

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI ÇİMENTOLARIN HARCIN DAYANIM  
VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ**

**DOKTORA TEZİ**

**İnşaat Yük. Müh. Sibel ÖZGÜR GİRİNKARDEŞLER**

**Balıkesir, Şubat-2008**

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI ÇİMENTOLARIN HARCIN DAYANIM  
VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

İnşaat Yük. Müh. Sibel ÖZGÜR GİRGİNKARDEŞLER

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE

Sınav Tarihi: 01/02/2008

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE

Prof. Dr. Fevziye AKÖZ

Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR

Doç. Dr. Nabi YÜZER

Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN

(Danışman-İÜ)

(YTÜ)

(BAÜ)

(YTÜ)

(İÜ)

Balıkesir, Şubat-2008

## ÖZET

### FARKLI ÇİMENTOLARIN HARCIN DAYANIM VE DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

**Sibel ÖZGÜR GİRĞINKARDEŞLER**  
**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,**  
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**(Doktora Tezi/Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE)**

**Balıkesir, 2008**

Betonarme yapıların tasarımında dayanımın yanında dayanıklılığa da günümüzde giderek daha fazla önem verilmektedir.

Bu çalışmada, çimento cinsinin, harçların dayanım ve dayanıklılığına etkisini araştırmak için farklı portland çimentoları ve farklı oranlarda mineral katkı (yüksek fırın cürufu) kullanılarak katkılı çimentolar hazırlanmıştır. Hazırlanan çimentolara kimyasal katkı katılarak harç numuneleri üretilmiştir.

Beş farklı çimentoya, % 5, % 9 ve % 14 oranında yüksek fırın cürufu ağırlıkça ikame edilerek on beş farklı mineral katkılı çimento hazırlanmıştır. Harçların su/çimento oranı 0.65, süper akışkanlaştırıcı oranı % 0.4'tür. Kimyasal katkılı ve kimyasal katkısız olmak üzere toplam kırk gurup harç numune üretilmiş, her gurup taze harçta yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş harçlarda 7., 28., 56. ve 210. günlerde eğilme ve basınç dayanımı, ağırlıkça ve hacimce su emme, özgül ağırlık ve eskitme deneyleri yapılmıştır. Eskitme deneyleri, tüm harçlarda 28. gün başlangıç kabul edilerek, su içinde (şahit), ıslanma-kuruma (suda ıslanma-havada kuruma) ve donma-çözülme (magnezyum sülfatta ıslanma-etüvde kuruma) şeklinde yapılmıştır. Harçlarda, bir hafta suda bir hafta havada (bir çevrim), bir hafta sülfatta, bir hafta etüvde (bir çevrim) kabul edilmiş, ağırlık, boy ve ultrases geçiş süreleri ölçülmüş, eskitme süreci sonunda numunelerin eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Harçların dayanıklılığının karşılaştırılması amacı ile yapılan ölçümlere göre, ağırlık, boy ve ultrases hız değişimleri, eğilme ve basınç dayanımları esas alınarak eskitme süreçlerine göre değer analizleri yapılmıştır.

Bu çalışma sonunda aşağıda özetlenen sonuçlara varılmıştır.

Cüruf miktarının artması ve kimyasal katkı taze harç özeliğini olumlu yönde değiştirmiş, sertleşmiş harçların ise eğilme ve basınç dayanımını değiştirmemiş, dayanımda belirgin bir etki görülmemiştir.

Bu çalışmada uygulanan koşullar ve çevrim sayısına göre eskitme süreçlerinden donma-çözülme, ıslanma-kurumaya kıyasla daha etkili olmuştur.

Harçların fiziksel özelliklerindeki performans kaybı, mekanik özelliklere göre daha belirgindir.

Beş çimentonun karmaşık bileşiklerinin, eskitme süreçlerine ve harçların performansına etkisi kesin olmamıştır.

Çimentoların özellikle özgül yüzeyi (Blaine) , harçların performanslarında belirgin bir özellik olarak görülmüştür. Özgül yüzeyi en yüksek olan çimento değer analizi sonunda en dayanıklı harç, özgül yüzeyi düşük olan çimento ise en az dayanıklı harç olarak bulunmuştur.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** harç / yüksek fırın cürufu / kimyasal katkı / ıslanma-kuruma / donma-çözülme / MgSO<sub>4</sub> etkisi / dayanıklılık / CEM I / değer analizi

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF DIFFERENT CEMENT TYPES ON THE STRENGTH AND DURABILITY OF MORTAR**

**Sibel ÖZGÜR GİRGİNKARDEŞLER**  
**Balıkesir University, Institute of Science, Department of Civil  
Engineering**

**(Ph. D. Thesis/Supervisor: Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE)**

**Balıkesir, 2008**

Nowadays, people also pay attention to lifetime durability as well as the strength of the concrete buildings.

In this study, different cement types are used to find out how they are affecting the strength and durability of concrete. We mainly used Portland cement and prepared different additive cements with using mineral additives. And then we prepared mortar samples from those while adding some chemicals.

15 different kinds of mineral additive cements are prepared from 5 different cements while adding granulated blast furnace slag in 5 %, 9 % and 14 % based on their weights. 0.65 % water/ratio is used and super plasticizer ratio was 0.4 %. In total, it is used 40 mortar groups half of which contains chemical additive are used. In each group, we made fresh mortar slump and density tests. We also made flextural strength, compression strength, water absorption, volumetric water absorption, specific weight and aging experiments on the hardened concretes after 7 days, 28 days, 56 days and 210 days respectively. During aging experiment, it is used mortars after 28 days and measured weight and length changes along with ultra sound transferring time on the reference sample which was in the water, in wetting-drying experiment and freezing-thawing experiment. It is used magnesium sulfate which is similar to magnesium sulfate in agrera experiment in freezing-thawing experiment. In this experiment, it is used  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  salt and 13% solution based on its weight. In aging experiment, mortars have been kept in the water, in the air, in the sulfate and

in drying oven for a week and then, their weight, length and ultra sound transferring have been measured. At the end of this period, it is also made flextural and compression strength experiments.

Value Analyze have been made based on weight, length changes, ultra sound transfer changes, flextural and compression strength during aging performance.

We have below summarized conclusions as a result of Value Analyze:

Increase on slag quantity & chemical additives has effected fresh mortar in a positive way however, it has not changed flextural and compression strength of the hardened mortar and also has not effected strength as overall.

Based on the applied rules and turnover quantity in this project, freezing-thawing becomes more effective than wetting-drying during aging process.

Also, mortars have been lost more performance physically comparing mechanically.

However, we did not see exact effect on mixed five cements to the aging process and performance of the mortars.

Blaine of the cements has been observed as an important feature on the performance of the mortars. As a result of Value Analyze, cement which has the highest level on blaine has become the strongest mortar, in contrary, cement which has the lowest level on blaine has become the weakest mortar.

**KEY WORDS:** mortar / blast furnace slag / chemical additive / wetting-drying / freezing-thawing / influence of  $\text{MgSO}_4$  / durability / CEM I / value analyze

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iv
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖNSÖZ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KONU ile İLGİLİ KAYNAK TARAMASI	4
2.1 Konu İle İlgili Açıklamalar	4
2.2 Betonda Kullanılan Malzemeler	10
2.2.1 Çimento	10
2.2.2 Agregası	12
2.2.3 Puzolanlar	12
2.2.3.1 Doğal Puzolanlar	13
2.2.3.2 Yapay Puzolanlar	13
2.2.4 Kimyasal Katkılar	16
2.2.4.1 Su Azaltıcı Katkı Maddeleri (Akışkanlaştırıcılar)	16
2.2.4.2 Priz Hızlandırıcı Katkı Maddeleri	18
2.2.4.3 Priz Geciktirici Katkı Maddeleri	18
2.2.4.4 Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri	19
2.2.4.5 Diğer Kimyasal Katkı Maddeleri	19
2.3 Betonda Dayanım	19
2.4 Betonda Dayanıklılık	20
2.4.1 Betonun Dayanıklılığında İç etkenler	21
2.4.2 Betonu Yıpratıcı Fiziksel Etkenler	21
2.4.2.1 Betonu Yıpratıcı Kimyasal Etkenler	24
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	28
3.1 Harç Üretiminde Kullanılan malzemeler	28
3.1.1 Çimento	28
3.1.2 Yüksek Fırın Cürufu	29
3.1.3 Çimento Üretimi ve Kodlanması	30
3.1.4 Kum	30
3.1.5 Akışkanlaştırıcı	31
3.1.6 Su	31
3.1.7 Magnezyum Sülfat Çözeltisi	31
3.2 Numune Üretimi, Kodları, Boyutları, Saklama Koşulları	31
3.3 Yapılan Deneyler	34
3.3.1 Taze Harç Deneyleri	34
3.3.2 Sertleşmiş Harç Deneyleri	34
3.3.2.1 Eğilme Dayanımı Deneyi	34
3.3.2.2 Basınç Dayanımı Deneyi	36

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.3.2.3 Su Emme ve Birim Ağırlık Deneyi	38
3.3.2.4 Özgül Ağırlık Deneyi	38
3.3.3 Eskitme Süreçleri	39
3.3.3.1 Islanma-Kuruma Deneyi	39
3.3.3.2 Donma-Çözülme Deneyi	39
3.3.4 Kontrol Deneyleri	39
3.3.4.1 Ağırlık Değişimi	40
3.3.4.2 Boy Değişimi	40
3.3.4.3 Ultrases Geçiş Süresi	41
3.3.4.4 Eğilme ve Basınç Dayanımı	41
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	44
4.1 Taze Harç Deneylerinin Değerlendirilmesi	44
4.2 Sertleşmiş Harç Deneylerinin Değerlendirilmesi	44
4.2.1 Mekanik Deneylerin Değerlendirilmesi	45
4.2.1.1 Eğilme Dayanımı Değişiminin Değerlendirilmesi	45
4.2.1.2 Basınç Dayanımı Değişiminin Değerlendirilmesi	53
4.2.1.3 Su Emme ve Birim Ağırlık Deneylerinin Değerlendirilmesi	61
4.2.1.4 Özgül Ağırlık Deneyinin Değerlendirilmesi	69
4.3 Eskitme Süreçleri Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	70
4.3.1 Su İçindeki (Şahit Grup) Deneylerin Değerlendirilmesi	70
4.3.1.1 Ağırlık Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi	70
4.3.1.2 Boy Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi	74
4.3.1.3 Ultrases Hız Deneylerinin Değerlendirmesi	78
4.3.2 Islanma-Kuruma Deneylerinin Değerlendirmesi	82
4.3.2.1 Ağırlık Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi	82
4.3.2.2 Ultrases Hız Deneyinin Değerlendirmesi	86
4.3.3 Donma-Çözülme Deneylerinin Değerlendirmesi	90
4.3.3.1 Ağırlık Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi	90
4.3.3.2 Boy Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi	94
4.3.3.2 Ultrases Hız Deneyinin Değerlendirilmesi	99
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	103
5.1 Kimyasal Katkısız Üretilen Harçların İrdelenmesi	104
5.2 Kimyasal Katkılı Üretilen Harçların İrdelenmesi	112
5.3 Çimento Özelliklerinin ve Eskitme Süreçlerinin İrdelenmesi	120
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	129
EKLER	
EK A AĞIRLIK DEĞİŞİMİ DEĞERLERİ	127
EK B BOY DEĞİŞİMİ DEĞERLERİ	135
EK C ULTRASES HIZ DEĞİŞİMİ DEĞERLERİ	139
EK D FOTOĞRAFLAR	145
KAYNAKLAR	147



## SEMBOL LİSTESİ

<b>Simge</b>	<b>Adı</b>	<b>Birimi</b>
$W_d$	Ağırlık değişimi	%
$W_t$	t süredeki ağırlık	g
$W_0$	Başlangıçtaki ağırlık	g
$S_h$	Hacimce su emme değeri	%
$W_1$	Numunenin kuru ağırlığı	g
$W_2$	Numunenin su emmiş halde havadaki ağırlığı	g
$W_3$	Numunenin su emmiş halde su içindeki ağırlığı	g
$\Delta$	Birim ağırlık	$g/cm^3$
$L_D$	Boy değişimi	$\mu/mm$
$l_t$	t süredeki boy	mm
$l_0$	Başlangıçtaki boy	mm
$V_s$	Ses geçiş hızı	km/s
$l$	Numune boyu	mm
$t$	Zaman	$\mu s$
$b$	Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu	mm
$F_f$	Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet	N
$L$	Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık	mm
$R_f$	Eğilme dayanımı	$N/mm^2$
$R_C$	Basınç dayanımı	$N/mm^2$
$F_c$	Kırılmadaki en büyük yük	N
$A$	Kuvvet uygulanan alan	$mm^2$

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Numarası	Adı	Sayfa
Şekil 2.1	Betonu yıpratın fiziksel etkenler	22
Şekil 2.2	Betonu yıpratın kimyasal etkenler	25
Şekil 3.1	Deney programı	33
Şekil 4.1	A grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	45
Şekil 4.2	B grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	46
Şekil 4.3	C grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	46
Şekil 4.4	D grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	46
Şekil 4.5	E grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	47
Şekil 4.6	AS grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	47
Şekil 4.7	BS grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	48
Şekil 4.8	CS grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	48
Şekil 4.9	DS grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	48
Şekil 4.10	ES grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	49
Şekil 4.11	A grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	49
Şekil 4.12	B grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	50
Şekil 4.13	C grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	50
Şekil 4.14	D grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	50
Şekil 4.15	E grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	51
Şekil 4.16	AS grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	51
Şekil 4.17	BS grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	52
Şekil 4.18	CS grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	52
Şekil 4.19	DS grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	52
Şekil 4.20	ES grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi	53

Şekil 4.21	A grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	54
Şekil 4.22	B grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	54
Şekil 4.23	C grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	54
Şekil 4.24	D grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	55
Şekil 4.25	E grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	55
Şekil 4.26	AS grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	56
Şekil 4.27	BS grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	56
Şekil 4.28	CS grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	56
Şekil 4.29	DS grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	57
Şekil 4.30	ES grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	57
Şekil 4.31	A grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	58
Şekil 4.32	B grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	58
Şekil 4.33	C grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	58
Şekil 4.34	D grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	59
Şekil 4.35	E grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	59
Şekil 4.36	AS grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	60
Şekil 4.37	BS grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	60
Şekil 4.38	CS grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	60
Şekil 4.39	DS grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	61
Şekil 4.40	ES grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi	61
Şekil 4.41	A grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	62
Şekil 4.42	B grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	62
Şekil 4.43	C grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	62
Şekil 4.44	D grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	63
Şekil 4.45	E grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	63
Şekil 4.46	AS grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	64
Şekil 4.47	BS grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	64
Şekil 4.48	CS grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	64
Şekil 4.49	DS grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	65

Şekil 4.50	ES grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi	65
Şekil 4.51	A grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	66
Şekil 4.52	B grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	66
Şekil 4.53	C grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	66
Şekil 4.54	D grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	67
Şekil 4.55	E grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	67
Şekil 4.56	AS grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	68
Şekil 4.57	BS grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	68
Şekil 4.58	CS grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	68
Şekil 4.59	DS grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	69
Şekil 4.60	ES grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi	69
Şekil 4.61	Su içinde saklanan A grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi	70
Şekil 4.62	Su içinde saklanan B grubu harçların Ağırlık-değişimi zaman ilişkisi	71
Şekil 4.63	Su içinde saklanan C grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi	71
Şekil 4.64	Su içinde saklanan D grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi	71
Şekil 4.65	Su içinde saklanan E grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi	72
Şekil 4.66	Su içinde saklanan AS grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi	72
Şekil 4.67	Su içinde saklanan BS grubu harçların Ağırlık-değişimi zaman ilişkisi	72
Şekil 4.68	Su içinde saklanan CS grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi	73
Şekil 4.69	Su içinde saklanan DS grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi	73
Şekil 4.70	Su içinde saklanan ES grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi	73
Şekil 4.71	Su içinde saklanan A grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	74
Şekil 4.72	Su içinde saklanan B grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	74
Şekil 4.73	Su içinde saklanan C grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	75

Şekil 4.74	Su içinde saklanan D grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	75
Şekil 4.75	Su içinde saklanan E grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	75
Şekil 4.76	Su içinde saklanan AS grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	76
Şekil 4.77	Su içinde saklanan BS grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	76
Şekil 4.78	Su içinde saklanan CS grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	77
Şekil 4.79	Su içinde saklanan DS grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	77
Şekil 4.80	Su içinde saklanan ES grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi	77
Şekil 4.81	Su içinde saklanan A grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	78
Şekil 4.82	Su içinde saklanan B grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	78
Şekil 4.83	Su içinde saklanan C grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	79
Şekil 4.84	Su içinde saklanan D grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	79
Şekil 4.85	Su içinde saklanan E grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	79
Şekil 4.86	Su içinde saklanan AS grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	80
Şekil 4.87	Su içinde saklanan BS grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	80
Şekil 4.88	Su içinde saklanan CS grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	81
Şekil 4.89	Su içinde saklanan DS grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	81
Şekil 4.90	Su içinde saklanan ES grubu harçların ultrases hız-değişimi-zaman ilişkisi	81
Şekil 4.91	Islanma-kuruma etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi	82
Şekil 4.92	Islanma-kuruma etkisindeki B grubu harçların ağırlık değişimi	83
Şekil 4.93	Islanma-kuruma etkisindeki C grubu harçların ağırlık değişimi	83
Şekil 4.94	Islanma-kuruma etkisindeki D grubu harçların ağırlık değişimi	83
Şekil 4.95	Islanma-kuruma etkisindeki E grubu harçların ağırlık değişimi	84
Şekil 4.96	Islanma-kuruma etkisindeki AS grubu harçların ağırlık değişimi	84
Şekil 4.97	Islanma-kuruma etkisindeki BS grubu harçların ağırlık değişimi	85
Şekil 4.98	Islanma-kuruma etkisindeki CS grubu harçların ağırlık değişimi	85
Şekil 4.99	Islanma-kuruma etkisindeki DS grubu harçların ağırlık değişimi	85
Şekil 4.100	Islanma-kuruma etkisindeki ES grubu harçların ağırlık değişimi	86
Şekil 4.101	Islanma-kuruma etkisindeki A grubu harçların ultrases hız değişimi	86
Şekil 4.102	Islanma-kuruma etkisindeki B grubu harçların ultrases hız değişimi	87

