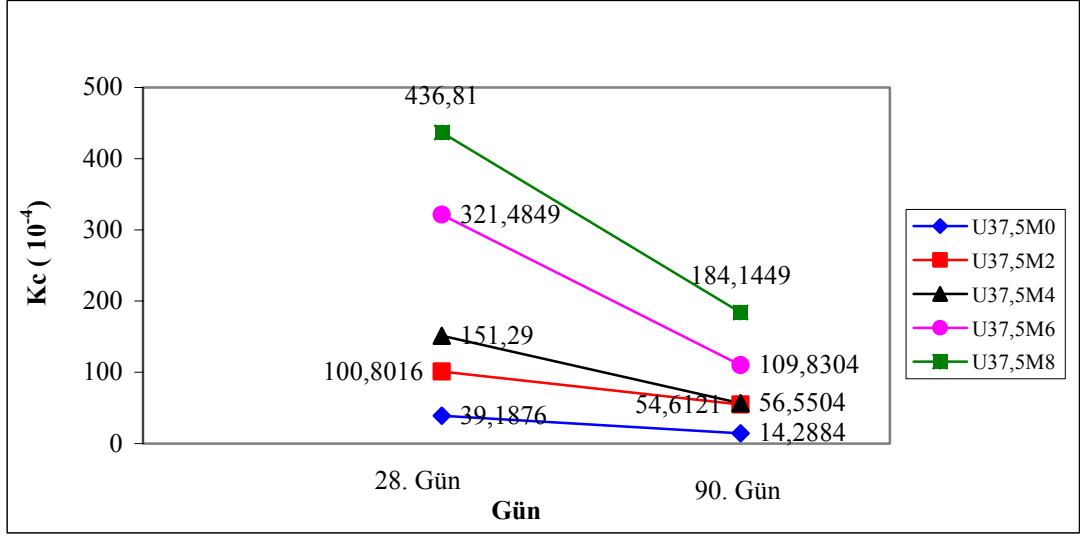
Şekil 5.166: %10 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre MgSO_4 yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



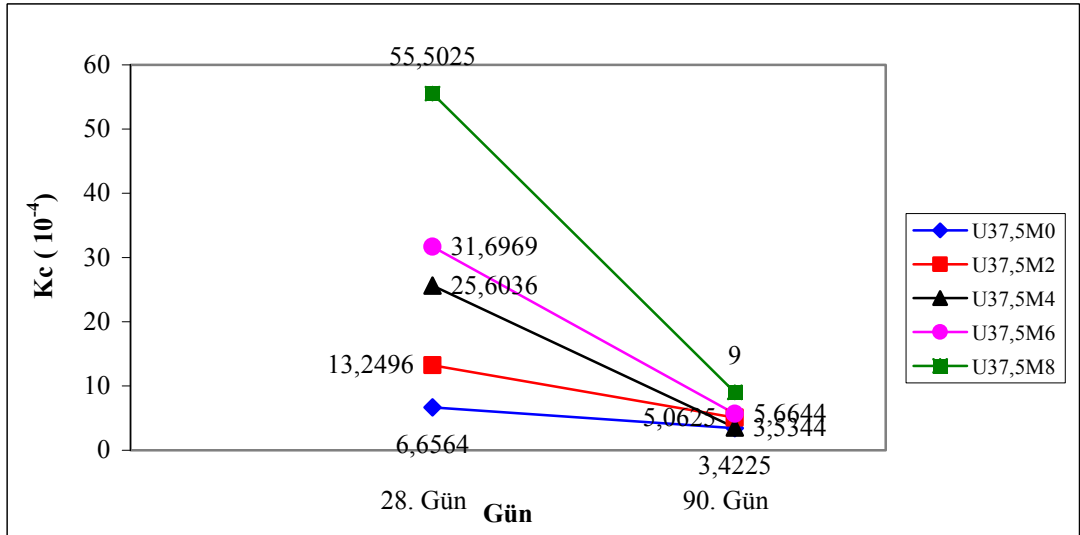
Şekil 5.167: %25 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre MgSO_4 yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