Şekil 4.103	Islanma-kuruma etkisindeki C grubu harçların ultrases hız değişimi	87
Şekil 4.104	Islanma-kuruma etkisindeki D grubu harçların ultrases hız değişimi	87
Şekil 4.105	Islanma-kuruma etkisindeki E grubu harçların ultrases hız değişimi	88
Şekil 4.106	Islanma-kuruma etkisindeki AS grubu harçların ultrases hız değişimi	88
Şekil 4.107	Islanma-kuruma etkisindeki BS grubu harçların ultrases hız değişimi	89
Şekil 4.108	Islanma-kuruma etkisindeki CS grubu harçların ultrases hız değişimi	89
Şekil 4.109	Islanma-kuruma etkisindeki DS grubu harçların ultrases hız değişimi	89
Şekil 4.110	Islanma-kuruma etkisindeki ES grubu harçların ultrases hız değişimi	90
Şekil 4.111	Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi	91
Şekil 4.112	Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi	91
Şekil 4.113	Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi	91
Şekil 4.114	Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi	92
Şekil 4.115	Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi	92
Şekil 4.116	Donma-çözülme etkisindeki AS grubu harçların ağırlık değişimi	93
Şekil 4.117	Donma-çözülme etkisindeki BS grubu harçların ağırlık değişimi	93
Şekil 4.118	Donma-çözülme etkisindeki CS grubu harçların ağırlık değişimi	93
Şekil 4.119	Donma-çözülme etkisindeki DS grubu harçların ağırlık değişimi	94
Şekil 4.120	Donma-çözülme etkisindeki ES grubu harçların ağırlık değişimi	94
Şekil 4.121	Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların boy değişimi	95
Şekil 4.122	Donma-çözülme etkisindeki B grubu harçların boy değişimi	95
Şekil 4.123	Donma-çözülme etkisindeki C grubu harçların boy değişimi	96
Şekil 4.124	Donma-çözülme etkisindeki D grubu harçların boy değişimi	96
Şekil 4.125	Donma-çözülme etkisindeki E grubu harçların boy değişimi	96
Şekil 4.126	Donma-çözülme etkisindeki AS grubu harçların boy değişimi	97
Şekil 4.127	Donma-çözülme etkisindeki BS grubu harçların boy değişimi	97
Şekil 4.128	Donma-çözülme etkisindeki CS grubu harçların boy değişimi	98
Şekil 4.129	Donma-çözülme etkisindeki DS grubu harçların boy değişimi	98
Şekil 4.130	Donma-çözülme etkisindeki ES grubu harçların boy değişimi	98
Şekil 4.131	Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ultrases hız değişimi	99
Şekil 4.132	Donma-çözülme etkisindeki B grubu harçların Ultrases hız değişimi	99
Şekil 4.133	Donma-çözülme etkisindeki C grubu harçların Ultrases hız değişimi	100
Şekil 4.134	Donma-çözülme etkisindeki D grubu harçların Ultrases hız değişimi	100

Şekil 4.135	Donma-çözülme etkisindeki E grubu harçların Ultrases hız değişimi	100
Şekil 4.136	Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ultrases hız değişimi	101
Şekil 4.137	Donma-çözülme etkisindeki B grubu harçların Ultrases hız değişimi	101
Şekil 4.138	Donma-çözülme etkisindeki C grubu harçların Ultrases hız değişimi	102
Şekil 4.139	Donma-çözülme etkisindeki D grubu harçların Ultrases hız değişimi	102
Şekil 4.140	Donma-çözülme etkisindeki E grubu harçların Ultrases hız değişimi	102
Şekil D.1	Magnezyum sülfat etkisinde hasar görmüş harçlar	145
Şekil D.2	Üretilmiş harç numuneleri	145
Şekil D.3	Terazi	145
Şekil D.4	Yayıma deneyi	145
Şekil D.5	Eğilme dayanımı deneyi	145
Şekil D.6	Basınç dayanımı deneyi	145
Şekil D.7	Arşimet terazisi	146
Şekil D.8	Magnezyum sülfat kür havuzu	146
Şekil D.9	Etüv	146
Şekil D.10	Boy ölçümü	146
Şekil D.11	Ultrases hız ölçümü	146
Şekil D.12	Özgül Ağırlık Deneyi	146

## ÇİZELGE LİSTESİ

<b>Çizelge Numarası</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1	TS EN 197-1 No'lu standarda göre çimento tipleri	11
Çizelge 2.2	Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı, %	13
Çizelge 2.3	Çeşitli cürüflerin kimyasal kompozisyonlarına örnekler	15
Çizelge 3.1	Çimentoların fiziksel özellikleri	29
Çizelge 3.2	Çimentoların kimyasal analiz sonuçları	29
Çizelge 3.3	Çimentoların mineralojik bileşenleri	29
Çizelge 3.4	Cürufun fiziksel özellikleri	30
Çizelge 3.5	Cürufun kimyasal analizi	30
Çizelge 3.6	Kumun granülometrisi (%)	30
Çizelge 3.7	Çimentoların cüruf katkı oranına ve akışkanlaştırıcı katkı maddesine göre kodlanması	32
Çizelge 3.8	Taze harçlarda yayılma ve birim ağırlık	35
Çizelge 3.9	Kimyasal katkısız ve katkılı numunelerin eğilme dayanımı sonuçları	36
Çizelge 3.10	Kimyasal katkısız ve katkılı numunelerin basınç dayanımı sonuçları	37
Çizelge 3.11	Eskitme deneyleri sonunda eğilme dayanımı sonuçları	42
Çizelge 3.12	Eskitme deneyleri sonunda basınç dayanımı sonuçları	43
Çizelge 5.1	Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre eğilme dayanımı değer analizi	105
Çizelge 5.2	Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre basınç dayanımı değer analizi	106
Çizelge 5.3	Kimyasal katkısız harçların 7.güne göre birim ağırlık, hacimce su emme ve özgül ağırlık değer analizi	107
Çizelge 5.4	Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre ağırlık değişimi değer analizi	109
Çizelge 5.5	Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre boy değişimi değer analizi	110
Çizelge 5.6	Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre ultrases hız değişimi değer analizi	111
Çizelge 5.7	Kimyasal katkılı harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre eğilme dayanımı değer analizi	113
Çizelge 5.8	Kimyasal katkılı harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre basınç dayanımı değer analizi	114
Çizelge 5.9	Kimyasal katkılı harçların 7.güne göre birim ağırlık, hacimce su emme ve özgül ağırlık değer analizi	115
Çizelge 5.10	Kimyasal katkılı harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre ağırlık değişimi değer analizi	117
Çizelge 5.11	Kimyasal katkılı harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre boy değişimi değer analizi	118
Çizelge 5.12	Kimyasal katkılı harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre ultrases hız değişimi değer analizi	119



Çizelge 5.13	Kimyasal katkısız ve katkılı çimentoların mekanik özelliklerinin değer analizi sonuçları	121
Çizelge 5.14	Kimyasal katkılı ve katkısız çimentolara göre ağırlık, boy ve ultrases hız değişimi değer analizi sonuçları	122
Çizelge 5.15	Çimentoların mekanik ve fiziksel özelliklerinin katkısız ve katkılı harçlara göre toplam değer analizi sonuçları	123
Çizelge A.1	Kimyasal katkısız ve katkılı numunelerin su emme ve birim ağırlık sonuçları	127
Çizelge A.2	Kimyasal katkısız ve katkılı harçlarda özgül ağırlık	128
Çizelge A.3	Su içinde kimyasal katkısız harçların ağırlık değişimi %	129
Çizelge A.4	Su içinde kimyasal katkılı harçların ağırlık değişimi %	130
Çizelge A.5	Islanma-kuruma etkisindeki kimyasal katkılı harçların ağırlık değişimi %	131
Çizelge A.6	Islanma-kuruma etkisindeki kimyasal katkısız harçların ağırlık değişimi %	132
Çizelge A.7	Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkılı harçların ağırlık değişimi %	133
Çizelge A.8	Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkısız harçların ağırlık değişimi %	134
Çizelge B.1	Su içinde kimyasal katkısız harçların boy değişimi %	135
Çizelge B.2	Su içinde kimyasal katkılı harçların boy değişimi %	136
Çizelge B.3	Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkılı harçların boy değişimi	137
Çizelge B.4	Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkısız harçların boy değişimi	138
Çizelge C.1	Su içinde kimyasal katkısız harçların ultrases hızı %	139
Çizelge C.2	Su içinde kimyasal katkılı harçların ultrases hızı %	140
Çizelge C.3	Islanma-kuruma etkisindeki kimyasal katkılı harçların ultrases geçiş hızı %	141
Çizelge C.4	Islanma-kuruma etkisindeki kimyasal katkısız harçların ultrases geçiş hızı %	142
Çizelge C.5	Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkısız harçların Ultrases geçiş hızı %	143
Çizelge C.6	Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkılı harçların Ultrases geçiş hızı %	144

## ÖNSÖZ

Tezimi yöneten, çalışmalarım sırasında, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak bana yol gösteren, ilgi ve desteğini hiç eksiltmeyen sevgili Hocam Sayın Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE'ye, tez süresince bilgi ve görüşlerinden yararlandığım Hocam Sayın Prof. Dr. Fevziye AKÖZ'e,

Bana destek veren Hocam Sayın Prof. Dr. Gündüz ÖZİŞİK'a,

Laboratuarda, katkılarından dolayı Araş. Gör. İnşaat Yük. Müh. Kemal ÇELİK'e ve İnşaat Müh. Ali Can TARAZ'a,

Gerekli malzemelerin temininde ve ön deneylerin yapımında imkan sağlayan Set Çimento Italcementi Group Anadolu Çimentoları T.A.Ş'nin Satış ve Pazarlama Müdürü sevgili arkadaşım Levent ONAT'a, Ambarlı Set Çimento Fabrikası Operasyon Şefi Ramazan ABAY'a, AR-GE laboratuvarlarından yararlandığım Balıkesir Set Çimento Fabrikası Kalite Kontrol Şefi, Sayın Eren DEMİRAL'a ve çalışanlarına, teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren canım annem Münevver ÖZGÜR'e ve canım babam rahmetli Hamdi ÖZGÜR'e, ne kadar teşekkür etsem azdır.

Tezimin bitmesi için beni destekleyen, sevgili eşim Turgay'a ve biricik kızım Azra'ya gönül dolusu sevgilerimi sunarım.

**Sibel ÖZGÜR GİRİNKARDEŞLER**

**Balıkesir, Şubat 2008**

## 1. GİRİŞ

İyi bir yapıdan beklenen temel özellikler dayanım, dayanıklılık, ekonomi, işlevsellik ve estetiğin sağlanmasıdır. Bu nedenle günümüzde taşıyıcı yapı malzemelerin dayanımı ve uzun süreli performansı yüksek, üretimi kolay, çevre ile uyumlu ve ekonomik olması istenmektedir. Gelecekte proje sahiplerinin; yapı sahibinin veya tüm ilgili tarafların ve kullanıcıların gereksinimlerine yanıt verecek şekilde, yapının sadece yük taşıma kapasitesine göre değil, sünekliğini, dayanıklılığını, yangına ve depreme karşı dayanıklılığını arttırarak performansa dayalı projeler geliştirmesi beklenmektedir. Örneğin betonarme yapıların tasarımında dayanımın yanında dayanıklılığın da dikkate alınması günümüzde giderek daha çok önem kazanmaktadır. Çünkü betonarme yapılar, zamanla değişik nedenlerle hasar görebilir ve eskiyebilir, örneğin beton içindeki donatının, korozyonu sonucunda betonda çatlak ve bozulmalar oluşabilir.

Dayanıklılık, yapı bileşeni veya yapı elemanının yapı sistemi içindeki servis yeteneğini belirli bir zaman içinde sürdürebilme yeteneğidir. Servis yeteneği, malzeme yapı bileşeni veya yapı elemanının yapı sistemi içindeki işlevidir. “Servis ömrü, malzeme, yapı bileşeni veya yapı elemanı, belirlenen özelliklere uygun olarak uygulama hatası olmaksızın yerine yerleştirildiği, ön görülen bakım ve onarım, zamanında, kurallara uygun ve eksiksiz olarak yapıldığı halde malzemenin, yapı bileşeninin veya yapı elemanının servis yeteneğinin en aza inmesi için geçen zaman aralığıdır” [1,2]. Betonarme yapılarda bu zaman aralığının servis ömrünün, arttırılması için betonun temel özelliklerinin ve betonu oluşturan malzemelerin doğru tanınması ve iyi bilinmesi gerekir.

Bilindiği gibi “**Beton**”, ince ve iri agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karılması ile elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonda, kompozitin matris fazını oluşturan harç, çimento, su, ve ince agreganın karışımından, harcın matrisi olan çimento matrisi ise çimento ve suyun karışımından oluşur. Betonun plastikliğini koruduğu süredeki durumun, yani malzemelerin karılmasıyla elde edilen plastik durumun, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar nedeniyle giderek azalıp, katılaştırmanın başladığı an’a kadarki haline

“taze beton”, betonun katılaşıma olayından sonraki durumuna da “sertleşmiş beton” denilmektedir [1]. Cinsi ve miktarı ile betonun dayanımını ve dayanıklılığını doğrudan etkileyen çimento, Latince’deki “coementum” kelimesinden Avrupa dillerine “cement, ciment, zement” şeklinde geçmiş, Türkçe’ye ise İtalyanca’daki “cemento” kelimesinden geldiği tahmin edilir.

“Çimento”; başlıca silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitleri içeren hammaddelerin sinterleşme derecesine kadar pişirilmesiyle elde edilen yarı mamul klinkerin, alçı taşı katılarak öğütülmesi ile üretilen, havada ve suda sertleşen bağlayıcı özellikte malzemelerdir [2]. Hammaddesinin farklı olması nedeni ile dayanımı birbirine yakın ve aynı sınıfta tanımlanan çimentoların ve mineral katkı katılması durumunda performansının araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan kaynak taramasında, farklı dayanım sınıfındaki çimentoların dayanım ve dayanıklılığının araştırıldığı ve birbiri ile karşılaştırıldığı görülmüştür. Aynı dayanım sınıfında ancak üretim tesisi farklı, birden fazla çimentonun ve farklı oranlardaki bir mineral katkının dayanım ve dayanıklılığının araştırılmadığı görülmüştür. Betonun dayanıklılığını etkileyen temel malzemenin çimento olduğu dikkate alınarak daha duyarlı çalışabilmek için çimentoların performansı beton yerine harç numunelerde araştırılmıştır.

Bu çalışmada aynı dayanım sınıfındaki hammaddenin ve farklı tesislerde üretilen çimentoların performansına üretim sisteminin etkili olup olmadığının araştırılması amacı ile beş farklı tesisten CEM I 42.5 çimentosu temin edilmiştir. Bu çimentoların, Karabük Demir Çelik Fabrikasından alınan yüksek fırın cürufu mineral katkı olarak katılmıştır. Çimentodan daha ince öğütülmüş olan yüksek fırın cürufu çimentoya ağırlıkça, % 0, % 5, % 9 ve % 14 oranında çimento ile ikame edilerek katılmış, 20 farklı çimento elde edilmiştir. Bu çimentolar ile 0.65 su/çimento oranında 20 adet kimyasal katkısız, % 0.4 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ile 20 adet kimyasal katkılı olmak üzere iki seride 40 farklı harç üretilmiştir. Taze harçlarda yayılma ve birim ağırlık deneyleri, sertleşmiş harçlarda üretimden sonra 7., 28., 56. ve 210. günde eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca harçlarda birer hafta ara ile su emme, birim ağırlık, boy değişimi, ağırlık değişimi ve ultrases geçiş süresi ölçümleri yapılmıştır. Dayanıklılığın araştırılacağı

numuneler ıslanma-kuruma ve donma-çözülme etkisine maruz bırakılmıştır. Donma-çözülme etkisi magnezyum sülfat çözeltisi ile gerçekleşmiş, numuneler 28 gün suda bekledikten sonra magnezyum sülfat çözeltisinde tutulmuştur. Eskitme süreçlerinin etkisini araştırmak için kontrol deneyleri olarak ağırlık, boy değişimi, ultrases geçiş süresi ölçümü, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, dayanım sınıfı CEM I 42.5 olan hammaddesi ve üretim tesisi farklı çimentolarda performansının farklı olduğu görülmüştür.

## 2. KONU ile İLGİLİ KAYNAK TARAMASI

Farklı tesislerden elde edilen aynı dayanım sınıfında çimentoların dayanım ve dayanıklılığının karşılaştırılması amacı ile yapılan çalışmaya başlamadan önce çimento, puzolanlar, katkı maddeleri ve betonun dayanıklılığı ile ilgili kaynak taraması yapılmış, çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

### 2.1 Konu İle İlgili Açıklamalar

Beton ve harcın dayanım ve dayanıklılığı ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Beton ve/veya harç, mineral katkı ve/veya kimyasal katkılarla üretildiğinde, dayanım ve/veya dayanıklılığa etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar derlenerek verilmiştir.

Tan ve Pu tarafından yapılan çalışmada, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu ve bunların bileşimlerinin dayanıklılığa etkileri araştırılmış ve % 20 ilaveli uçucu kül ve cürufun 3 günden sonra basınç mukavemetini arttırdığı gösterilmiştir [5].

Yörük tarafından yapılan çalışmada, uçucu külün betonun dayanıklılığına etkisi incelenmiştir. Uçucu küllü betonların, uçucu kül içermeyen betonlara göre daha az mukavemet kaybettikleri ve zararlı ortamdan daha az etkilendikleri görülmüştür [6].

Fu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, büyük miktarda yüksek fırın cürufu ilave edilmiş portland çimentoları kullanılarak farklı karışımlar elde edilmiş ve en uygun karışımın % 30-50 klinker, % 45-65 cüruf, % 6-8 hızlandırıcı, bu konuda inceliğin 340-360 m<sup>2</sup>/kg olduğu söylenmiştir [7].

Özkan tarafından yapılan çalışmada, çelikhane ve yüksek fırın cürufu katkılı portland çimentosunun özellikleri araştırılmış, granüle yüksek fırın cürufu (GFYC) ve cürufli çimento (CÇ), klinker-alçı karışımı ile ayrı ayrı ve birlikte yer değiştirilmiş ve 22 farklı kombinasyonda çimento elde edilmiştir. Çalışma

sonucunda, % 50 GYFC ve % 50 GYFC-CC katkıli betonların en iyi sonuçları verdiği, bu betonların özellikle sülfatlara ve yüksek sıcaklığa portland çimentosuna göre daha dayanıklı olduğu görülmüştür [8].

Yaprak ve Kardemir tarafından yapılan çalışmada, yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu kül (UK) süper akışkanlaştırıcı (SA) katkıli beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. UK ve YFC ağırlıkça % 0, % 10, % 20, % 30 oranlarında portland çimentosu (PÇ 42,5) ile ikame edilerek SA katkıli betonlar üretilmiştir. Karışımlarda su/bağlayıcı ve SA oranı sabit alınmıştır. En yüksek basınç dayanımı, % 10 UK ve % 20 YFC betonlarda elde edilmiştir [9].

Li ve Ding tarafından yapılan çalışmada, metakaolin, cüruf ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak portland çimentosunun özelliklerini araştırılmıştır. Portland çimentosuna aynı oranda metakaolin, süper akışkanlaştırıcı ve S/Ç 0.44 kullanıldığında basınç mukavemetinin arttığı, akışkanlığın azaldığı, % 10 metakaolin ve % 20 veya % 30 daha ince cüruf kullanıldığında basınç mukavemeti ve akıcılık özelliklerinde iyileşme olmadığı görülmüştür [10].

Özkan tarafından yapılan çalışmada, atık cam ve yüksek fırın cürufu katkıli harçların özellikleri araştırılmıştır. İki farklı renkte camın tek başlarına ve cama ilave olarak yüksek fırın cürufunun çimento ile çeşitli oranlarda yer değiştirmesiyle oluşturulan harç numuneleri üretilmiştir. Numunelerin basınç dayanımının, NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> ve yüksek sıcaklığa karşı değişimi araştırılmıştır. Basınç dayanımı % 10 renksiz cam-yüksek fırın cürufu yer değiştirmesinde en yüksek sonuç elde edilmiş, diğer dayanıklılık deneylerinde ise tüm harçlarda referans harçtan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [11].

Aldea ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, % 25, % 50 ve % 75 oranında cüruf katkıli betonlar üretilmiş, bu numunelerin bir grubu 175 °C sıcaklık ve 0.5 MPa otoklav'da, bir grubu 80 °C sıcaklıkta buhar kürü, diğer bir grubu da normal kür koşullarına maruz bırakılmış, kür koşullarının beton özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Numunelerde, eğilme ve basınç dayanımı, klorür geçirgenliği ve mikro yapıyı incelemiştir. Sonuçta cüruf arttıkça klorür geçirgenliğinin azaldığını,

dayanıklılıkta en iyi sonucu oda sıcaklığında kür'ün verdiğini fakat hızlı dayanım gerekiyorsa buhar kür'ünün tercih edilebileceğini belirtmişlerdir [12].

Demirboğa ve arkadaşları tarafından, yüksek oranlı mineral katkılı betonda ultrases hızı ve basınç mukavemeti arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu çalışmada, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, cüruf ve uçucu kül mineral katkıları portland çimentosuna ikame ederek betonlar yapmışlardır. 3, 7, 28, 120 günlük kür koşullarında basınç dayanımı ve ultrases hızlarını ölçmüşler, erken kür koşullarında hepsinde özellikle uçucu külde basınç mukavemeti ve ultrases hızlarının düşük olduğunu, ilerleyen kür koşullarında ise yüksek olduğunu görmüşlerdir [13].

Çelik ve Kılınçkale tarafından yapılan çalışmada, çimento miktarı, türünün ve öğütmenin çimentonun dayanım performansına etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve tras 4 farklı oranda (% 10, % 15, % 20, % 25) çimentoya ikame edilerek 12 tip katkılı çimento ve kontrol amaçlı katkısız CEM I 42.5 N çimentosu üretilmiştir. 28 günlük standart kürün sonunda % 10 ve % 15 oranında tras içeren katkılı çimentoların dayanımı, katkı içermeyen kontrol çimentosundan daha büyük olmadığı, dayanım bakımından erken yaşlarda ve 28. günün sonunda YFC'nin daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür [14].

Akperov ve Akyüz tarafından yapılan çalışmada, normal ve düşük dayanımlı, katkısız ve mineral katkılı betonların deformasyonları incelenmiş, deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, mineral katkıların düşük dayanımlı betonların zamana bağlı deformasyonları üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı, buna karşın normal dayanımlı betonlarda, sünme ve rötre değerlerinde düşüşe neden olduğu belirlenmiştir [15].

Li ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada,, mineral katkılı çimento hamuru ve harçların porozite basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmada, % 10'dan % 40'a kadar çelik cürufu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanmışlardır. Bütün numunelerde 3, 7, 28, 90 ve 180. günlerde porozite ve basınç mukavemetlerini ölçmüşlerdir. Mineral katkıların portland çimentosuna göre mikro gözeneklerin oluşumunu geciktirdiği ve mukavemeti hızlandırdığı görülmüştür.



Performanslarına göre büyükten küçüğe doğru sıralandığında uçucu kül, çelik cürufu, yüksek fırın cürufu olarak yapılmıştır [16].

Topçu ve Boğa tarafından yapılan çalışmada, betonda mineral katkılardan başka eski otomobil lastiği katılarak, bunların da dayanıklılığa etkisi ve silis dumanlı betonlarda donma-çözülme etkisi araştırılmıştır [17,18].

Özturan ve Güneyisi tarafından yapılan çalışmada, değişik şartlarda polimer bazlı onarım harçları ve katkılı ve katkısız betonlar kullanılmıştır. Betonlarda; kullanılan çimento tipi, su-çimento oranı, uygulanan bakım koşulları ve süresinin mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Lateks harçlarında polimer çimento oranındaki artışla basınç dayanımı dışındaki eğilme, çekme gibi mekanik özelliklerin iyileştirildiği ve rötrenin azaldığı, ayrıca asit etkisi dışında dayanıklılığın arttığı gözlenmiştir [19,20].

Başkoca ve arkadaşları, eskitilmiş betonda dayanım özelliklerini uzatmak için kimyasal katkıların etkilerini araştırmıştır. Çalışmada linyosülfonat, glikonat ve dekstrin su azaltıcılar kullanılmıştır. Glikonat ve linyosülfonat'lı kimyasal katkılarda daha az yayılma kaybı görülmüştür. Numunelerde priz başlangıçları uzamıştır. Eskitmeden sonra dayanım değişiklikleri başlamıştır. Dayanım azalmaları gikonatlı su azaltıcılarda diğerlerine göre daha az olmuştur [21].

Yazıcı tarafından yapılan çalışmada, yüksek fırın cürufu katkılı harçların sülfat dayanıklılığı incelenmiştir. Bu çalışmada, PÇ 42,5 çimentosu kullanılarak hazırlanan, değişik oranlarda yüksek fırın cürufu(YFC) içeren harçların sodyum sülfat çözeltisinde farklı koşullarda bekletildiklerinde oluşan genleşmeler ve basınç dayanımlarındaki değişimler belirlenmiştir. Yüksek fırın cürufu kullanımı, harçların sülfat dayanıklılığını olumlu yönde etkilemiştir [22].

Vuk ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, çimentoların, cüruf, uçucu kül ve silis dumanın ile sülfata dayanıklılıkları araştırılmıştır.  $C_3A$  ve  $C_3S$ 'leri yüksek ve düşük olan çimentoların performanslarını karşılaştırmışlardır.  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $\text{MgSO}_4$  çözeltisine bırakılan sertleşmiş çimento hamurlarının sülfat etkileşimi, X ışını

difraktometresinde incelenmiştir. Silis dumanlı hamurların sülfata dayanıklılığı arttırdığı görülmüştür [23].

Hekal, Kishar ve Mostafa tarafından yapılan çalışmada, katkılı çimento hamurlarında magnezyum sülfat etkisini araştırmışlardır. Katkı maddesi olarak silis dumanı, cüruf ve kalsiyum karbonat kullanarak, S/Ç 0.3 almışlar ve % 10 MgSO<sub>4</sub> çözeltisi kullanmışlardır. Çevrimleri, oda sıcaklığında ve 60 °C'de yapmışlar ve basınç dayanımına etkilerini araştırmışlardır. Cüruf ve kalsiyum karbonatın, portland çimento hamurunu iyileştirdiğini yani basınç dayanımını arttırdığını, sülfata dayanıklılığı araştırmak için harç ve betonda da hızlandırılmış yöntemin kullanılabilceğini belirtmişlerdir [24].

Kılınçkale tarafından yapılan deneysel çalışmada puzolanlı çimento harçlarında, dayanım ve dayanıklılığın, magnezyum sülfat ve hidroklorik asit çözeltilerinin etkileri araştırılmış, silis dumanı, pirinç kabuğu külü, yüksek fırın cürufu ve tras portland çimentosunun yerine % 20 katılarak puzolanlı çimentolar üretilmiş, numuneler % 5 MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O çözeltisi ve ayrıca HCl çözeltisinde bekletilmiştir. Silis dumanlı ve uçucu küllü harçlarda HCl çözeltisinde ağırlık kaybı, diğerlerinde ağırlık artışı, MgSO<sub>4</sub> çözeltisinde bekletilen bütün harçlarda da ağırlık artışı olduğu ifade edilmiştir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu harçlar dışında bütün harçlarda şahit numuneye göre basınç dayanımları yüksek olmuştur. MgSO<sub>4</sub> çözeltisinde bekleyen yüksek fırın cürufu harçlar dışında bütün harçların MgSO<sub>4</sub> ve HCl çözeltisine karşı dayanıklılık gösterdiği belirtilmiştir [25].

Topçu, Hüsem tarafından yapılan iki ayrı çalışmada, Puzolanlı çimentolarla üretilen betonlarda; silis dumanlı katkılı betonlarda donma-çözülmenin etkisiyle mikro çatlakların daha büyüdüğü, uçucu küllü katkılı betonlarda ise karışımda 30-60 kg/dm<sup>3</sup> uçucu kül kullanımında donmaya karşı dayanıklılık gösterdiği görülmüştür [18, 26].

Brown ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, 23 yıl laboratuvar koşullarında magnezyum sülfat çözeltisinde bekleyen % 45 ve % 72 yüksek fırın cürufu Tip I portland çimentosu betonlarının mikro yapısını araştırılmıştır. Suda

kalanların yüzeylerinde karbonatlaşma ve kireçlenme, sülfatta kalanlarda ise brusit, etrenjit ve tomasit oluşmuştur. Etrenjit ve tomasit hasarlı bölgelerde bulunmuştur [27].

Belman tarafından yapılan deneysel çalışmada sülfat etkisine maruz bırakılmış betonda tomasit oluşumunun termodinamiği ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Yapılan deneylerin modellenmesi sonucunda, tomasitin, jips, kalsit, portlandit, kuvars ve su karışımından meydana geldiği anlaşılmıştır. Tomasit çökmesinin, aşındırıcı ortamlarda çok düşük sülfat konsantrasyonlarında dahi mümkün olabildiği saptanmıştır [28].

Betona (donma-çözülme, ıslanma-kuruma) ve ısı gibi farklı kür koşulları uygulanan çalışmalarda ikincil etrenjit (SEF) ve oluşan bileşik miktarının akışkan geçişine ve betonun boşluk yapısına bağlı olduğu görülmüştür [29,30].

Donma-çözülmeye karşı dayanıklılık incelendiğinde, yüksek mukavemetli betonlarda çimento cinsi, agrega cinsi ve kür periyotlarının ve parametrelerin önemli olduğu, düşük S/Ç oranı olması gerektiği, normal betonların yüksek mukavemetli betonlara göre daha az mukavemet gösterdiği görülmüştür [31, 32].

Tokyay tarafından yapılan çalışmada, yüksek dayanımlı betonlarda (kullanılan malzeme cinsi, numune geometrisi, bakım koşulları v.b.) bu betonların performansına etkileri, gerilme-gerinim ilişkileri, basınç, çekme ve eğilme dayanımları, zaman-dayanım kazanma ilişkileri, donma-çözülme ve karbonatlaşma dirençleri, rötresi belirlenmiştir [33].

Doğan ve Özkul tarafından “merkezi kompozit tasarım” adında bir istatistiksel yöntem kullanarak uçucu küllü betonlarda dayanıklılık ve dayanım özellikleri incelenmiştir. Karışım parametrelerinden toplam bağlayıcı miktarı, su/bağlayıcı oranı ve uçucu kül/bağlayıcı oranı sayısal, kür koşulları da olmak üzere dört adet bağımsız değişken seçilmiştir. Üretilen numunelerin yarısı kirece doymuş su içerisinde, diğerleri de laboratuvar ortamında açıkta 90 gün bekletildikten sonra basınç dayanımı, kılcal su emme ve hızlı klorür geçirimsizliği (ASTM C 1202) deneyleri uygulanmıştır. Su/bağlayıcı oranı, uçucu kül/bağlayıcı oranı ve kür koşullarının

basınç dayanımı üzerinde etkili olduğu, bağlayıcı miktarının tek başına olmasa da su/bağlayıcı oranı, uçucu kül bağlayıcı oranı ve kür koşulları tek başına, kür-su/bağlayıcı oranı ile kür-uçucu kül/bağlayıcı oranı ilişkileri ikili olarak etkili olmuştur [34].

Smaoui ve Ark; çalışmasında, çimentonun karışım suyuna sodyum hidroksit katarak alkali yüzdesini arttırarak betonun, dayanım dayanıklılığını araştırmış ve yüksek alkalili betonlarda dayanımın azaldığı göstermiştir [35].

## **2.2 Betonda Kullanılan Malzemeler**

### **2.2.1 Çimento**

2002 yılında yürürlüğe giren TS EN 197-1 no'lu standarda göre Çizelge 2.1'de verildiği gibi Türkiye'de 27 tip çimento üretilmektedir. Standart'da CEM I, CEM II,...CEM V ile ifade edilen beş ana grupta çimento vardır [40]. Değişik gruplarda yer alan çimento tipleri, içerdikleri klinker ve çeşitli puzolanik madde miktarlarına göre çizelge 2.1'de gösterildiği gibi beş ana grupta toplanmıştır. A, B, C, olarak yer alan çimento tiplerini takip eden D, L, LL, P, Q, S, T, V ve W harfleri, çimentonun kompozisyonundaki puzolan cinsini ve kalkerini belirtmektedir. Bu harflerin anlamı, standartta şöyle açıklanmıştır [38]:

- A: Çimentonun en az mineral katkı içeren tipi
- B: Çimentonun A tipinden daha fazla mineral katkı içeren tipi
- C: Çimentonun B tipinden daha fazla mineral katkı içeren tipi
- K: Klinker
- D: Silis dumanı
- L: Organik karbon muhtevası % 0.5'den az olan kalker
- LL: Organik karbon muhtevası % 0.2'den az olan kalker
- P: Doğal puzolan
- Q: Kalsine edilmiş puzolan
- S: Granüle yüksek fırın cürufu
- T: Pişmiş şist
- V: Silissi uçucu kül

W: Kalkersi uçucu kül

Çizelge 2.1 TS EN 197-1 No'lu standarda göre çimento tipleri

<b>Ana Gruplar</b>		<b>Her Gruptaki Çimento Tipleri</b>
CEM I	Portland Çimento	CEM I
CEM II	Portland Cürüflu Çimento	CEM II/A-S CEM II/B-S
	Portland-Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D
	Portland –Puzolanik Çimento	CEM II/A-P CEM II/B-P CEM II/A-Q CEM II/B-Q
	Portland –Uçucu Küllü Çimento	CEM II/A-V CEM II/B-V CEM II/A-W CEM II/B-W
	Portland –Pişmiş Şistli Çimento	CEM II/A-T CEM II/B-T
CEM II	Portland-Kalkerli Çimento	CEM II/A-L CEM II/B-L CEM II/A-LL CEM II/B-LL
	Portland-Kompoze Çimento	CEM II/A-M CEM II/B-M
CEM III	Yüksek Fırın Cürüflu Çimento	CEM III/A CEM III/B CEM III/C
CEM IV	Puzolanik Çimento	CEM IV/A CEM IV/B
CEM V	Kompoze Çimento	CEM V/A CEM V/B

### 2.2.2 Agregalar

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık %75'i agregalar tarafından oluşturulmaktadır. Agreganın çimento ile kimyasal reaksiyon yapmaması gerekir. Agreganın mineralojik yapısı, silis yapısı da hacim genişlemesine neden olan yapıda olmamalıdır [47,48].

Agregalar için genel olarak yapılan sınıflandırmalar şöyledir: Kaynağına göre doğal, yapay; özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre normal ağırlıklı, hafif, ağır; tane büyüklüğüne göre iri, ince; tane şekline göre yuvarlak, köşeli, yassı, uzun; yüzey dokusuna göre düzgün, granüler, pütürlü, kristalli, petekli; üretime (elde edilmişlerine göre) doğal, yan ürün, ısıtma işlemi tabii tutulmuş; jeolojik orijinlerine göre Volkanik, tortul, metamorfik; mineralojik yapılarına göre: silis mineralli, karbonat mineralli, mikali, vb.; reaktif özelliklerine göre reaktif, reaktif olmayan [39].

### 2.2.3 Puzolanlar

Amerikan Standardı ASTM C 618-94 “Betonda Mineral Katkı Olarak Kullanılacak Uçucu Kül ve Kalsine Edilmiş yada Edilmemiş Doğal Puzolanlar İçin Şartname” de tanımladığı şekli ile puzolanlar kendi başına bağlayıcı özelliği olmayan fakat öğütüldüklerinde nemli ortamlarda kireç ile birleşerek bağlayıcı özellik gösteren silisli veya silis alüminli yapay yada doğal inorganik maddelerdir.

Puzolanlar, oluşuma göre yapay ve doğal olarak iki gruba ayrılır. Doğal puzolanların hemen hemen tamamı volkanik kökenli malzemelerdir. Doğal puzolan kullanımı, özel beton uygulamaları için normal portland çimentosuyla elde edilemeyen bazı teknik avantajlar sağlar (düşük hidratasyon ısı, kimyasal etkilere dayanıklılık, yüksek geç dayanım, vb.). Yapay puzolanlar çeşitli endüstrilerin atık malzemeleri olan uçucu kül, silis dumanı, endüstriyel cürüfler ve pirinç kabuğu külüdür. Ayrıca bazı doğal malzemelerin ısıtma işlemi tabii tutulmasıyla elde edilen puzolanik malzemeler de bu grup altında sınıflandırılmaktadırlar.

Her ne kadar tras ismi özel olarak bir tip doğal puzolanı tanımlamaktaysa da, ülkemizde tüm doğal puzolanlar genel olarak tras ismiyle anılmaktadır. Tras adı Almanya’da da kullanılmaktadır [42].

### 2.2.3.1 Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanların büyük bir bölümü volkanik orijinli malzemelerdir. Volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar, ve volkanik küller, en çok kullanılan volkanik orijinli puzolanlardır. Doğal puzolanlar genel olarak çeşitli ülkelerin standartlarında tanımlanmıştır. Bu standartlardan bazıları Türk Standardı TS 25 “Tras”, Amerikan Standardı ASTM C 618-94 “Betonda Mineral Katkı Olarak Kullanılacak Uçucu Kül ve Kalsine Edilmiş yada Edilmemiş Doğal Puzolanlar İçin Şartname ”ve Avrupa Standardı ENV 197-1 “Çimento Kompozisyonu, Şartnameleri ve Uygunluk Kriterleri Bölüm 1: Genel Kullanım Amaçlı Çimentolardır” [39,42].

Çizelge 2.2’de bazı doğal puzolanlarda yer alan oksit miktarları verilmektedir. Buradan da görüleceği gibi, doğal puzolanların yapısını oluşturan ana oksitler, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’dir. Killerde bu oksitlerin yanı sıra, % 20 civarında CaO yer almaktadır [39].

Çizelge 2.2 Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı, %

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Alkali
Volkanik Cam	61.5	14.5	5.5	3.0	1.1	6.5
Volkanik Tüf	52.1	18.3	5.8	4.9	1.2	6.6
Diatomlu Toprak	86.0	2.3	1.8	-	0.6	0.4
Pişmiş Kil	42.2	16.1	7.0	21.8	1.9	1.3

### 2.2.3.2 Yapay Puzolanlar

Bunlar endüstriyel atık üründür. Uçucu küller, silis dumanı, pirinç kabuğu külü ve granüle yüksek fırın cürufu yapay puzolanlardır.

Elektrik enerjisi üretimi için, termik santrallerin çoğunda yakıt olarak pulvarize kömür kullanılmaktadır. Pulvarize kömürün yanmasıyla büyük bir miktarı çok ince olan, bir miktarı da nispeten biraz daha iri boyutlara sahip olan kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin yaklaşık % 75-% 80'i gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimi gösteren çok ince taneli küllerdir. Bu küllere “uçucu kül” (fly ash) denilmektedir. Uçucu küllerde yüksek miktarlarda yer alan oksitler  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'dür. Bunların yanı sıra, bir miktar  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{C}$  ve  $\text{Na}_2\text{O}$  bulunabilmektedir. Silis ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermektedirler; kalsiyum hidroksitle birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadır. O nedenle, hem portland-puzolan tipi çimento üretiminde hem de beton katkı maddesi olarak doğrudan kullanılmaktadırlar [39].

Silis dumanı, silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozudur [42].