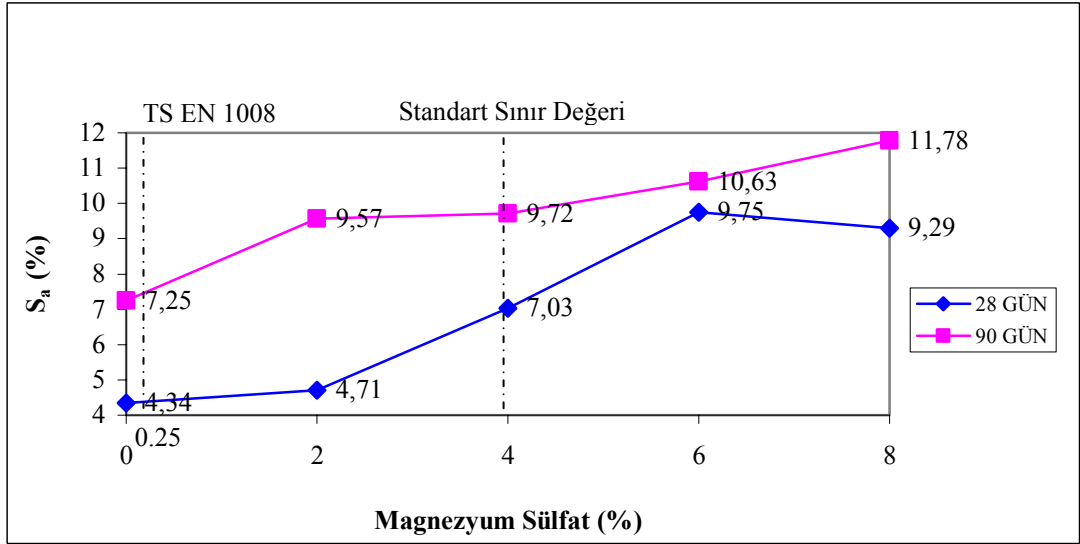
Şekil 5.168: %25 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre MgSO_4 yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



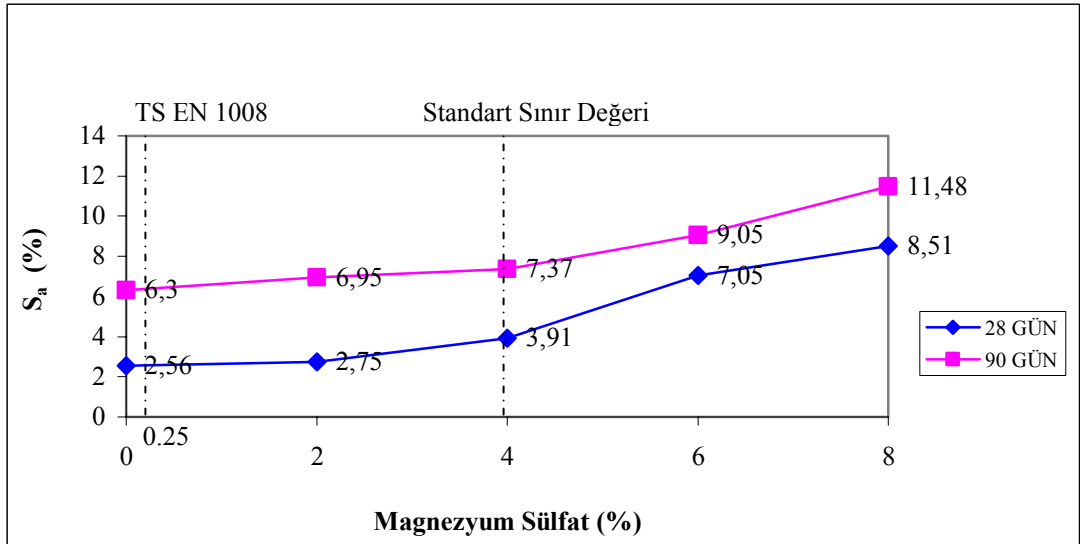
Şekil 5.169: %37.5 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre MgSO_4 yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



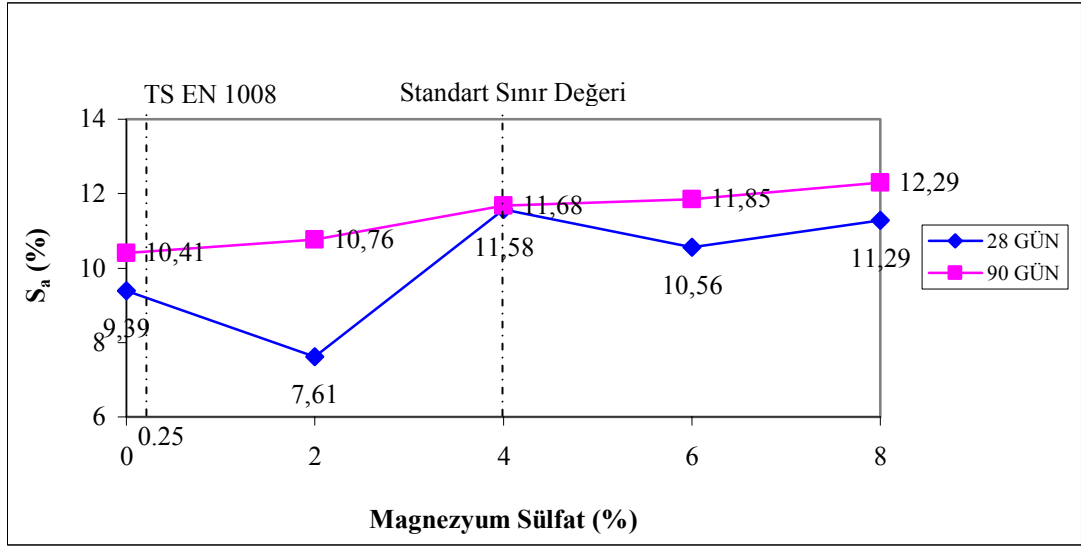
Şekil 5.170: %37.5 uçucu kül içeren betonların kılcallık katsayısı değerlerinin günlere göre MgSO_4 yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



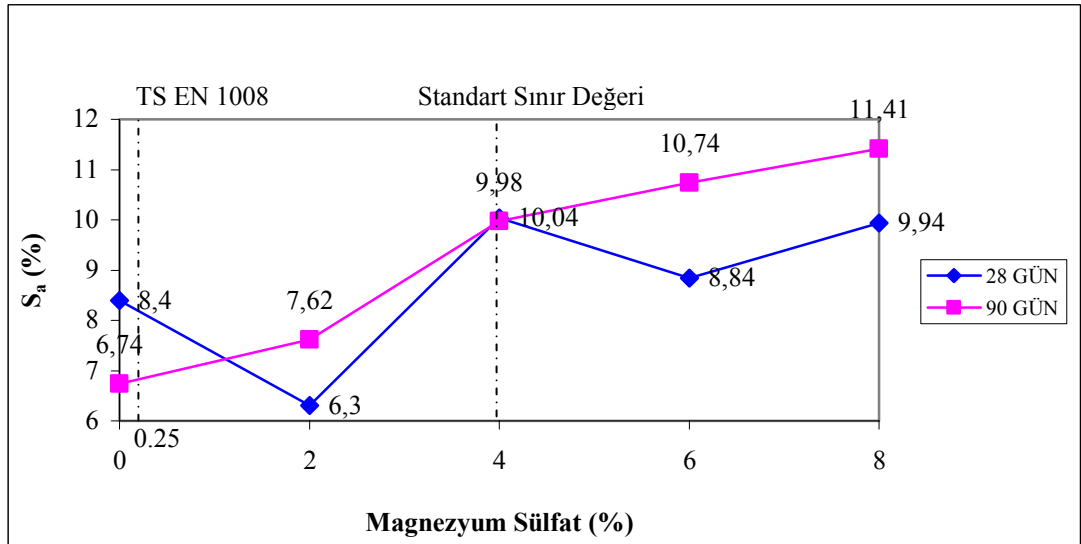
Şekil 5.171: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



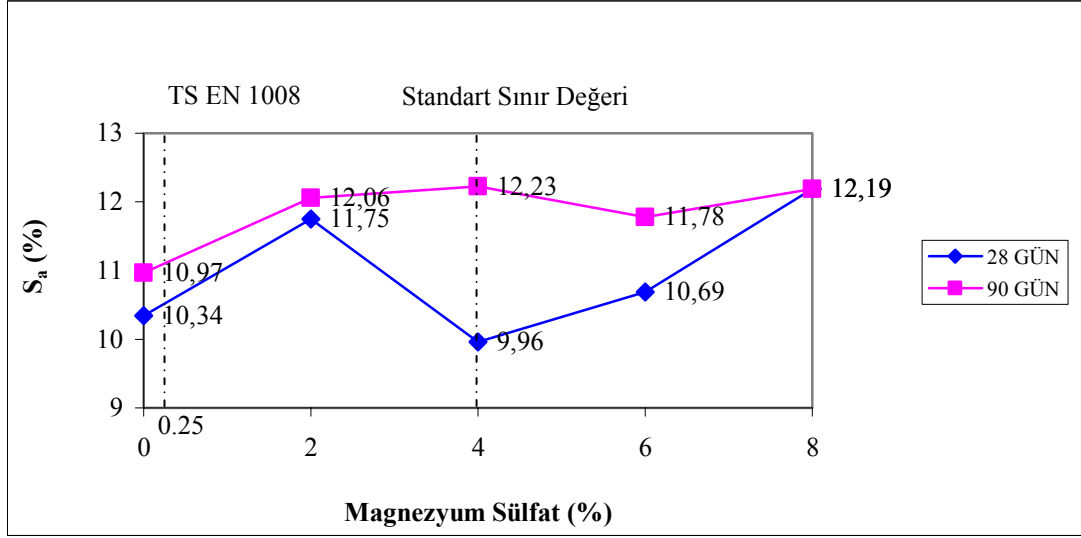
Şekil 5.172: Kontrol betonu ve $MgSO_4$ çözeltili betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