Silis dumanı, amorf yapıya sahip, çok ince taneli malzeme olduğundan ve yüksek miktarda  $\text{SiO}_2$  içerdiğinden, mükemmel bir puzolanik malzemedir. Diğer puzolanik malzemeler gibi, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiği takdirde, hidrolik bağlayıcılık göstermektedir. Silis dumanı, portland çimentosu klinkeri ile ve küçük miktarda alçıyla birlikte öğütülerek “silis dumanlı çimento” (çimento-silika füme) üretiminde kullanılır. Ancak, asıl kullanımı, beton katkı maddesi şeklindedir. Çok ince taneli olması ve yüksek miktarda  $\text{SiO}_2$  içermesi nedeniyle akışkanlaştırıcı ile birlikte kullanılarak oldukça yüksek dayanımlı betonlar elde edilir [39].

Cürufur ve yüksek fırın cürufuru, çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından birisidir. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri elde edildikleri ana ürün tipine ve üretim yöntemine bağlı olarak birbirinden çok farklılık gösterir.



Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen yüksek fırın cürufu (YFC) yüksek fırınlarda, daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde yer alır. Demir filizi gangi, kok ve kireçtaşının yanma sonrası artıkları YFC' yi meydana getirirler. YFC' nin oluşum sıcaklığı 1400-1600 °C'dir. YFC yavaş soğutulduğunda kristal bir yapıya sahip olur. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahiptir ve beton agregası olarak kullanılabilir. Öte yandan hızlı soğutma uygulanması sonucunda ise camsı yapıda cüruf elde edilir. Bu tür cüruflar granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) olarak adlandırılırlar. GYFC bir miktar hidrolik özelliğe sahiptir. Çizelge 2.3'de çeşitli cürufların kimyasal kompozisyonlarına örnekler verilmiştir [43].

Çizelge 2.3 Çeşitli cürufların kimyasal kompozisyonlarına örnekler [44]

%	Demir Cürufları				Diğer Cüruflar				
	Yüksek Fırın Cürufları				Linz Donawitz Cürufu (Almanya)	Kurşun- Çinko Cürufu (İngiltere)	Nikel Cürufu (Kanada)	Bakır Cürufu (Güney Afrika)	Fosfor Cürufu (ABD)
	1 (Fransa)	2 (Japonya)	3 (Türkiye)	4 (Türkiye)					
SiO <sub>2</sub>	35	31	40.2	38.6	13	18	29	34	41
CaO	43	37	34.5	31.7	47	20	4	9	44
MgO	8	8	9.4	9.3	1	1	2	4	1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12	16	11	15.2	1	6	1	6	9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4	0.7	0.8	0.8	31	38	53	44	1

Pirinç kabuğu külü, çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığıdır. Pirinç kabuğunun yapısındaki SiO<sub>2</sub>, kabuklar yandıktan sonra elde edilen kül hızlı bir şekilde soğursa amorf SiO<sub>2</sub>, yavaş soğursa kristal SiO<sub>2</sub> şeklinde oluşur. Amorf şekilde özgül yüzeyi 50-60 m<sup>2</sup>/g gibi büyük bir değerdedir. Bu nedenle puzolanik aktivitesi yüksektir. Yapı malzemesi olarak çimento veya kirece katılarak harç üretmek mümkündür. Çimentoya katılarak puzolan gibi kullanılır. Ancak pirinç kabuğu külü çimentoya katılırken uygun bir şekilde öğütülmelidir. Kül çimentoya

öğütülmüş bir şekilde katıldığı gibi klinker ve alçıtaşı ile birlikte öğütülebilir. Bu şekilde çimentoyla birlikte öğütüldüğünde mekanik özellikler daha iyidir [44].

#### **2.2.4 Kimyasal Katkılar**

Betonda kullanılan kimyasal katkı maddeleri çimento, agrega, su ile varsa mineral katkı maddelerinin yanı sıra, beton karışmadan önce veya karıştırma sırasında katılan organik veya inorganik maddelerdir. Katkılarının yoğunlukları ve renkleri farklı, katı veya sıvı şeklindedir. Betonda katılım oranları çimentonun ağırlıkça % 5'ini (çoğu kez % 1'ini) geçmez. Kimyasal katkı maddeleri ile gerek taze betonun gerekse sertleşmiş betonun bir çok özelliği değiştirilebilir. Bu nedenle özellikle son yıllarda çeşitleri ve kullanım alanları çoğalmıştır. Ülkemizde de bazı türlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır [45, 46].

##### **2.2.4.1 Su Azaltıcı Katkı Maddeleri (Akışkanlaştırıcılar)**

Beton katkı maddeleri, su azaltıcı, priz süresini değiştiren ve hava sürükleyici katkı maddelerinin yanında farklı amaçlar için kimyasal katkı maddeleri vardır [46].

Normal miktarda su azaltıcı katkı maddeleri (akışkanlaştırıcılar), TS EN 934-2'ye göre, beton yapımında kullanılacak kimyasal katkı maddelerinin, çimento kütlesinin % 5'inden fazla olmaması gerekmektedir. Karışım suyunda katkı maddesinin yol açtığı azalmanın miktarı % 12'den az olduğu takdirde, bu tür katkı maddelerine “normal miktarda su azaltıcı katkı maddeleri” veya “plastikleştirici” veya “akışkanlaştırıcı” denir [38, 46].

Su azaltıcı katkı maddeleri çimento tanesi-su ara yüzeyinde fonksiyon görürler. Çimento-su sistemine girdiklerinde yüzeyinde emildikleri çimento tanesini hidrofıl yaparlar, eksi yük oluştururlar ve suyun yüzey gerilmesini azaltırlar. Bu durumda çimento taneleri birbirlerini iterek su içinde yayılırlar. Ayrıca evvelce kümelenmiş tanelerin arasına sıkışmış olan su da serbest kalarak çimento hamurunda viskozitenin

azalmasına yardımcı olur. Betonda su azaltıcı katkı olarak çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bunlar arasında linyosülfonik asitler ve tuzları ile türevleri (sodyum, kalsiyum linyosülfonatlar), hidroksikarboksilik asitler ve tuzları ile türevleri sayılabilir [38,46].

Yüksek miktarda su azaltıcı katkıları (süper akışkanlaştırıcılar), inşaat mühendisliğine dayalı alanlarda geniş çapta kullanılmaktadır. Bu maddelerin çok ufak miktarları bile, bir çok çimento tipi için, ilave edildikleri beton karışımlarında, işlenebilirlik, mekanik dayanım ve diğer özellikleri önemli ölçüde iyileştirirler. Bu polimerler, beton karışımına ilave edildiğinde karıştırma esnasında, öncelikle çimento parçacıklarının üzerinde adsorplanırlar ve yapılarındaki sülfonik asit grupları dolayısıyla yüzey yüklerini nötralize ederek dispersiyonu sağlarlar. Bunun sonucunda çimento topraklarının küçük parçacıklara ayrılması ile betonu oluşturan karışımın viskozitesinde önemli bir oranda azalma olur. Süper akışkanlaştırıcıların kullanımıyla, beton karışımındaki standart su/çimento oranı (S/Ç) % 12-30'a kadar azalırken, betonun işlenebilirliği ve akış özellikleri korunur ve sabit S/Ç oranlarında işlenebilirliği artar. Dolayısıyla, betonun su miktarı azaltılırken, işlenebilirlik ve basınç dayanımı özelliklerinde iyileşmeler meydana gelir. Bu nedenle bu maddeler “yüksek oranda su azaltıcılar” olarak adlandırılırlar [38].

Süper akışkanlaştırıcıların başlıca görevleri:

- a) taze betonun reolojik özelliklerini, terleme (bleeding) ve ayrışma (segregasyon) olmadan iyileştirmek,
- b) katı parçacıkların çok üniform bir şekilde dağılması için bir kaydırıcı veya dispersiyon reaktifi rolü oynamak,
- c) karışımın morfolojisini iyileştirmek için, çimento veya hidrate olmuş ürünlerle girişim yapmak, çimentonun sertleşmesini, mukavemet kazanmasını ve kararlı olmasını sağlamaktır [39].

Hiper akışkanlaştırıcılar (yeni kuşak süper akışkanlaştırıcılar), Naftelin veya melamin sülfone formaldehitler ve polikarboksilat türü 3. nesil akışkanlaştırıcılardır. Yeni kuşak süper akışkanlaştırıcı olarak da isimlendirilen hiper akışkanlaştırıcılar süper akışkanlaştırıcılara oranla daha yüksek oranda su kesme ve 90 dakika süre ile işlenebilirliğini koruma özelliğine sahiptir. Hiper akışkanlaştırıcılar betona yüksek oranda su kesme özelliği kazandırır, uzun süre ayrışmadan ve titreşim gerektirmeden kendiliğinden yerleşen beton elde edilmesini sağlarlar [66].

#### **2.2.4.2 Priz Hızlandırıcı Katkı Maddeleri**

Priz süresini hızlandıran katkı maddeleri genellikle başlangıçtaki hidrasyon ısını artırırken, sertleşmeyi çabuklaştırıp erken dayanım sağlayabilirler. Hidrasyon ısısının artması aynı zamanda antifiriz işlevi görmelerini mümkün kılar. Bu nedenle bu tür katkılar soğuk havalarda dökülen betonlarda, kalıp sökme sürelerinin kısaltılmasında, prefabrikasyon beton eleman üretiminde, hidrolik basınca karşı tıkkama işlerinde yararlı olurlar. Olumsuz yan etkileri arasında plastik rötre ve klorür içermeleri halinde, betonarmede çelik donatı korozyon riskini arttırmaları sayılabilir. Klorür içeren bileşimlere ek olarak alkali hidroksit ve metal tuzları (kalsiyum klorür, alüminyum klorür, sodyum-potasyum hidroksit, karbonat ve alüminatları,...) bu tür katkılar arasında yer alır [46].

#### **2.2.4.3 Priz Geciktirici Katkı Maddeleri**

Prizi çabuklaştıran katkıların tersine bu katkılar priz başlangıcından önceki durgun aşamayı uzatırlar, özellikle  $C_3S$ 'in ve  $C_3A$ 'nın hidrasyonunu yavaşlatırlar. Bunu genellikle kalsiyum iyonlarının çözünmesini başlangıçta kısmen önleyerek sağlarlar. Çimentonun bileşimine bağlı olarak katkı dozajına çok dikkat edilmesi gerekir. Düşük dozajlarda, hidrasyon sonraları hızlanabilir ve çimento hamurunun dayanım kazanması fazla etkilenmez. Yüksek dozajlarda ise  $C_3S$  hidrasyonu devam etmeyebilir. Bu gibi durumlarda prizin hiç gerçekleşmemesi dahi mümkündür. Priz süresini geciktiren maddeler arasında linyosulfonik ve hidroksi-

karboksilik asitler, karbonhidratlar (şeker, nişasta, selüloz) ve bazı inorganik tuzlar (fosfatlar, çinko, kurşun tuzları) sayılabilir [46].

#### **2.2.4.4 Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri**

“Hava sürükleyici katkı maddeleri” beton yapımı esnasında taze betondaki çimento hamurunun içerisinde küçük boyutlu (0.05-1.25 mm ) ve kalıcı hava kabarcıklarının oluşmasını sağlayan katkı maddeleridir. Hava sürükleyici maddeler arasında, ağaç reçinelerinin tuzları, sentetik deterjanlar, linyosülfonatlar, petrol asitleri tuzları, yağlı ve reçineli asitler ve tuzları sayılabilir [38].

#### **2.2.4.5 Diğer Kimyasal Katkı Maddeleri**

Betonda kullanılan kimyasal katkıları sürekli gelişmektedir. Burada ele alınmayan ancak pratikte kullanılan diğer bazı kimyasal katkıları arasında yeni ve eski betonu yapıştıran, onarım işlerinde kullanılan katkıları (polimer emülsiyonları), çelik donatı korozyonunu önleyici katkıları (kalsiyum nitrit), su itici katkıları (kalsiyum stearat), püskürtme beton katkıları (sodyum alüminat), köpük oluşturan katkıları (alüminyum tozu) ve alkali-agrega reaksiyonunu yavaşlatan katkıları (lityum, baryum tuzları) sayılabilir [46].

### **2.3 Betonda Dayanım**

Üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme “betonda dayanım” olarak tanımlanmaktadır [48].

Beton dayanımını oluşturan unsurlar, çimento hamurunun dayanımı, agreganın dayanımı ve çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderans olarak tanımlanabilir. S/Ç oranı, beton üretiminde, üretim öncesi, sırası ve sonrasında

uyulması gereken kurallar önemlidir. Beton dayanımını etkileyen faktörler; su/çimento oranı, karma suyunun kalitesi, çimento özellikleri, agrega özellikleri, betona uygulanan karıştırılma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırılma işlemleri, kür koşulları ve betonun yaşı olarak sıralanabilir [48].

Aitcin ve Neville tarafından betonun dayanımına su-çimento oranının etkisi araştırılmıştır. Su/çimento oranının çimento hamurunu zayıflattığı, dayanımı azalttığı görülmüştür. Burada S/Ç oranının artması ile harç ve beton fazı arasındaki bağ kuvvetlerinin azalması bunun sonunda dayanımı azaltması ile açıklanmıştır[3,4].

Betonun üretiminde çimentonun cinsi, miktarı, S/Ç oranı, agregaların karışım oranları, mineral ve kimyasal katkıların özellikleri betonun servis ömrünü etkiler. Beton üretirken karıştırılması, taşınması, yerleştirilmesi ve korunması (saklanması) da özel dikkat gerektiren önemli aşamalardır. Beton üretim ve saklanmasında özenli davranılmamışsa zamanla zararlı ortamda istenmeyen reaksiyonlar oluşabilir. Beton yapı elemanlarının çevre koşullarına maruz kalan üst yüzleri genellikle zararlı etkilerin betonla ilk temas edeceği yerlerdir. Burası 1-2 cm kalınlığında bir kabuk veya bir “yüzey bölgesi” dir.

Betonun dayanıklı olması için geçirgenliği mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır. Betonun geçirgenliği, çimento hamuru ile agreganın geçirgenlikleri ve iri agrega-hamur ara yüzeyinden de etkilenir. Göreceli olarak S/Ç oranında harcın geçirgenliği hamurunkinden, betonun geçirgenliği de harcınkinden fazla olmaktadır. Ayrıca agreganın en büyük tane boyundaki artış betonda geçirgenliği de arttırmaktadır [50].

## **2.4 Betonda Dayanıklılık**

“Betonda dayanıklılık” başlangıçtaki özelliklerini ve tasarladığı fonksiyonunu çevre ve hizmet koşulları altında koruyarak devam ettirebilmesi şeklinde tanımlanabilir. Beton bu koşullar altında yıpranarak özelliklerini yitirir, daha fazla kullanımı artık ekonomik olmaz veya güvenli kabul edilmezse faydalı ömrünü tamamlamış olur .

Aköz, servis ömrü'nü, malzeme, yapı bileşeni veya yapı elemanı, belirlenen özelliklere uygun olarak uygulama hatası olmaksızın yerine yerleştirildiği, ön görülen bakım ve onarım zamanında, kurallara uygun ve eksiksiz olarak yapıldığı halde malzemenin, yapı bileşeninin veya yapı elemanının servis yeteneğinin en aza inmesi için geçen zaman aralığı olarak tanımlar [2].

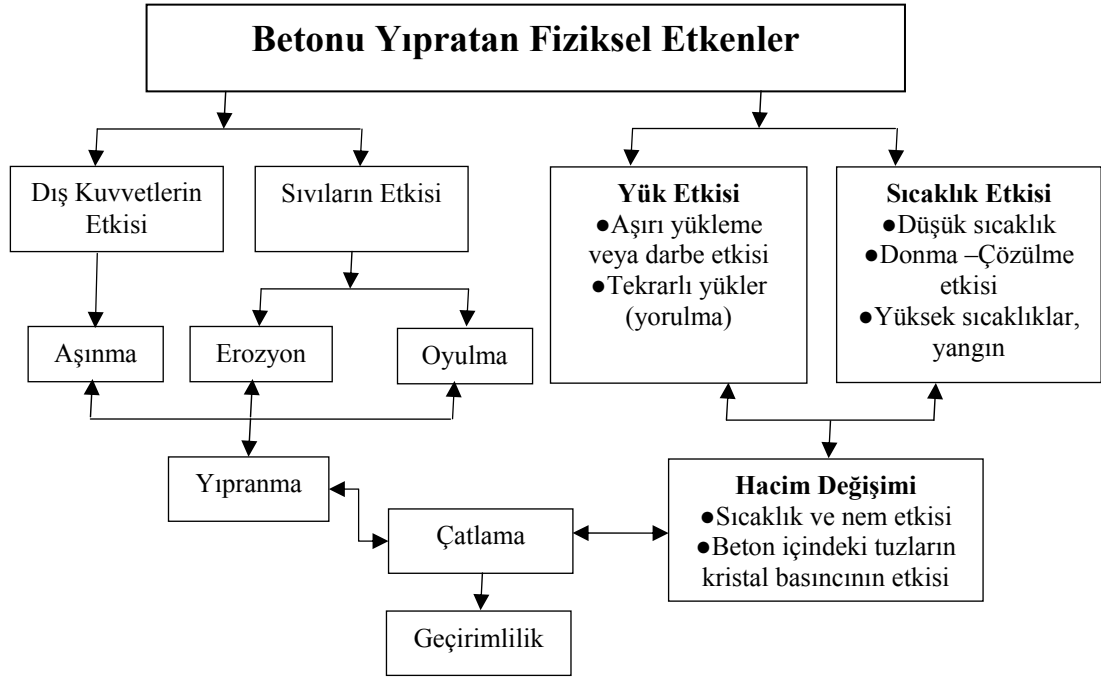
Beton kompozit bir malzemedir. Betonun, üretim öncesi, sırası ve sonrasında uyulması gereken koşullar vardır. Betondan istenen bu koşullara uyulmadığı takdirde zaman içinde özellikleri kaybolur. Betonun dayanıklılığı, beton yapısından kaynaklanan iç etkenlerle, endüstri, çevre kirliliği, iklim koşulları ve doğadaki çeşitli suların neden olduğu dış etkenlere bağlıdır [49].

#### **2.4.1 Betonun Dayanıklılığında İç Etkenler**

Betonun yapısını oluşturan malzemelerin (çimento, agrega, su, mineral ve kimyasal katkılar) özellikleri, malzemelerin karışım oranları, betonun üretimi ve korunması sırasında betonla ilgili etkenler iç etkenler olarak sayılır [49].

#### **2.4.2 Betonu Yıpratan Fiziksel Etkenler**

Betonu yıpratan fiziksel etkenler, beton yüzeyinde yıpranma meydana getirenler ile betonda hacim değişimi meydana getirenler olmak üzere de iki ana grupta sıralanmıştır. Şekil 2.1 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Betonı yıpratın fiziksel etkenler [48]

Beton yüzeylerin yıpranması aşınma, erozyon ve oyulma olarak adlandırılan mekanizmalar sonucu yüzeyin çizilip bozularak geometrisinin değişmesi, parçalanıp ufalanması ve ağırlık kaybına uğraması gibi olumsuzlukları içerir. Beton döşeme ve yol kaplamalarında yıpranma, yaya ve çeşitli araç trafiğinin sürtünme, kayma, kazıma, çarpma gibi etkilerini içeren mekanizmadır.

Aşınma, baraj, tünel, köprü ayağı gibi su yapılarında, akan suların taşıdığı kum vb. katı tanelerinin, beton yüzeyleri üzerindeki aşındırma etkisidir. Etkinin şiddeti katı tanelerin miktarı, şekli, sertliği ve hızına bağlıdır. Su yapılarında hızla akan su içerisindeki basınç değişikliklerinin oluşturduğu kabarcıkların etkisi sonucu beton yüzeyinde oyuklar meydana gelebilir. Basınç değişiklikleri yapının tasarımı ve suyun aktığı beton yüzeyin geometrisi ile yakından ilgilidir [50].

Elemanın boyutlarındaki değişim, artış veya azalma şeklinde olur. Hacim değişimi sıcaklık, nem ve çeşitli reaksiyonlar sonucu oluşan tuz kristallerinin basıncı ile değişir. Sıcaklık ve nem farklılıkları betonda, taze betonun sertleşme sürecinden itibaren hacim küçülmesi (rötre) veya hacim büyümesine (şişme) neden olur. Sıcaklık farklarının meydana getireceği boyut değişiklikleri betonun ısıl genleşme



katsayısı ile ilişkilidir. Bu katsayı da hamur ve agreganın ısı genleşme katsayıları ile beton içindeki göreceli miktarlarına bağlı olarak değişir.

Boşluk suyu saf olmadığı için, erken yaşlarda betonun boşluklarındaki çözelti bile  $0^{\circ}\text{C}$ 'in altında donar. Ortam sıcaklığı  $-10^{\circ}\text{C}$  iken bile hidratasyon reaksiyonları devam etmektedir. Sertleşmiş betonu yıpratıcı, yalnız donma olayı değil aynı zamanda ıslak ortamda tekrarlanan donma ve çözülme devreleridir. Çimento hamuru içindeki kılcal boşluklardaki su donmaya başlayınca yaklaşık %9 hacim artışı oluşturur. Bu boşluk çeperlerine basınç etkisi yaparak, kılcal kanal ve boşluklara doğru yer değiştirir. Çimento hamurunun doymuş olması ve donmakta olan suyun kısa mesafede kaçacak yer bulamaması halinde hidrolik basıncın meydana getirdiği gerilmeler hamurda çatlamlara yol açabilir. Agreganın donma-çözülme karşı dayanıklılığı hamurda olduğu gibi agreganın boşluk miktarı ve geometrisine, geçirgenliğine, doymuşluk derecesine, dayanımına ve donmakta olan suyun kısa sürede genişleyerek bir yüzeye ulaşabilme olasılığına bağlıdır [5,50].

Buzlanmayı önlemek için beton yüzeylere tuz dökülerek suyun donma derecesinin düşürülmesi sık uygulanan bir yöntemdir. Ancak bu yüzeylerin zamanla bozulduğu, harç tabakalarının pul pul kabardığı ve oyuklar meydana geldiği görülmektedir. Dökülen tuz sağladığı yarara karşın betonu yıpratıcı karmaşık etkileri de beraberinde getirmektedir [50,51].

Zhang, Portland çimentosu tipinin performans etkilerini incelemiş, 20 yıla varan süreyle deniz suyu etkisi, ıslanma-kuruma döngüsü ve donma-çözülme döngülerine maruz kaldığı deniz ortamında betonun uzun dönemdeki performansı üzerine etkileri anlatmıştır. Çalışmanın sonucunda, yüzey aşındırmasından kaçınmak için, betonun minimum  $300 \text{ kg/m}^3$  çimento içermesi ve su-çimento oranının 0.50 veya daha az olması gerektiğini söylemiştir [52].

Aitcin, yüksek dayanımlı betonda durabilite özelliklerini incelemiş su/çimento oranını 0.30 ve 0.40 olan betonların normal(yüksek dayanımlı olmayan) betondan, boşluk oranı daha düşük, daha dayanıklı olduğunu ve tamamıyla farklı kür edilmesi gerektiğini, ateşe dayanıklılığının iyi olduğunu söylemiştir [53].

Kurtz, erken dayanımı yüksek betonlarda donma ve çözünme çevrimlerine dayanımı incelemiş, erken dayanımı yüksek portland çimentosu kullanarak donma ve çözülme çevrimlerinde gerekli mukavemeti ve uygun dayanımı elde etmenin mümkün olduğunu ve bunun cadde ve sokakların uzun süre trafiğe kapanmasını önlemek için geceleri gerekli tamirlerin tamamlanmasında kullanılabileceğini belirtmiştir [37].

Çimento hamuru ve agrega boşlukları içerisine giren aşırı doymuş tuz çözeltileri suyun buharlaşması halinde kristalleşerek boşluk çeperlerinde basınç gerilmesi oluştururlar. Bu basınç aşırı doymuşluk derecesi ve sıcaklık ile orantılı olarak artar ve betonda çatlamalara yol açabilir. Tuzlara örnek, Tomasit, etrenjit, gecikmiş etrenjit (DEF) verilebilir [50,54].

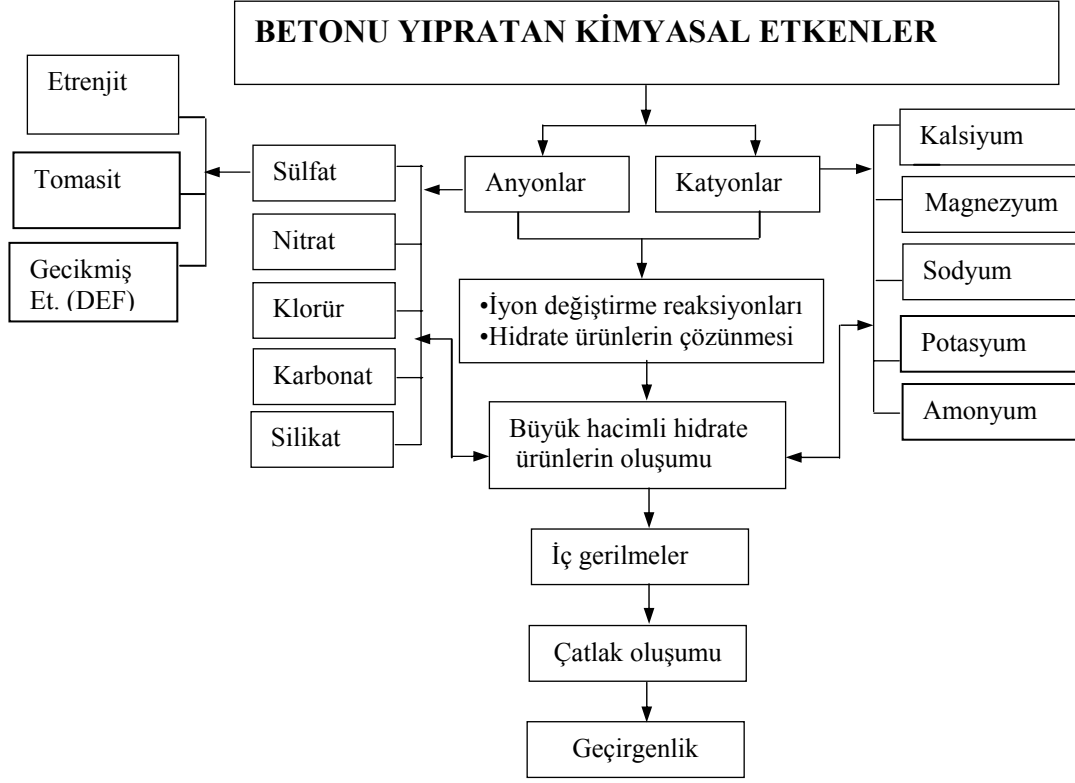
#### **2.4.2.1 Betonu Yıpratın Kimyasal Etkenler**

Betonu yıpratın kimyasal reaksiyonlar:

- 1) Beton bileşenleri (çimento ve agrega arasında),
- 2) Dışarıdan gelen iyonlar ile beton bileşenleri (özellikle çimento hamuru) arasında meydana gelebilir. Dışarıdan gelen iyonlarla olan reaksiyonlar çok çeşitli ve karmaşıktır.

Gerek fiziksel gerekse kimyasal etkenlerin sonunda, çatlak oluştuğu görülür. Çatlak oluşumu da geçirgenliğin artmasına neden olur [50, 56-58].

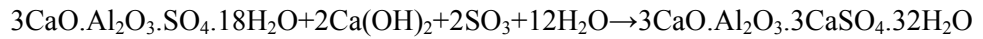
Betonu yıpratın kimyasal etkenler anyonlar ve katyonların etkisi ile değerlendirildiği zaman Şekil 2.2'de görüldüğü gibi şemalaştırılır.



Şekil 2.2. Betonun yıpratıcı kimyasal etkenleri [48]

Çimento hamuru boşluk ve gözeneklerindeki çözelti CH, C-S-H ve C-A-S-H gibi kalsiyumun hidratlarını içerir ve bunun sonucunda pH değeri 12-13 arasında değişir. Dolayısıyla ile bazik karakterdeki beton için asidik sıvılar, özellikle sülfat ve klorür iyonları içeren yeraltı suları, deniz suyu, serbest CO<sub>2</sub> veya H<sup>+</sup> iyonu içeren sular, endüstriyel atıkların, kanalizasyonların karıştığı sular zararlı reaksiyonlara neden olabilirler. Sülfat iyonları, çimento içindeki C<sub>3</sub>A ile reaksiyona girerek etrenjit bileşimini meydana getirir [48].

Betonda sülfat reaksiyonu C<sub>3</sub>A ve sülfat iyonları arasında önce Mono Sülfat Alüminat ve daha sonra da etrenjit oluşumu şeklindedir. C<sub>3</sub>A>6 ise reaksiyon:

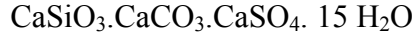


Monosülfat alüminat

etrenjit

[48, 54-57].

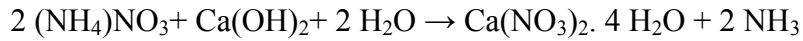
Tomasit, ilk olarak 1965 yılında sülfat etkisi olarak Amerika’da betonlarda görülmüştür. Tomasitteki oluşum ortamdaki  $(SO_4)^{2-}$  iyonları ve çimentodaki jips ve karbonatlaşma sonucudur.



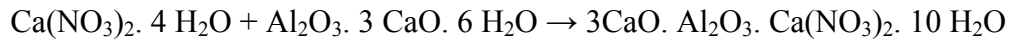
CSH’nin yerine geçen iyonlar, çimento hamurunu yumuşatarak beyaz, lapa gibi gevşek bir kütle oluşturur. Bu formülde de görüldüğü gibi kalsiyum karbonat eklenmiştir. Tomasit soğuk ve nemli koşullarda oluşan yapıdır [66-67]. Gecikmiş etrenjit oluşumunun,  $SO_4^{2-}$  iyonlarının sertleşmiş betona sonradan girmesiyle değil, çimento içindeki  $SO_4^{2-}$  iyonlarından kaynaklandığı saptanmıştır. DEF oluşumu üç ana faktöre bağlanabilmektedir;

1. Çimentonun yapısında zamanla çözünecek yüksek oranda sülfat içermesi,
2. Betonun mikro ve makro boşluk içermesi,
3. Yapı elemanının sürekli veya aralıklı olarak suyla temas etmesi veya nemli ortamda bulunması [56, 57, 59].

$(NO_3)^-$  lı bileşikler ve tuzların çözeltileri de betona zarar verir. Örneğin  $(NH_4)NO_3$  serbest kireç ile,

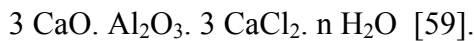


bu oluşan bileşik,  $C_3A$ ’nın hidrate ürünü (CAH) ile



oluşturur [59].

NaCl, KCl,  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  şeklinde bulunabilir.  $CaCl_2$  konsantrasyonu büyük ise kalsiyum kloro alüminat tuzu oluşur.



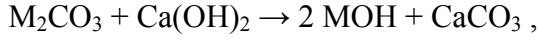
Bazı çimentoların içinde fazlaca miktarda bulunan  $Na_2O$  ve  $K_2O$  gibi alkali oksitlerin, aktif silis içeren agregalarla kimyasal reaksiyona girmesi ve betonu çatlatan bir jel oluşturması olayına, beton teknolojisinde alkali-agrega veya alkali-silis reaksiyonu denilmektedir [59].

Dolomitin alkali bileşikleriyle reaksiyonundan aşağıdaki reaksiyon oluşur.



M: Li, Na, K'ü temsil eder.

Oluşan alkali karbonatlar  $\text{Ca(OH)}_2$  ile:

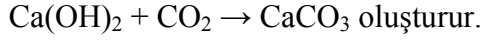


tekrar alkali oluşur. Bu reaksiyon tüm alkaliler ve/veya dolomit bitene kadar devam eder. Özellikle ince taneli dolomit yapıda oluşur, çimentonun yapısında alkali bileşiklerin fazla olması durumunda bu reaksiyon görülür [59].

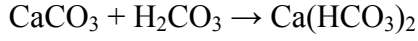
Havada bulunan  $\text{CO}_2$ 'in su içinde çözünmesi sonucu karbonik asit oluşur.



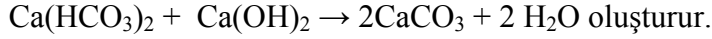
Ayrıca, çimentonun hidratasyonu sonucu açığa çıkan  $\text{Ca(OH)}_2$ , havanın içindeki  $\text{CO}_2$  ile:



Bu bileşik  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ile:



Bu bileşik de  $\text{Ca(OH)}_2$  ile:



$\text{CO}_2$  miktarı az ise bu reaksiyon durur. Çözeltinin  $\text{pH} < 7$  olması halinde  $\text{CO}_2$  zararlı etkiyi sürdürür [62].

### **3. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Deneysel çalışma, çimento hazırlanması, harç numunelerin üretilmesi , kürü, eskitme süreçleri ve kontrol deneyleri olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada hammaddesi farklı ve farklı tesislerde üretilen dayanım sınıfında çimentoların performansına üretim sisteminin etkili olup olmadığının araştırılması amacı ile deneyler yapılmış, harç üretiminde beş farklı tesisten temin edilen CEM I 42.5 çimentosu, yüksek fırın cürufu, kimyasal katkı kullanılmıştır. Deneysel çalışma, çimento hazırlanması, harç numunelerin üretilmesi , kürü, eskitme süreçleri ve kontrol deneyleri olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

#### **3.1 Harç Üretiminde Kullanılan Malzemeler**

Harç üretiminde, agrega olarak kum, portland çimentosu CEM I 42.5, mineral katkı yüksek fırın cürufu, kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı, su ve magnezyum sülfatçözültisi kullanılmıştır.

##### **3.1.1 Çimento**

Portland çimentosu, olarak 5 farklı çimento fabrikasının üretimi CEM I 42.5 alınmıştır. Fiziksel ve mekanik deneyler TS EN 196-1, kimyasal deneyler TS EN 196-2'ye göre yapılmıştır [61, 62]. Çimentoların kimyasal analizi Ambarlı Set Çimento A.Ş.'de yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Bogue formülleri yardımıyla  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  ve  $C_4AF$  mineralojik bileşenleri hesaplanmıştır. Çimentoların fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de, kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2' de ve mineralojik bileşenler Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimentoların fiziksel özellikleri

Çimento Kodu	İncelik %		Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Piriz Süresi		Toplam Genleşme (mm)
	40 (µ)	90 (µ)			Başlangıç (Dakika)	Bitiş (Dakika)	
A	10.7	0.7	3.14	3760	190	240	0
B	16.3	2.0	3.14	4080	190	240	1
C	18.1	1.5	3.13	3530	170	230	1
D	18.8	6.9	3.14	3460	230	310	1
E	8.0	1.2	3.20	3930	220	300	1

Çizelge 3.2 Çimentoların kimyasal analiz sonuçları

Çimento Kodu	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O %	Na <sub>2</sub> O %	K.K %
A	20.98	5.84	3.22	64.98	1.21	3.12	0.96	0	2.58
B	21.18	5.91	3.31	65.25	1.32	3.16	0.81	0	2.65
C	21.03	5.30	2.53	66.19	1.56	2.81	0.75	0	2.95
D	21.85	4.17	3.57	63.97	1.03	2.47	0.59	0	2.94
E	19.97	5.39	3.25	61.95	1.83	3.67	0.27	0.17	3.63

Çizelge 3.3 Çimentoların mineralojik bileşenleri

Çimento Kodu	C <sub>3</sub> S %	C <sub>2</sub> S %	C <sub>3</sub> A %	C <sub>4</sub> AF %
A	48.11	24.42	10.03	9.79
B	51.26	9.52	10.07	10.06
C	62.43	13.91	9.77	7.69
D	54.21	16.98	5.02	10.85
E	52.56	18.21	8.79	9.88

### 3.1.2 Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu, Karabük Demir Çelik Fabrikasından temin edilmiştir. Katkı oranları % 0, % 5, % 9 ve % 14'dür. Cürufun fiziksel özellikleri Çizelge 3.4, kimyasal analizi çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Cürufun fiziksel özellikleri

Mineral Katkı	İncelik %		Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
	40 (µ)	90 (µ)		
Cüruf	1.2	0.1	2.90	3600

Çizelge 3.5 Cürufun kimyasal analizi

SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	SO <sub>3</sub> %	K <sub>2</sub> O %	Na <sub>2</sub> O %
37.16	11.59	0.8	33.97	7.85	0.62	1.41	0.11

### 3.1.3 Çimento Üretimi ve Kodlanması

Katkılı çimentolar, mineral katkı yüksek fırın cürufunun % 5, % 9, % 14 oranlarında Portland çimentosuna ikame edilerek oluşturulmuştur. A, AF1, AF2, AF3, ...EF3; AS, ASF1, ASF2, .....ESF3 şeklinde kodlanmıştır, A, B, C, D, E; çimentoları, F:mineral katkı'yı (furnace slag), S:akışkanlaştırıcı'yı (süperplasticizer), 1: % 5, 2: % 9, 3: % 14 mineral katkı oranını belirtmektedir.

### 3.1.4 Kum

Harç üretiminde Trakya Bölgesinden alınan maksimum dane boyutu 8 mm olan kum kullanılmıştır. Kumun granülometrisi Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Kumun granülometrisi (%)

Elek No (mm)	0.25	0.5	1	2	4	8
%	35.10	76.90	95.30	98.30	99.6	100



### **3.1.5 Akışkanlaştırıcı**

Farklı işlenebilirlikte harç elde etmek amacı ile harçların yarısında çimento ağırlığının % 0.4 oranında ViscoCrete-3075 süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı, harç karıştırma suyuna katılarak kullanılmıştır. Katkı, modifiye polikarboksilat esaslı, açık kahverengi renkli,  $1,07\pm 0,02$  kg/l yoğunlukta bir sıvıdır [63].

### **3.1.6 Su**

Harç karışımında kullanılan su, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi şehir şebeke suyundan alınmıştır.