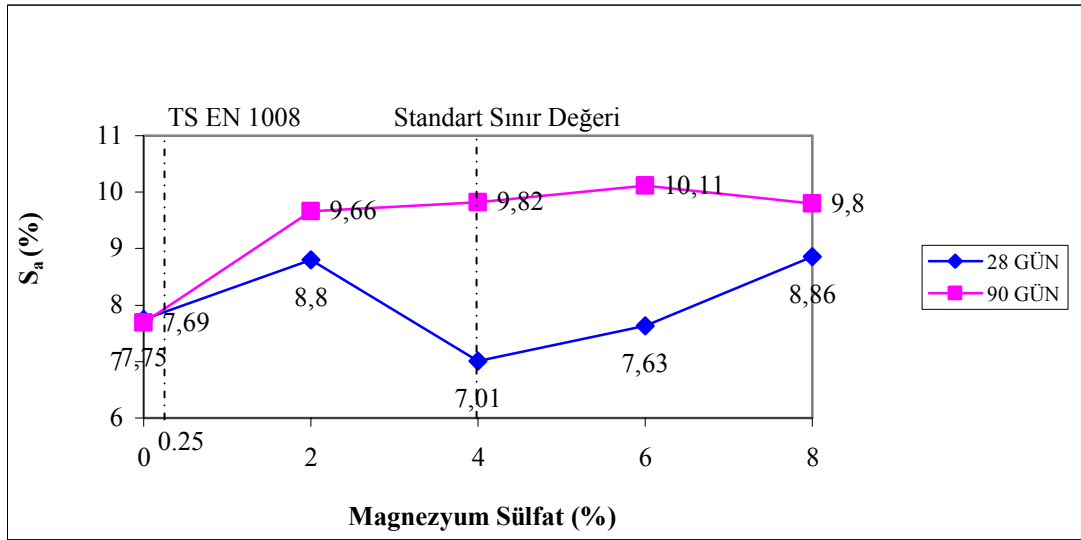
Şekil 5.173: %10 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



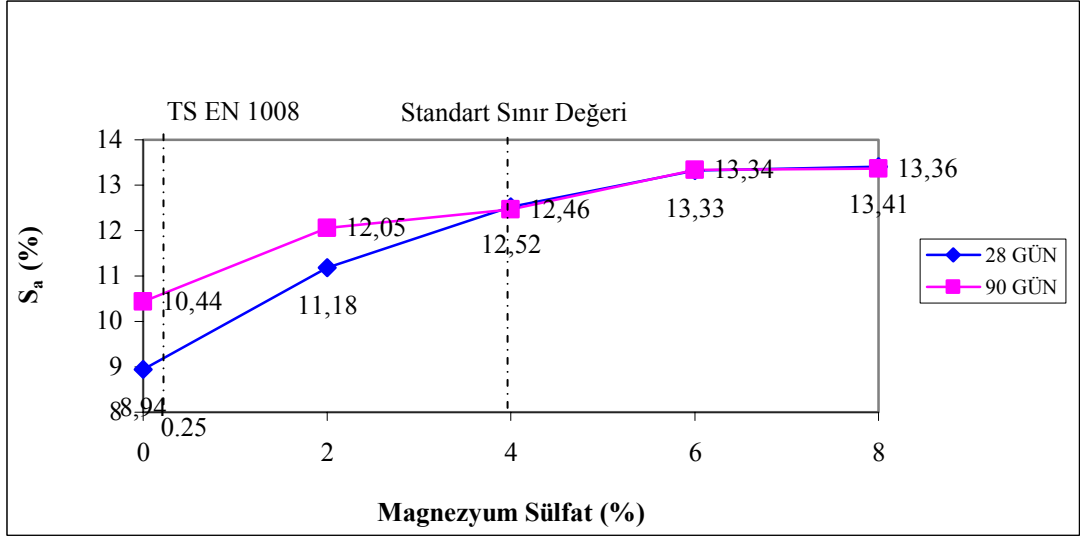
Şekil 5.174: %10 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