### **3.1.7 Magnezyum Sülfat Çözeltisi**

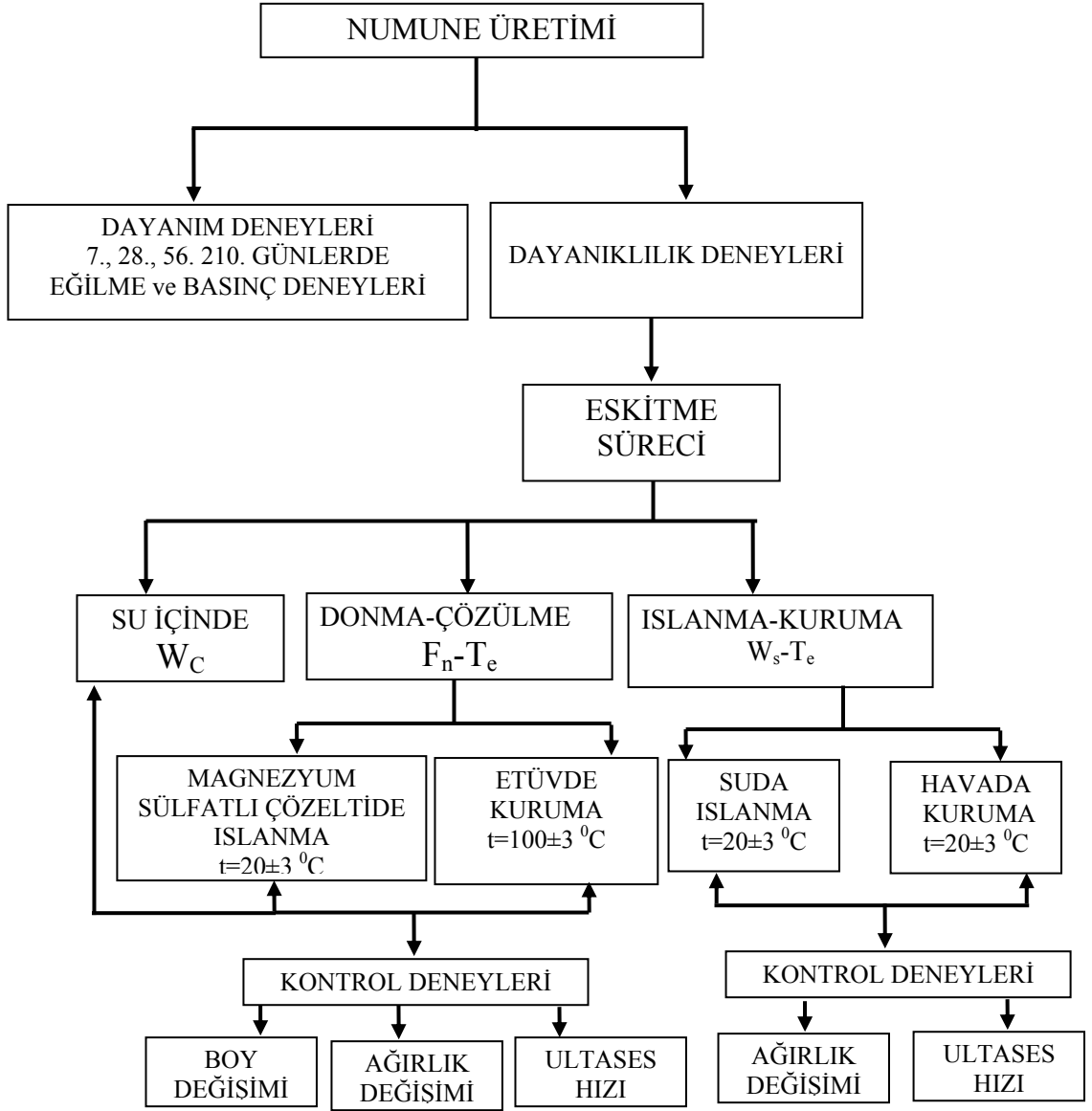
Harçlarda eskitme süreci olarak donma-çözülme deneyleri için TS EN 1367-2 Agregada standardındaki gibi Magnezyum Sülfat deneyi yapılmıştır. Deneylerde teknik  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  şeklindeki tuzunun ağırlıkça % 13'lük çözeltisi kullanılmıştır [64].

## **3.2 Numune Üretimi, Kodları, Boyutları, Saklama Koşulları**

Farklı fabrikalardan alınan 5 farklı PÇ 42.5 portland çimentosundan 20 grup cürüflu, 20 grup da % 0.4 oranında kimyasal katkılı ve cürüflu, 0.65 su/bağlayıcı oranında, 1350 gr kum kullanılarak, standart kalıpta toplam 320 adet harç numunesi üretilmiştir. Üretilen numunelerin kodları ve karışım oranları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Çimentoların cüruf katkı oranına ve akışkanlaştırıcı katkı maddesine göre kodlanması

Çimento Kodları	A				B				C				D				E			
	A	AF1	AF2	AF3	B	BF1	BF2	BF3	C	CF1	CF2	CF3	D	DF1	DF3	DF3	E	EF1	EF2	EF3
Cürufli Çimento %	0	5	9	14	0	5	9	14	0	5	9	14	0	5	9	15	0	5	9	14
Cüruf ve Katkılı Çimento	AS	ASF1	ASF2	ASF3	BS	BSF1	BSF2	BSF3	CS	CSF1	CSF2	CSF3	DS	DSF1	DSF2	DSF3	ES	ESF1	ESF2	ESF3
%	0	5	9	14	0	5	9	14	0	5	9	14	0	5	9	14	0	5	9	14



Şekil 3.1 Deney programı

### 3.3 Yapılan Deneyler

Kimyasal katkı ve katkısız harç numunelerinin, mekanik ve fiziksel özellikleri ile dayanıklılığının araştırılması amacıyla bir grup numune laboratuvar ortamında kür edilmiş, diğer grup ise yine laboratuvar ortamında hızlandırılmış eskitme etkisine maruz bırakılmıştır. Bu numunelerde fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlendiği kontrol deneyleri yapılmıştır.

#### 3.3.1 Taze Harç Deneyleri

Taze harçlarda yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.8’de verilmiştir. Ek D Şekil D.3’de birim ağırlık, Şekil D.4’de yayılma deneyi gösterilmiştir.

#### 3.3.2 Sertleşmiş Harç Deneyleri

Sertleşmiş harçlarda 7., 28. ve 56. günlerde eğilme, basınç, su emme, birim ağırlık ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

##### 3.3.2.1 Eğilme Dayanımı Deneyi

Numunelerde 7., 28. ve 56. günlerde, eğilme dayanımını belirlemek üzere TS EN 196-1’e uygun olarak eğilme deneyi yapılmıştır. Eğilme deneyinde; prizma şeklindeki (40×40×160 mm) olan numuneler Ek D Şekil D.5’de görüldüğü gibi açıklığı 100 mm olan iki mesnet üzerine, yan yüzlerden biri mesnetler üzerine oturacak şekilde yerleştirilmiş ve açıklığın tam ortasından numunenin genişliği boyunca etkileyen P yükü, hızı saniyede 50±10 N olacak şekilde uygulanarak kırma yükü belirlenmiştir. Eğilme dayanımı ( $R_f$  N/mm<sup>2</sup>) olarak 3.1 bağıntısından hesaplanmış ve deney sonuçları Çizelge 3.9’da verilmiştir [61].

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{b^3} \quad (3.1)$$

$R_f$ =Eğilme dayanımı (N/mm<sup>2</sup>),

$b$ =Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

$F_f$ =Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet (N),

$L$ = Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık, (mm).

Çizelge 3.8 Taze harçlarda yayılma ve birim ağırlık

Numune Kodu (Kimyasal Katkısız)	Yayılma (%)	Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Numune Kodu (Kimyasal Katkılı)	Yayılma (%)	Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
<b>A</b>	45.00	1.95	<b>AS</b>	67.50	2.07
<b>AF1</b>	45.00	2.14	<b>ASF1</b>	60.00	2.08
<b>AF2</b>	47.50	2.07	<b>ASF2</b>	61.50	2.06
<b>AF3</b>	50.00	2.00	<b>ASF3</b>	60.00	2.03
<b>B</b>	51.00	2.06	<b>BS</b>	81.00	2.08
<b>BF1</b>	62.50	2.04	<b>BSF1</b>	62.50	2.10
<b>BF2</b>	50.00	2.06	<b>BSF2</b>	84.00	2.11
<b>BF3</b>	45.00	2.10	<b>BSF3</b>	77.50	2.07
<b>C</b>	32.50	2.13	<b>CS</b>	30.00	2.09
<b>CF1</b>	47.50	2.07	<b>CSF1</b>	58.00	2.09
<b>CF2</b>	45.00	2.12	<b>CSF2</b>	62.00	2.14
<b>CF3</b>	57.50	2.13	<b>CSF3</b>	58.00	2.10
<b>D</b>	53.50	2.07	<b>DS</b>	64.00	2.05
<b>DF1</b>	51.00	2.10	<b>DSF1</b>	60.00	2.16
<b>DF2</b>	50.00	2.12	<b>DSF2</b>	62.50	2.14
<b>DF3</b>	59.00	2.08	<b>DSF3</b>	55.00	2.12
<b>E</b>	50.00	2.16	<b>ES</b>	85.00	2.07
<b>EF1</b>	64.50	2.09	<b>ESF1</b>	76.50	2.07
<b>EF2</b>	61.50	2.09	<b>ESF2</b>	67.50	2.08
<b>EF3</b>	67.50	2.08	<b>ESF3</b>	77.00	2.07

Çizelge 3.9 Kimyasal katkısız ve katkılı numunelerin eğilme dayanımı sonuçları

Numune Kodu (Kimyasal Katkısız)	Eğilme Dayanımı MPa				Numune Kodu (Kimyasal Katkılı)	Eğilme Dayanımı MPa			
	7 gün	28 gün	56 gün	210 gün		7 gün	28 gün	56 gün	210 gün
<b>A</b>	5.73	7.13	7.60	11.44	<b>AS</b>	5.18	7.18	6.58	12.56
<b>AF1</b>	5.16	7.88	7.53	12.00	<b>ASF1</b>	6.18	7.58	7.56	12.38
<b>AF2</b>	5.36	7.09	7.95	13.19	<b>ASF2</b>	5.76	7.53	7.30	11.53
<b>AF3</b>	5.98	7.95	7.48	12.56	<b>ASF3</b>	6.10	6.86	6.83	12.44
<b>B</b>	5.35	8.04	7.79	12.56	<b>BS</b>	6.59	6.88	6.34	12.38
<b>BF1</b>	6.05	7.73	8.05	10.88	<b>BSF1</b>	6.68	7.80	6.91	11.94
<b>BF2</b>	6.16	8.49	8.26	11.94	<b>BSF2</b>	6.65	7.35	6.89	12.56
<b>BF3</b>	5.74	5.27	8.14	11.38	<b>BSF3</b>	6.58	8.85	6.54	12.63
<b>C</b>	4.91	7.88	7.33	11.69	<b>CS</b>	6.49	7.41	6.06	12.81
<b>CF1</b>	5.40	7.35	7.75	9.25	<b>CSF1</b>	6.04	7.24	5.71	12.00
<b>CF2</b>	4.81	7.58	7.85	11.81	<b>CSF2</b>	6.30	6.98	7.18	12.38
<b>CF3</b>	5.10	7.26	7.23	11.31	<b>CSF3</b>	5.89	7.25	6.89	11.19
<b>D</b>	4.58	7.05	7.08	14.13	<b>DS</b>	6.63	6.70	6.89	13.00
<b>DF1</b>	3.95	7.01	7.25	11.91	<b>DSF1</b>	5.35	6.88	6.44	12.44
<b>DF2</b>	5.44	6.88	7.51	11.63	<b>DSF2</b>	5.86	7.03	6.39	12.38
<b>DF3</b>	4.49	6.73	7.53	10.44	<b>DSF3</b>	4.96	7.29	6.75	12.25
<b>E</b>	5.19	8.21	7.63	13.00	<b>ES</b>	5.69	6.00	7.65	11.50
<b>EF1</b>	4.69	7.46	8.20	11.25	<b>ESF1</b>	5.39	7.65	8.01	11.00
<b>EF2</b>	5.28	7.43	8.43	11.31	<b>ESF2</b>	6.06	7.41	7.14	11.56
<b>EF3</b>	5.49	6.68	7.29	12.75	<b>ESF3</b>	6.16	7.39	6.96	11.69

### 3.3.2.2 Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme deneyi sonucunda iki parçaya ayrılmış olan yarım prizmaların biri üzerinde Şekil Ek D.6'daki cihaz kullanılarak basınç deneyi yapılmıştır. Yarım prizmalar, cihazın plakları arasında  $\pm 0,5$  mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plakadan ve yardımcı plaklardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilmiş ve yük  $2400 \pm 200$  N/s hızda olmak üzere

düzgün şekilde, prizma kırılana kadar artırılmıştır. Basınç dayanımı  $R_C$  3.2 bağıntısından hesaplanmış ve deney sonuçları Çizelge 3.10’da verilmiştir [61].

$$R_C = F_C / A \quad (3.2)$$

$R_C$ =Basınç dayanımı (N/mm<sup>2</sup>),

$F_C$ =Kırılmadaki en büyük yük (N),

$A$ =Kuvvet uygulanan alan (mm<sup>2</sup>).

Çizelge 3.10 Kimyasal katkısız ve katkılı numunelerin basınç dayanımı sonuçları

Numune Kodu (Kimyasal Katkısız)	Basınç Dayanımı MPa				Numune Kodu (Kimyasal Katkılı)	Basınç Dayanımı MPa			
	7 gün	28 gün	56 gün	210 gün		7 gün	28 gün	56 gün	210 gün
<b>A</b>	19.38	23.60	26.65	32.99	<b>AS</b>	18.65	24.01	23.23	41.20
<b>AF1</b>	19.03	22.25	22.43	37.91	<b>ASF1</b>	19.56	24.48	25.40	33.25
<b>AF2</b>	16.01	19.32	19.23	40.03	<b>ASF2</b>	18.53	23.81	24.50	19.27
<b>AF3</b>	18.40	23.77	18.25	33.28	<b>ASF3</b>	17.50	22.05	26.94	26.82
<b>B</b>	19.85	20.61	25.96	38.84	<b>BS</b>	18.82	20.93	25.37	27.96
<b>BF1</b>	19.37	17.86	21.00	37.06	<b>BSF1</b>	19.37	16.67	25.21	30.68
<b>BF2</b>	17.87	25.29	20.86	40.02	<b>BSF2</b>	18.42	21.90	25.33	40.52
<b>BF3</b>	18.51	14.18	20.17	26.60	<b>BSF3</b>	18.45	27.26	22.84	40.86
<b>C</b>	17.79	21.28	21.73	30.27	<b>CS</b>	15.12	24.17	21.44	35.19
<b>CF1</b>	16.91	18.83	21.34	28.73	<b>CSF1</b>	17.94	25.11	23.08	28.67
<b>CF2</b>	16.53	20.53	25.38	27.84	<b>CSF2</b>	11.96	22.52	15.72	34.93
<b>CF3</b>	15.93	19.89	19.34	25.67	<b>CSF3</b>	10.76	20.41	23.54	32.14
<b>D</b>	13.63	19.56	23.37	32.69	<b>DS</b>	13.18	15.85	21.65	36.00
<b>DF1</b>	11.74	19.24	18.52	29.30	<b>DSF1</b>	11.51	18.86	21.88	38.92
<b>DF2</b>	16.70	18.54	22.95	29.91	<b>DSF2</b>	14.66	21.41	23.54	34.99
<b>DF3</b>	12.00	18.09	19.63	33.70	<b>DSF3</b>	16.25	19.22	26.21	38.99
<b>E</b>	18.77	25.10	26.99	38.26	<b>ES</b>	19.24	18.29	15.31	31.20
<b>EF1</b>	15.38	20.14	22.73	35.41	<b>ESF1</b>	14.18	22.21	25.25	40.32
<b>EF2</b>	14.95	22.94	24.95	40.20	<b>ESF2</b>	14.08	23.05	21.08	40.17
<b>EF3</b>	14.37	20.19	22.70	40.05	<b>ESF3</b>	15.71	23.16	25.90	41.48

### 3.3.2.3 Su Emme ve Birim Ağırlık Deneyi

Numuneler 24 saat su içinde kür havuzunda bekletilmiştir. Sudan çıkarılan numuneler, terazide tartılarak hacmi belirlenmiştir. Aşağıdaki formüllere göre birim ağırlık, hacimce su emme değerleri hesaplanmıştır. Şekil Ek D.7’de Arşimet terazisi gösterilmiştir.

$$\text{Hacimce su emme} \quad S_h = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100 \quad (3.3)$$

$$\text{Birim ağırlık} \quad \Delta = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \quad (3.4)$$

$S_h$ = Hacimce su emme değeri

$W_1$ =Numunenin kuru ağırlığı (g)

$W_2$ =Numunenin su emmiş halde havadaki ağırlığı (g)

$W_3$ =Numunenin su emmiş halde su içindeki ağırlığı (g)

$\Delta$ =Birim ağırlık ( $\text{g/cm}^3$ )

### 3.3.2.4 Özgül Ağırlık Deneyi

Harç numunelerinin 7, 28 ve 56, günlük özgül ağırlık deneyleri Set Çimento Fabrikasında yapılmıştır. AccuPyc 1330 Pycnometer cihazı (Şekil D.12) kullanılarak harçların özgül ağırlıkları tayin edilmiştir. Cihazda 2-3 dakikada zayıtsız olarak özgül ağırlığı yer değiştirilmiş gazın ölçümü prensibi ile belirlenmektedir.

Cihaz, numunenin bulunduğu haznede ve ikinci boş olan hazneye numunenin tahliyesi esnasında, basınç değişiminden katı numune fazının hacminin hesaplanmasına yarar. Azot gazı molekülleri, hızlı bir şekilde numune içindeki küçük boşlukları doldurarak, yer değiştirmiş gaz ile katı fazın hacmi belirlenir. Cihaz numuneden gazı, otomatik olarak temizleyerek sabit sonuçlar elde edilene kadar analizi tekrarlar.



### **3.3.3 Eskitme Süreçleri**

Harçların dayanıklılığının araştırılması amacı ile numuneler ıslanma-kuruma ve donma-çözülme etkilerine maruz bırakılmıştır.

#### **3.3.3.1 Islanma-Kuruma Deneyi**

Islanma-kuruma deneyi bir grup kimyasal katkısız ve katkılı harçta bir hafta suda (kür havuzunda), bir hafta havada laboratuvar ortamında tutulmuş, bir ıslanma ve bir kuruma bir çevrim kabul edilmiş, bir çevrim 2 hafta olarak yapılmış, toplam 9 çevrim uygulanmıştır.

#### **3.3.3.2 Donma-Çözülme Deneyi**

Donma-çözülme deneyi (Şekil D.8) için, kür havuzuna ağırlıkça % 13 magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) çözeltisi konmuştur. Numuneler, bir hafta bu çözelti içerisinde bekletilmiş, bir hafta sonra çıkarılıp etüvde  $100\text{ }^{\circ}C$ 'de aynı sürede bekletilmiştir (Şekil D.9). Bir hafta çözeltide, bir hafta etüvde olmak üzere toplam iki hafta bir çevrim kabul edilmiş, toplam 9 çevrim yapılmıştır.

#### **3.3.4 Kontrol Deneyleri**

Islanma-kuruma ve magnezyum sülfat çözeltisi ile donma-çözülme etkisine maruz bırakılan numunelerde, birer hafta ara ile ağırlık, boy değişimi ve ultrases geçiş süresi ölçümü, eskitme süreçlerinden sonra eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır.