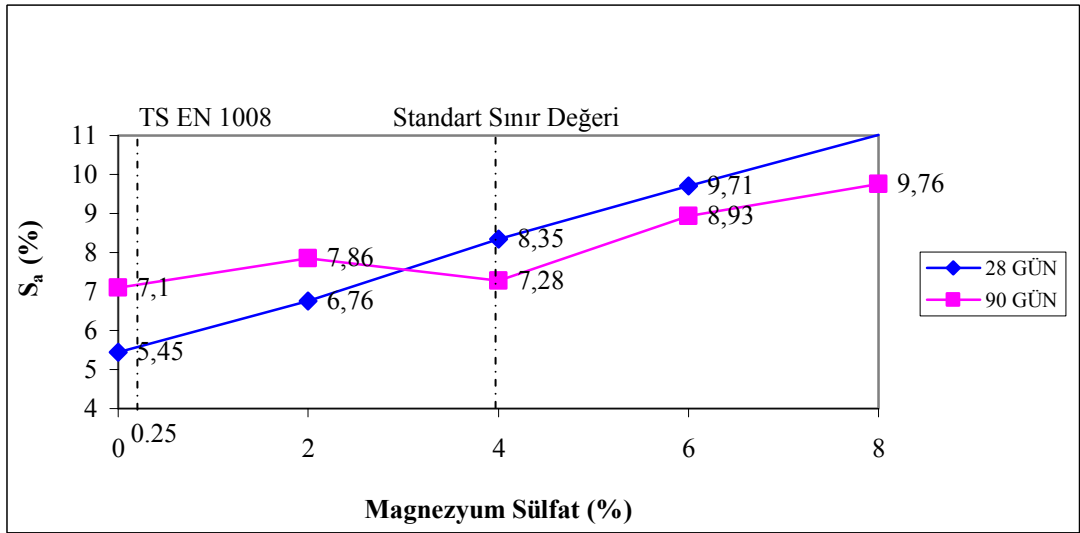
Şekil 5.175: %25 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



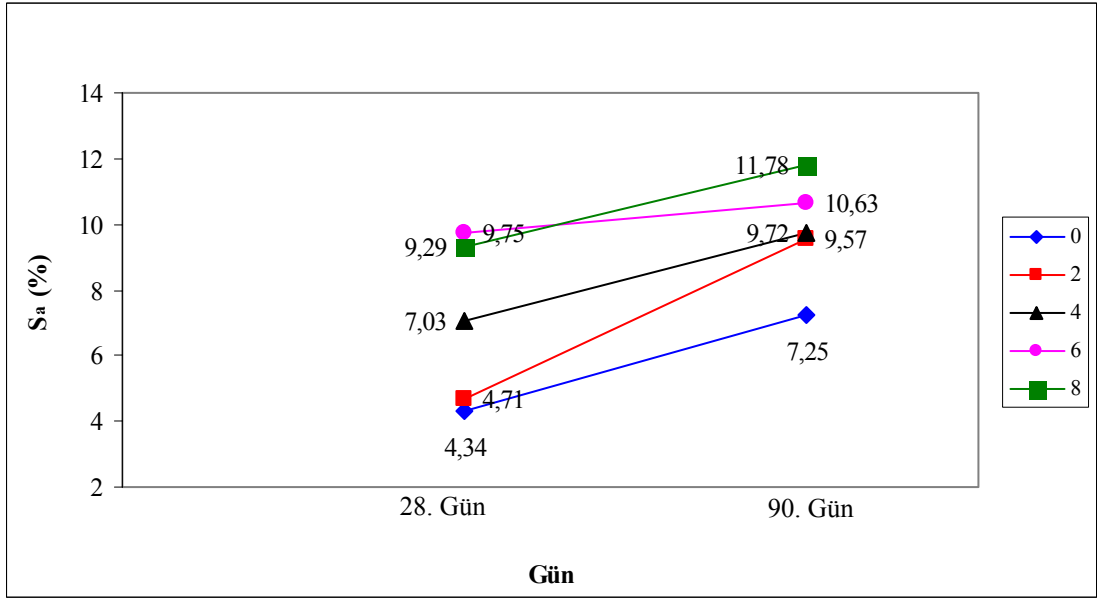
Şekil 5.176: %25 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



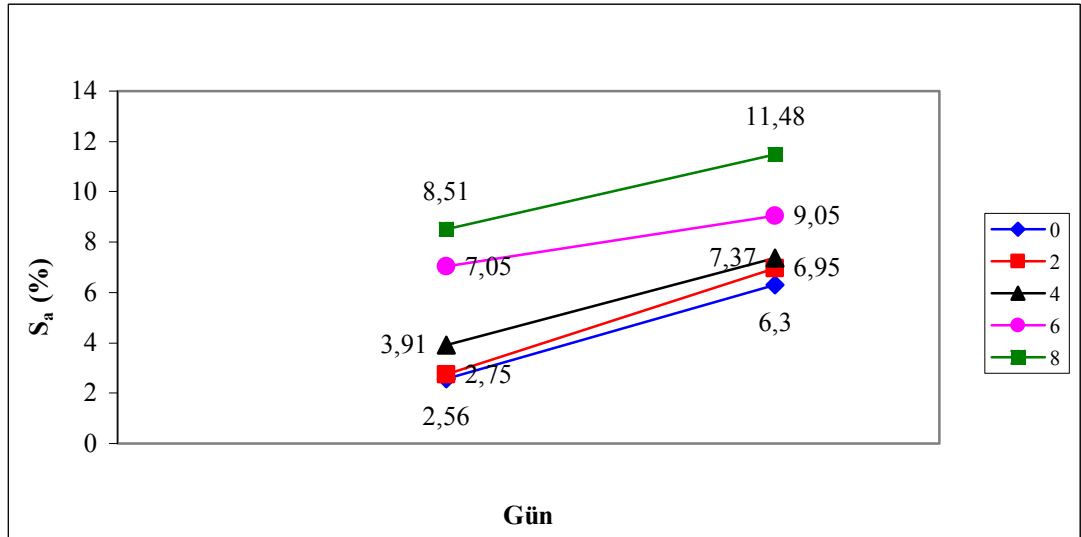
Şekil 5.177: %37.5 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (havada kür edilmiş)



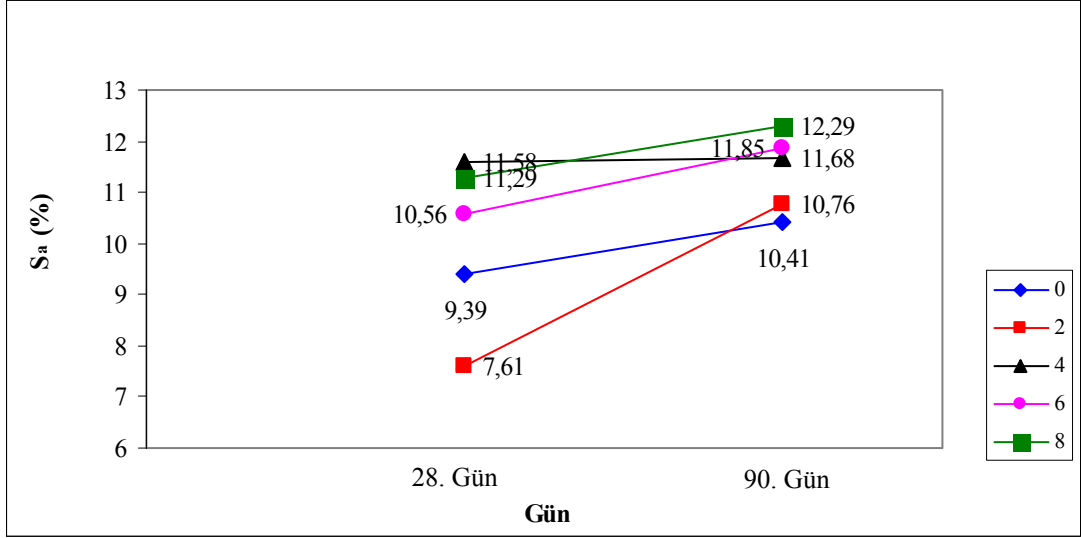
Şekil 5.178: %37.5 uçucukül içeren betonların S_a değerlerinin $MgSO_4$ yüzdesine göre 28 ve 90. günlerdeki değişimleri (suda kür edilmiş)



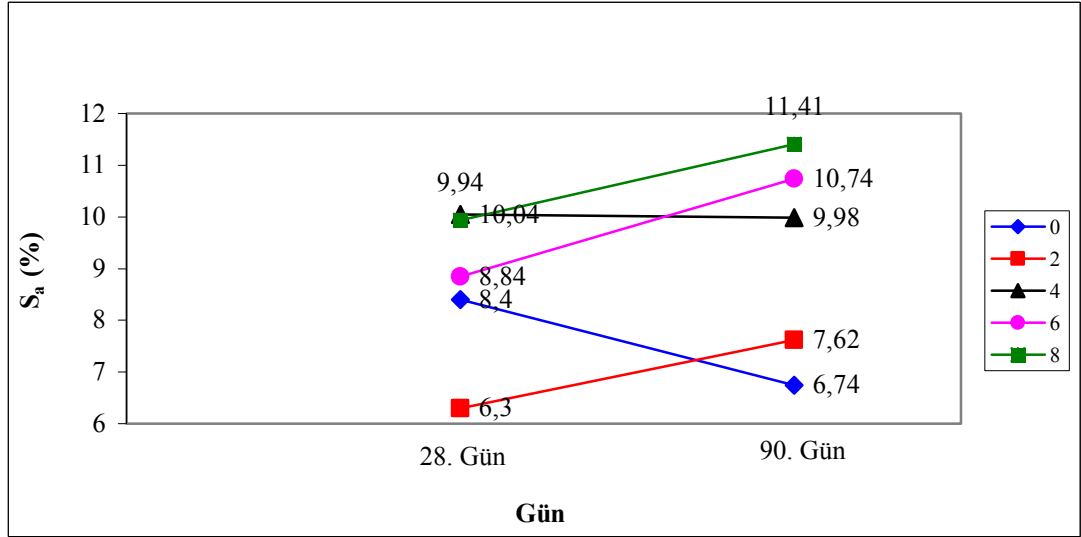
Şekil 5.179: Kontrol betonu ve MgSO₄ çözeltili betonların S_a değerlerinin günlere göre MgSO₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