### 3.3.4.1 Ağırlık Değişimi

Ağırlık ölçümü, birim ağırlık için 7. 28. ve 56. günlerde ve başlangıç kabul edilen 28. günde tüm numunelerde ölçülmüştür. Su ve sülfat çözeltilerinden çıkartılan numunelerin her çevrimde ağırlık ölçümü yapılmış, ağırlık değişimi yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. Bu ölçümlerden numunelerin zaman içindeki değişimi belirlenmiştir. Şekil D.3'de terazide ağırlık ölçümü gösterilmiştir. Çizelgeler Ek A.3-A 8'de verilmiştir.

$$W_D = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.5)$$

$W_D$ =Ağırlık değişimi (%)

$W_t$ =t süredeki ağırlık (g)

$W_0$ =Başlangıçtaki ağırlık (g)

### 3.3.4.2 Boy Değişimi

Su ve sülfat çözeltilerinde bekletilen numunelerin boy değişimini izlemek için 28. gün başlangıç sıfır kabul edilerek, 0.001 duyarlıklı komparatör ile her hafta boy ölçümü yapılmış, numunelerde boy değişim aşağıdaki formülle hesaplanarak zamana bağlı olarak boy değişimi izlenmiştir. Şekil D.10'da boy ölçümü gösterilmiştir. Sonuçlar Çizelge Ek B.1-B.4'de verilmiştir.

$$l_D = \frac{l_t - l_0}{l_0} \quad (3.6)$$

$l_D$ = Boy değişimi ( $\mu$ /mm)

$l_t$ =t süredeki boy (mm)

$l_0$ =Başlangıçtaki boy (mm)

### 3.3.4.3 Ultrases Geçiş Süresi

Harç numunelerde, her hafta 0,1 µs duyarlıklı ultrases aleti ile t, µs ses geçiş süreleri ölçölmüştür. Ses geçiş sürelerinin ölçölmesinde yüzeydeki pürüzlerin oluşturduğu boşlukları doldurmak üzere kenar yüzeylere gres yağı sürölmüş, 55 kHz'lik ses dalgaları gönderen ve alan iki transduser numunenin yan yüzeylerine yerleştirilmiş, direkt iletim yöntemi uygulanarak ses geçiş süresi (t, µs) okunmuştur. Aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak ses geçiş hızı (V, km/saat) hesaplanmıştır. şekil D.11'de ultrases hız ölçümü gösterilmiştir.

$$V_s = \frac{l}{t} \quad (3.7)$$

$V_s$ =Ses geçiş hızı (mm/µs) (km/saat)

$l$ =Numune boyu (mm)

$t$ =zaman(µs)

### 3.3.4.4 Eğilme ve Basınç Dayanımı

Eskitme deneyleri yapılan numunelere eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmış, sonuçlar Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 Eskitme deneyleri sonunda eğilme dayanımı sonuçları

Numune Kodu (Kimyasal Katksız)	Eğilme Dayanımı MPa			Numune Kodu (Kimyasal Katkılı)	Eğilme Dayanımı MPa		
	Suda Şahit	Islanma-Kuruma	Donma-Çözülme		Suda Şahit	Islanma-Kuruma	Donma-Çözülme
<b>A</b>	11.44	12.88	13.13	<b>AS</b>	12.56	13.88	12.69
<b>AF1</b>	12.00	12.44	13.75	<b>ASF1</b>	12.38	10.38	11.19
<b>AF2</b>	13.19	12.31	13.56	<b>ASF2</b>	11.53	13.50	10.44
<b>AF3</b>	12.56	10.31	14.94	<b>ASF3</b>	12.44	14.38	12.31
<b>B</b>	12.56	13.56	14.50	<b>BS</b>	12.38	15.13	11.69
<b>BF1</b>	10.88	12.94	13.31	<b>BSF1</b>	11.94	13.94	11.81
<b>BF2</b>	11.94	13.19	11.44	<b>BSF2</b>	12.56	15.31	10.69
<b>BF3</b>	11.38	12.75	12.69	<b>BSF3</b>	12.63	15.13	11.25
<b>C</b>	11.69	13.19	12.75	<b>CS</b>	12.81	15.06	11.94
<b>CF1</b>	9.25	11.63	11.19	<b>CSF1</b>	12.00	15.31	13.50
<b>CF2</b>	11.81	13.00	14.63	<b>CSF2</b>	12.38	15.25	2.00
<b>CF3</b>	11.31	11.50	13.00	<b>CSF3</b>	11.19	15.31	10.31
<b>D</b>	14.13	12.56	14.31	<b>DS</b>	13.00	13.63	11.44
<b>DF1</b>	11.91	12.44	12.56	<b>DSF1</b>	12.44	15.06	12.00
<b>DF2</b>	11.63	12.44	16.22	<b>DSF2</b>	12.38	15.63	12.38
<b>DF3</b>	10.44	11.69	13.31	<b>DSF3</b>	12.25	15.69	11.19
<b>E</b>	13.00	12.88	14.06	<b>ES</b>	11.50	15.31	11.44
<b>EF1</b>	11.25	14.63	12.81	<b>ESF1</b>	11.00	15.50	10.44
<b>EF2</b>	11.31	11.88	13.06	<b>ESF2</b>	11.56	15.06	10.13
<b>EF3</b>	12.75	13.56	12.38	<b>ESF3</b>	11.69	14.50	6.94

Çizelge 3.12 Eskitme deneyleri sonunda basınç dayanımı sonuçları

Numune Kodu (Kimyasal Katksız)	Basınç Dayanımı MPa			Numune Kodu (Kimyasal Katklı)	Basınç Dayanımı MPa		
	Suda Şahit	Islanma-Kuruma	Donma-Çözülme		Suda Şahit	Islanma-Kuruma	Donma-Çözülme
<b>A</b>	32.99	37.96	33.48	<b>AS</b>	41.20	42.20	38.07
<b>AF1</b>	37.91	36.46	36.98	<b>ASF1</b>	33.25	41.04	43.73
<b>AF2</b>	40.03	42.40	34.00	<b>ASF2</b>	19.27	40.55	41.24
<b>AF3</b>	33.28	40.61	37.68	<b>ASF3</b>	26.82	40.36	41.78
<b>B</b>	38.84	36.50	33.05	<b>BS</b>	27.96	40.52	33.60
<b>BF1</b>	37.06	38.05	32.50	<b>BSF1</b>	30.68	38.68	39.90
<b>BF2</b>	40.02	38.48	30.61	<b>BSF2</b>	40.52	40.02	38.82
<b>BF3</b>	26.60	42.42	33.79	<b>BSF3</b>	40.86	41.46	42.84
<b>C</b>	30.27	35.70	31.01	<b>CS</b>	35.19	35.93	39.51
<b>CF1</b>	28.73	33.09	29.32	<b>CSF1</b>	28.67	38.29	49.34
<b>CF2</b>	27.84	35.58	39.65	<b>CSF2</b>	34.93	39.77	5.28
<b>CF3</b>	25.67	36.96	30.31	<b>CSF3</b>	32.14	39.89	30.03
<b>D</b>	32.69	31.46	32.47	<b>DS</b>	36.00	30.11	36.82
<b>DF1</b>	29.30	33.48	30.01	<b>DSF1</b>	38.92	36.80	35.94
<b>DF2</b>	29.91	34.26	34.25	<b>DSF2</b>	34.99	37.52	38.00
<b>DF3</b>	33.70	35.23	34.33	<b>DSF3</b>	38.99	36.61	36.64
<b>E</b>	38.26	36.65	35.23	<b>ES</b>	31.20	41.11	40.24
<b>EF1</b>	35.41	38.42	21.80	<b>ESF1</b>	40.32	40.51	34.94
<b>EF2</b>	40.20	37.21	33.55	<b>ESF2</b>	40.17	38.21	32.41
<b>EF3</b>	40.05	36.47	31.68	<b>ESF3</b>	41.48	40.02	34.64

## 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, taze harç özelliklerinden yayılma ve birim ağırlık; sertleşmiş harç özelliklerinden fiziksel özellikler için ağırlık değişimi, boy değişimi, hacimce su emme; mekanik özellikler için eğilme ve basınç dayanımı değişimi; eskitmeye göre ıslanma-kuruma, magnezyum sülfat içindeki değişimleri kimyasal katkısız ve katkılı gruplar arasında ve her grup kendi arasında (Şahit, % 5, % 9 ve % 14 mineral katkılı) değerlendirilmiştir.

### 4.1 Taze Harç Deneylerinin Değerlendirilmesi

Taze harçların yayılması Çizelge 3.8'de görüldüğü gibi, kimyasal katkısız numunelerde mineral katkı (cüruf) oranı arttıkça değişmemiştir. Kimyasal katkılı numunelerde ise yayılma oranı daha fazladır. Bu sonuçlardan cüruf arttıkça su gereksiniminin azaldığını, kimyasal katkının su azaltıcı özelliği olduğundan, aynı oranda su kullanılmasına rağmen yayılmanın daha fazla olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.8'de taze harçların birim ağırlıkları incelendiğinde, cüruf eklendiğinde birim ağırlığın az miktarda arttığı görülmüştür. Kimyasal katkının birim ağırlığa etkisi olmamıştır. Genelde katkısız harçlarda cüruf katkısı ve oranının artışı yayılmayı artırmış, kimyasal katkılılarda ise kontrol çimentosuna göre artmıştır.

### 4.2 Sertleşmiş Harç Deneylerinin Değerlendirilmesi

Araştırmada, mineral katkı oranı % 0, % 5, % 9 ve % 14 olan harçlar ve yine aynı mineral katkı oranında % 0.4 kimyasal katkı uygulanarak harçlar üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde dayanım, dayanıklılık ve kontrol deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar Ek A, Ek B ve Ek C 'de tablolar halinde verilmiştir. Bu tablolardan yararlanılarak çizilen grafiklerin değerlendirmeleri aşağıdadır.

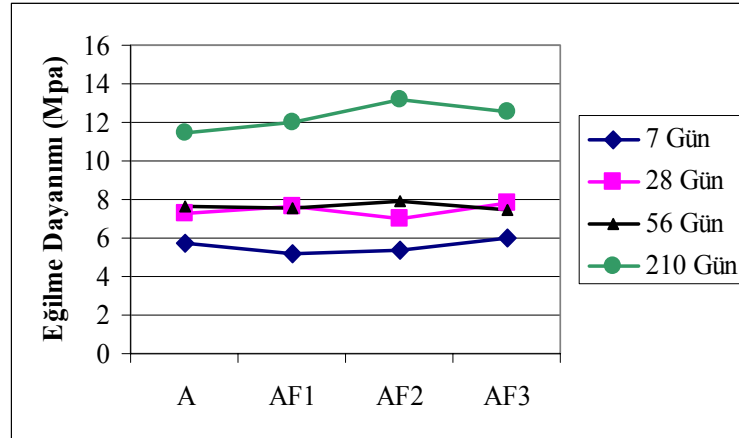
#### 4.2.1 Mekanik Deneylerin Değerlendirilmesi

Eğilme ve basınç dayanımı deneylerinin değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır.

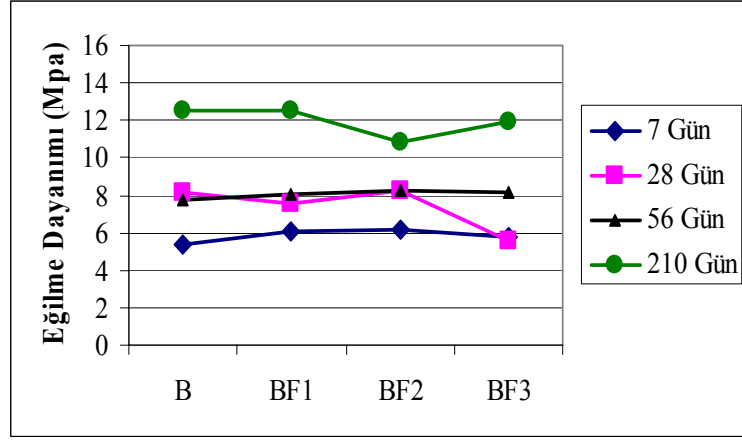
##### 4.2.1.1 Eğilme Dayanımı Değişiminin Değerlendirilmesi

7, 28, 56 ve 210 gün suda bekletilen kimyasal katkısız ve katkılı numunelerin eğilme dayanımı değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir. Bu çizelgeye göre harçların eğilme dayanımının zamanla değişimi aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

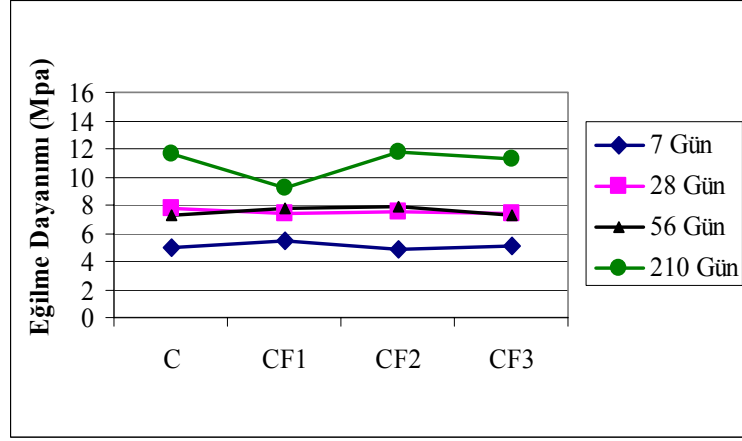
Şekil 4.1-Şekil 4.5 de kimyasal katkısız harçların eğilme dayanımı incelendiğinde tüm harçlarda ileriki yaşta (210 gün) zamanla eğilme dayanımının arttığı görülmüştür. C grubunda artış diğerlerine göre daha düşük olmuştur. Genel olarak incelendiğinde cüruf artışı ile eğilme dayanımı arasında bir ilişki olduğu görülmemiştir.



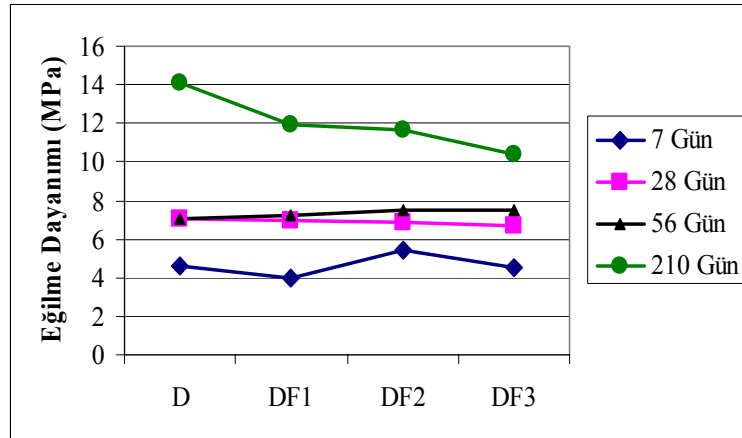
Şekil 4.1 A grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



Şekil 4.2 B grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi

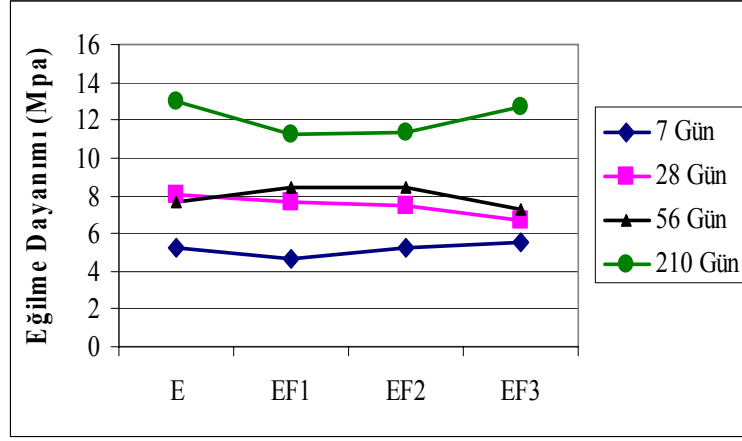


Şekil 4.3 C grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



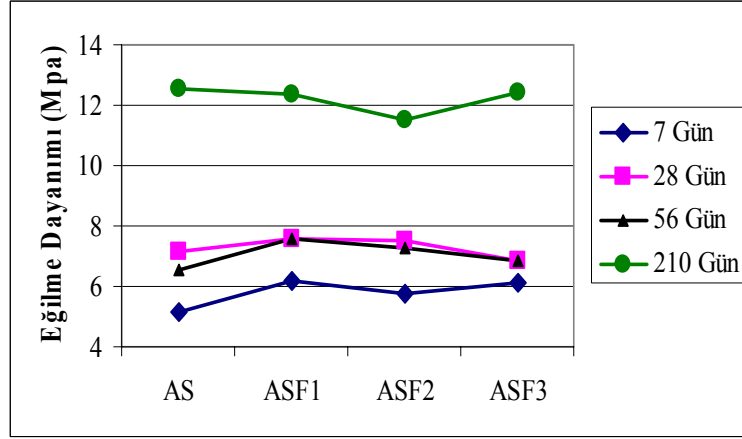
Şekil 4.4 D grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



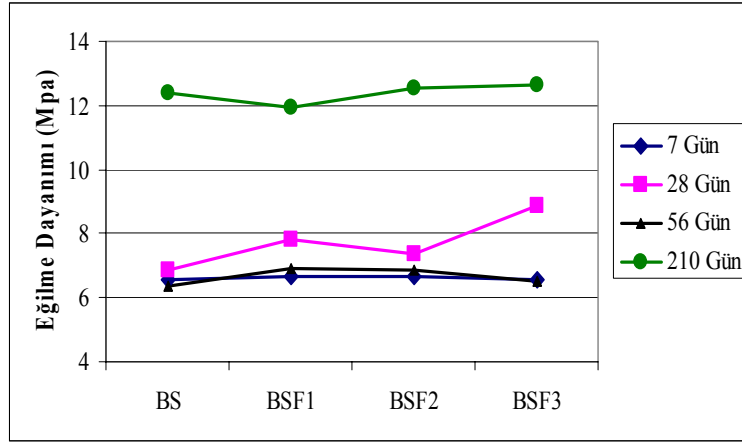


Şekil 4.5 E grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi

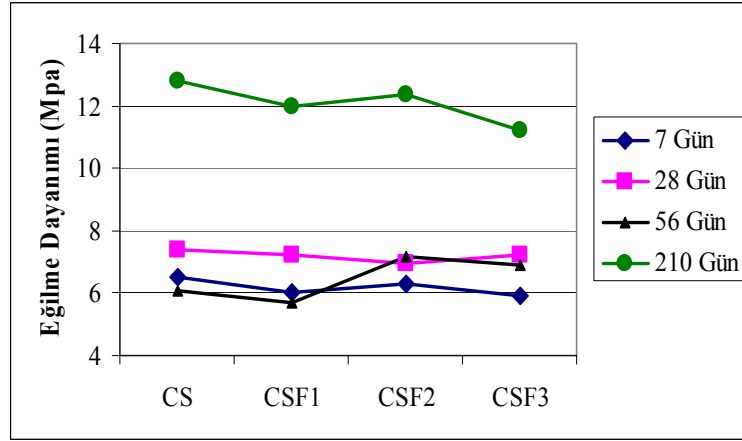
Şekil 4.6-Şekil 4.10'da kimyasal katkıli numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde bütün gruplarda 56. günden sonra 210. günde dayanımların artışının fazla olduğu görülmüştür. Tüm çimentoların eğilme dayanımları yakın değerlerdedir.