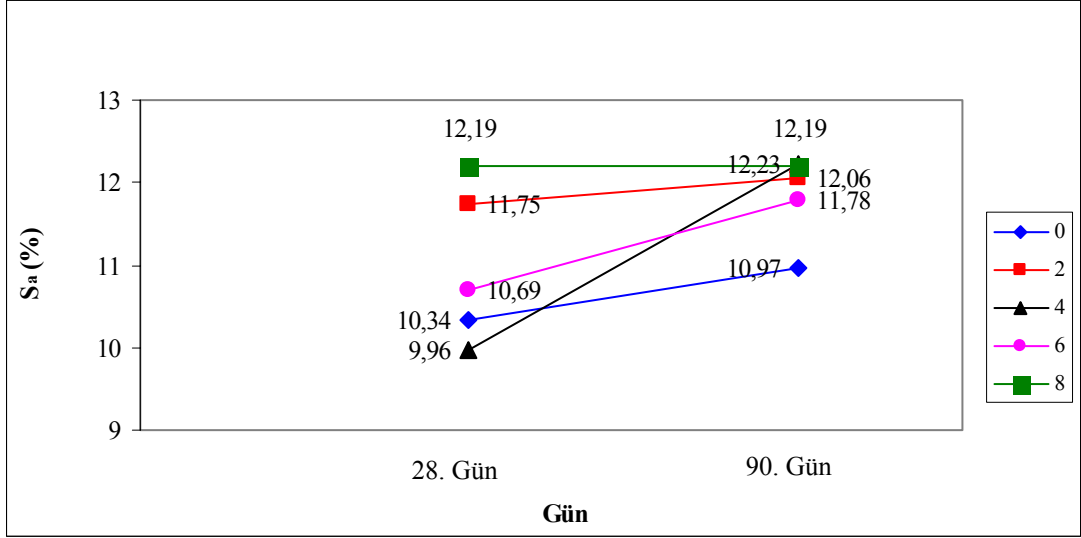
Şekil 5.180: Kontrol betonu ve MgSO₄ çözeltili betonların S_a değerlerinin günlere göre MgSO₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



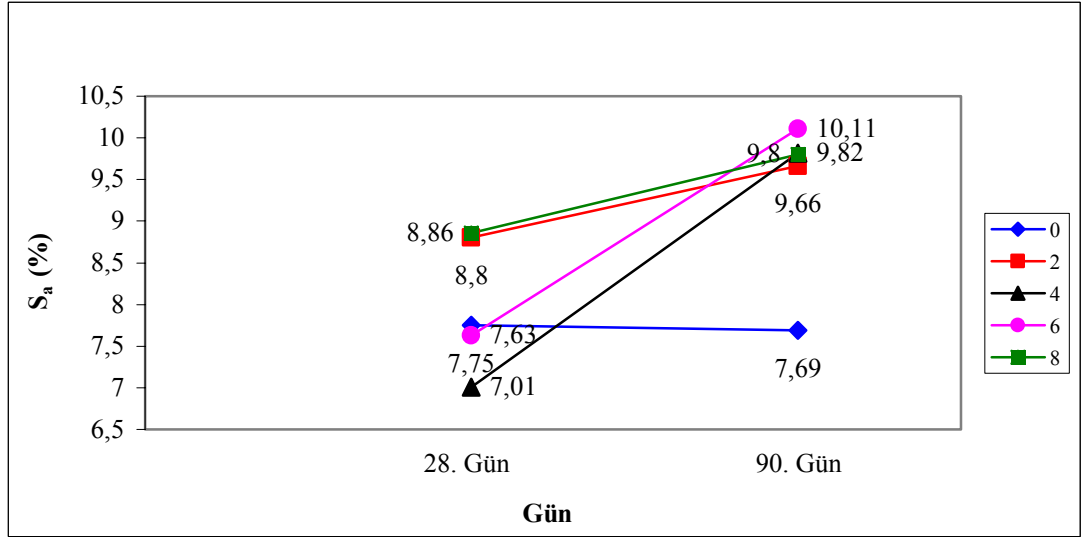
Şekil 5.181: %10 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



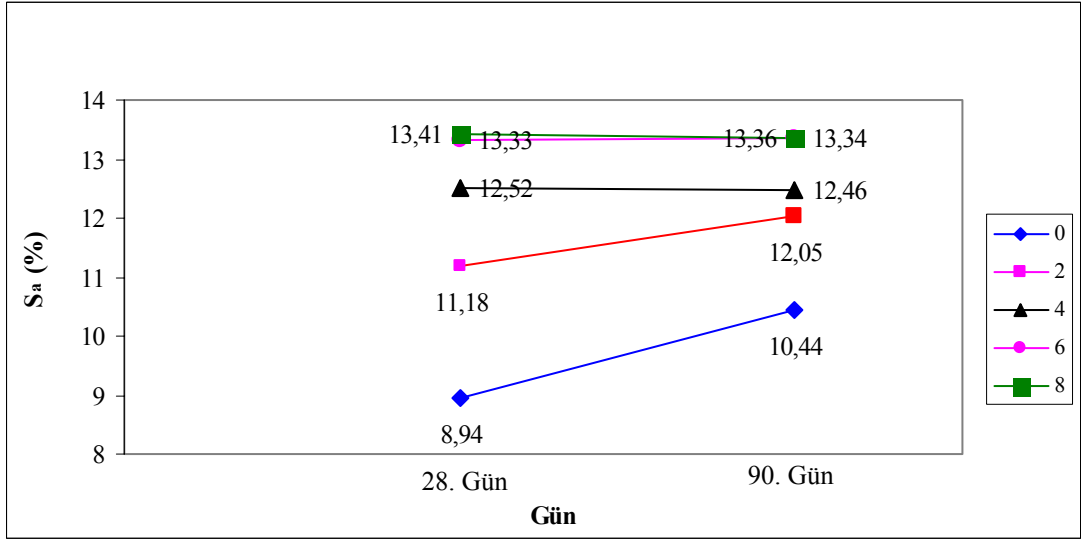
Şekil 5.182: %10 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre $MgSO_4$ yüzdelilerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



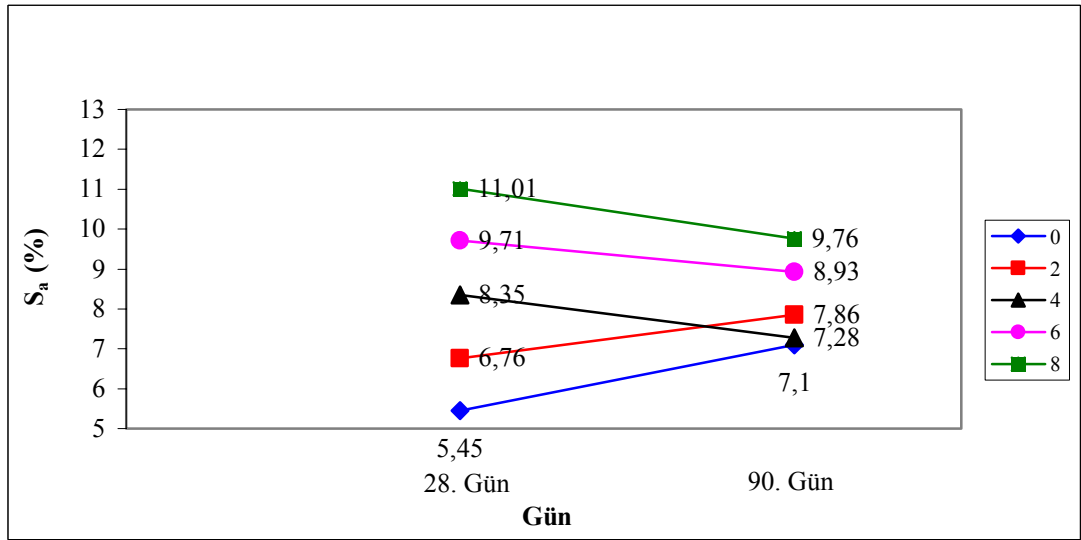
Şekil 5.183: %25 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre MgSO₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



Şekil 5.184: %25 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre MgSO₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)



Şekil 5.185: %37.5 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre MgSO₄ yüzdelerindeki değişimleri (havada kür edilmiş)



Şekil 5.186: %37.5 uçucu kül içeren betonların S_a değerlerinin günlere göre MgSO₄ yüzdelerindeki değişimleri (suda kür edilmiş)

ÖZGEÇMİŞ

10 Haziran 1979 yılında Adana’da doğan Aslı KARDEŞLER, ilk öğrenimini İsmet İnönü İlkokulu’nda, orta öğrenimini İsmail Sefa Özler Anadolu Lisesi’nde, lise öğrenimini Özel Çukurova Bilfen Lisesi’nde tamamladı. 1997 yılında öğrenimine başladığı İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2002 yılında mezun oldu. 2002 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Kendisi halen Yapı Malzemesi Anabilim Dalı’nda öğrenim görmektedir.