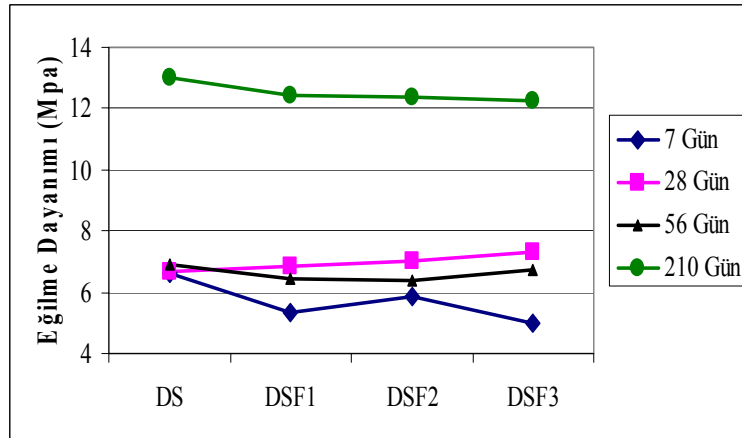
Şekil 4.6 AS grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



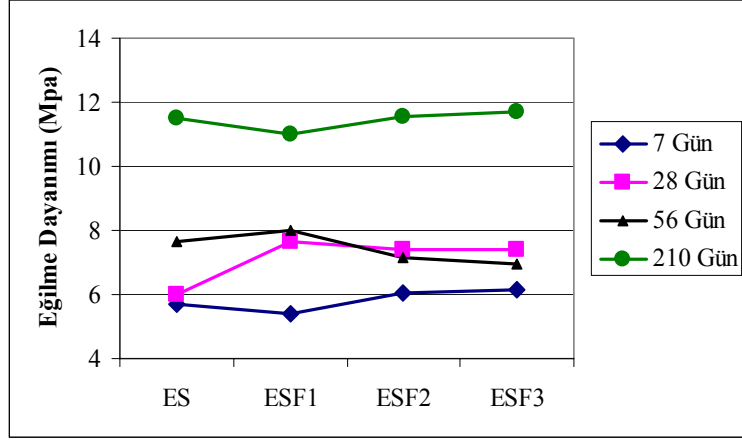
Şekil 4.7 BS grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



Şekil 4.8 CS grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



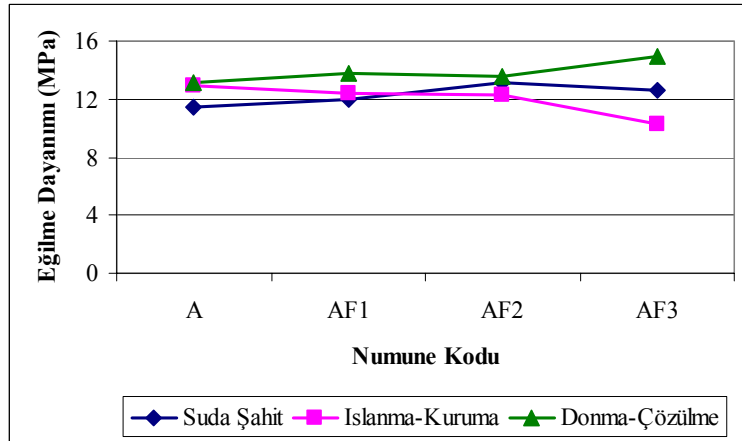
Şekil 4.9 DS grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



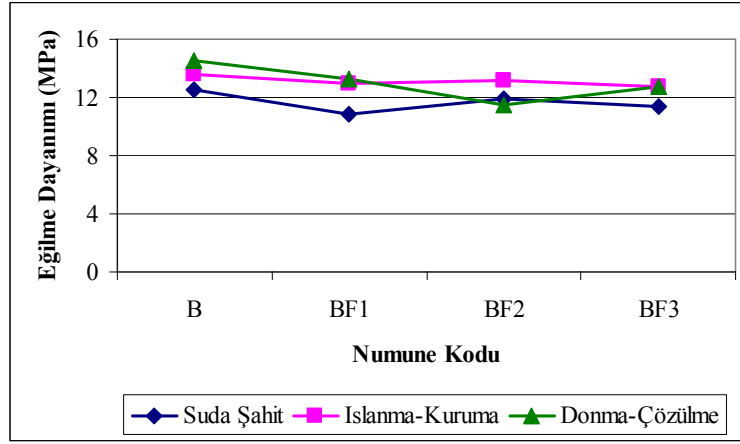
Şekil 4.10 ES grubu harçların eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi

Şekil 4.11-Şekil 4.15’de kimyasal katkısız harçların eskitme deneyleri sonucunda eğilme dayanımı grafikleri verilmiştir.

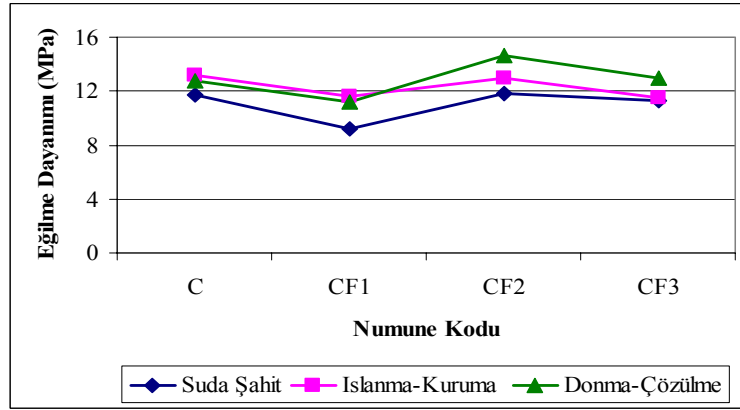
Bu grafiklerde eğilme dayanımları eskitme şekline göre belirgin bir şekilde değişmemiştir.



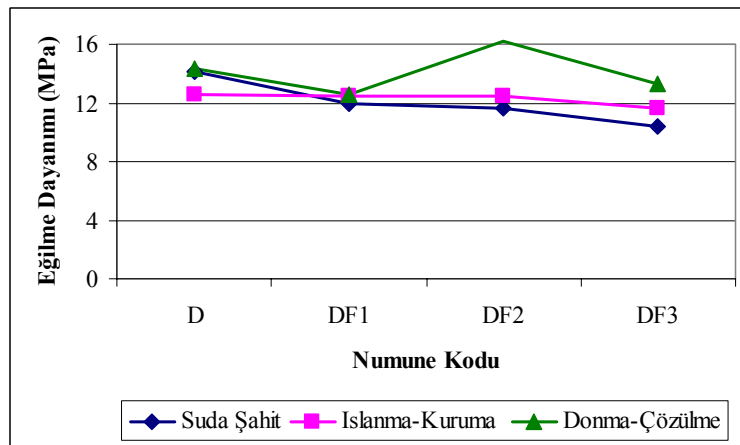
Şekil 4.11 A grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



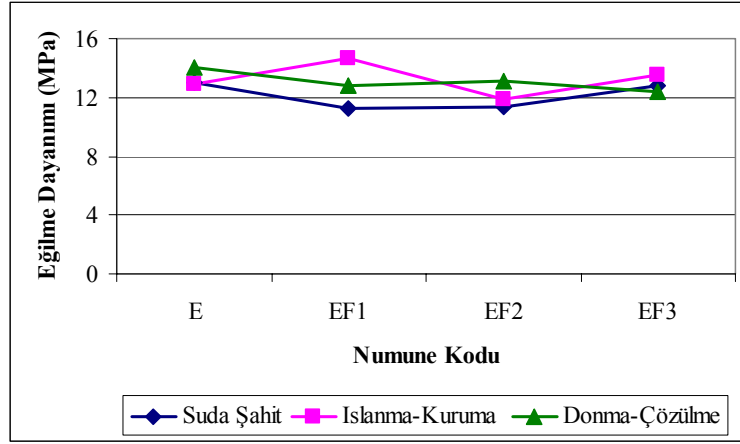
Şekil 4.12 B grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



Şekil 4.13 C grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi

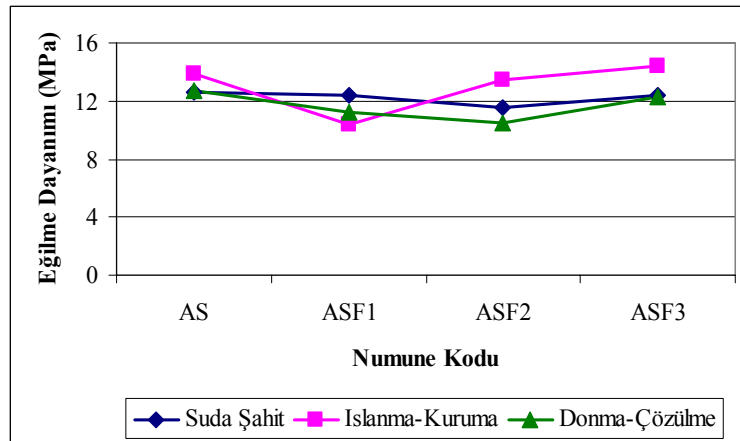


Şekil 4.14 D grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi

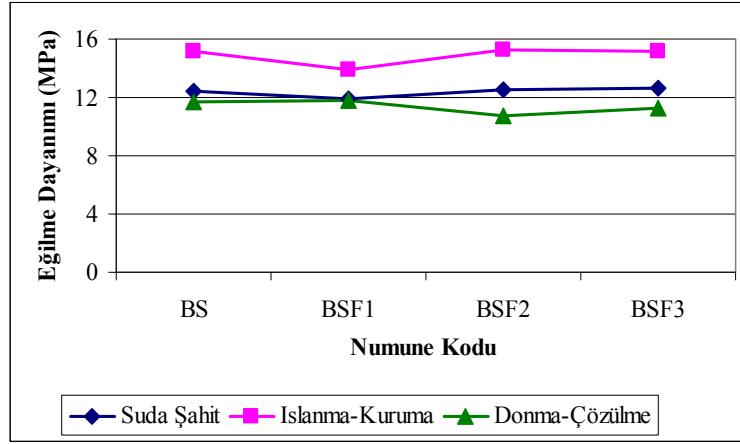


Şekil 4.15 E grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi

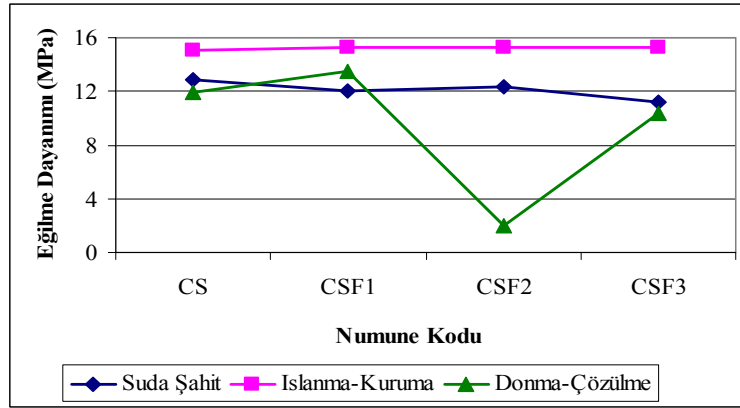
Şekil 4.16-Şekil 4.20’de kimyasal katkılı harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımı grafikleri verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde şekil 4.18’de CSF2 ve Şekil 4.20’de ESF3 harçları, donma-çözülme etkisinde hasar gördüğü için eğilme dayanımı azalmıştır (2 ve 6 MPa). Bu sonuç Şekil D.1’de görülmüştür. Islanma-kuruma etkisinde A harcı hariç hepsinde eğilme dayanımında artış olmuştur.



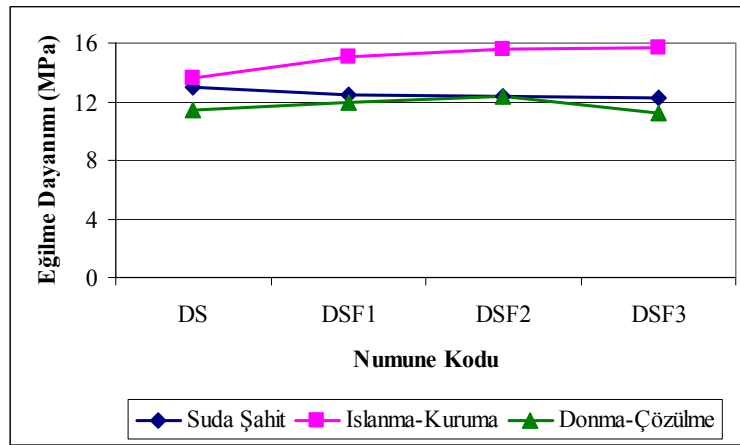
Şekil 4.16 AS grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



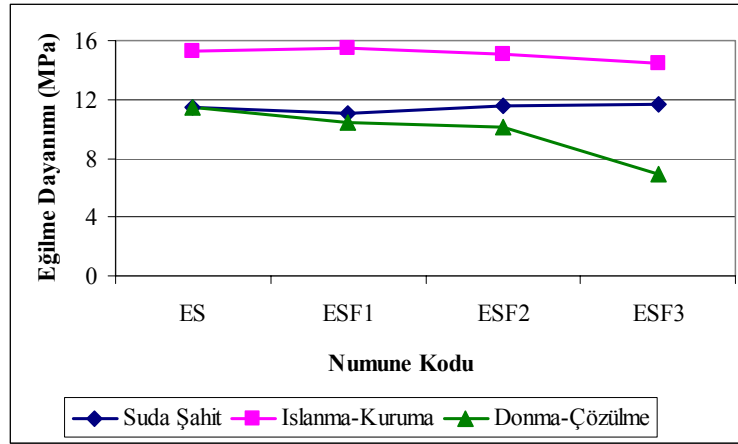
Şekil 4.17 BS grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



Şekil 4.18 CS grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



Şekil 4.19 DS grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi



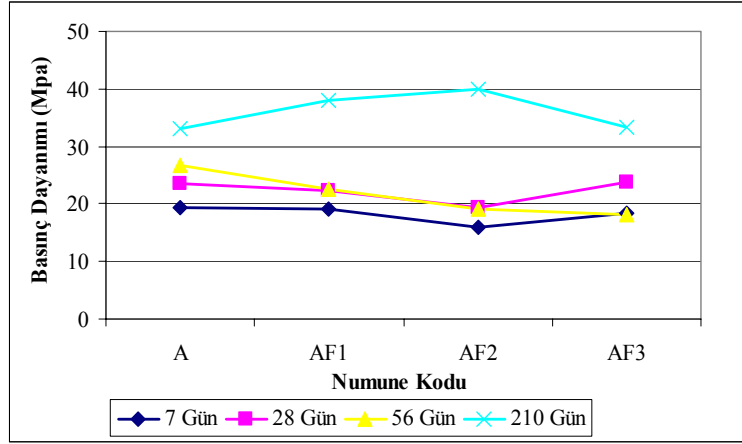
Şekil 4.20. ES grubu harçların eskitme sonucunda eğilme dayanımının katkı oranına göre değişimi

#### 4.2.1.2 Basınç Dayanımı Değişiminin Değerlendirilmesi

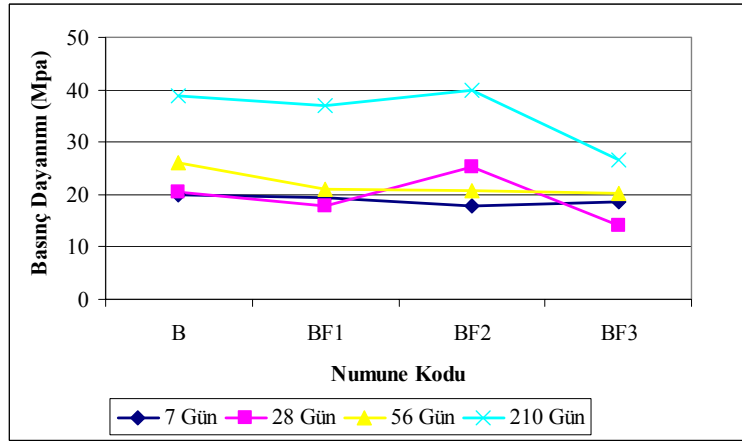
7, 28, 56 ve 210 gün suda bekletilen kimyasal katkılı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı değerleri Çizelge 3.10'da verilmiştir. Bu çizelgeye göre harçların basınç dayanımının zamanla değişimi aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

Şekil 4.21-Şekil 4.25 kimyasal katkısız numunelerin basınç dayanımı grafikleri incelendiğinde C grubu hariç harçlarda 210. günde basınç dayanımı artmıştır.

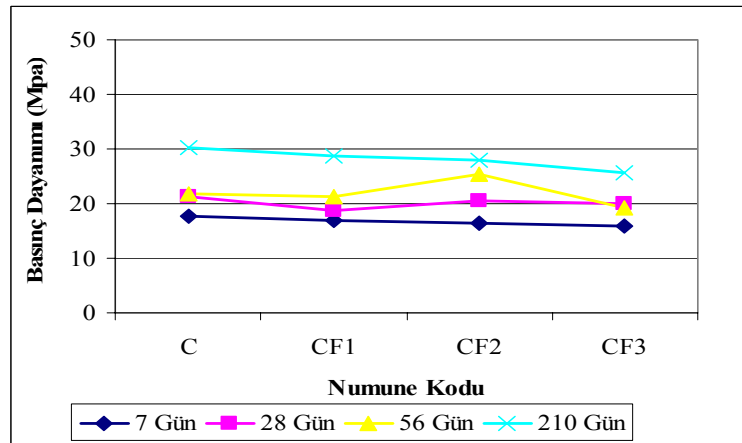
Çelik ve Kılınçkale çalışmasında YFC zayıf bağlayıcı olduğu için erken yaşlarda ve 28. günün sonunda dayanım düşüklüğü olduğunu fakat diğer mineral katkılara göre daha iyi performansa sahip olduğunu belirtmiştir [14]. Yazıcı da YFC kullanımının erken dayanımları düşürdüğünü, ancak ilerleyen yaşlarda bu etkinin büyük oranda kaybolduğunu belirtmiştir [22].



Şekil 4.21 A grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

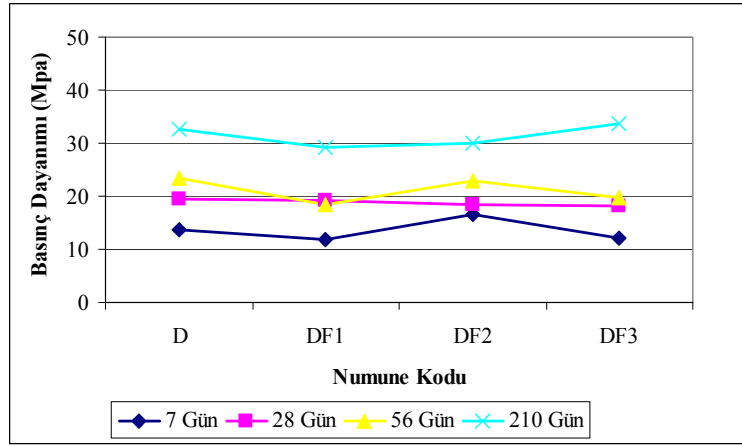


Şekil 4.22 B grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

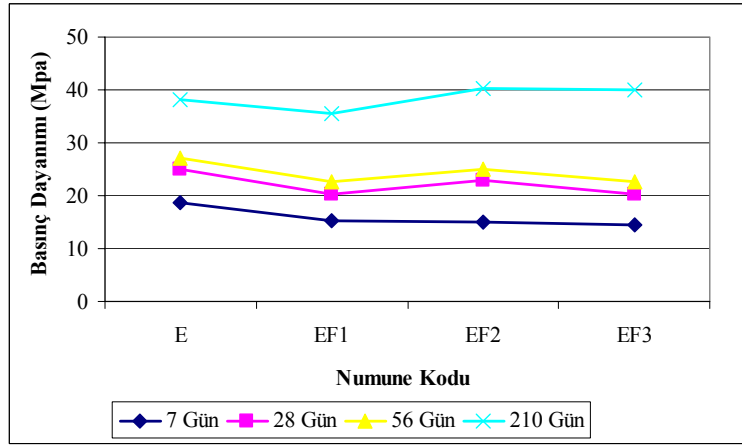


Şekil 4.23 C grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi





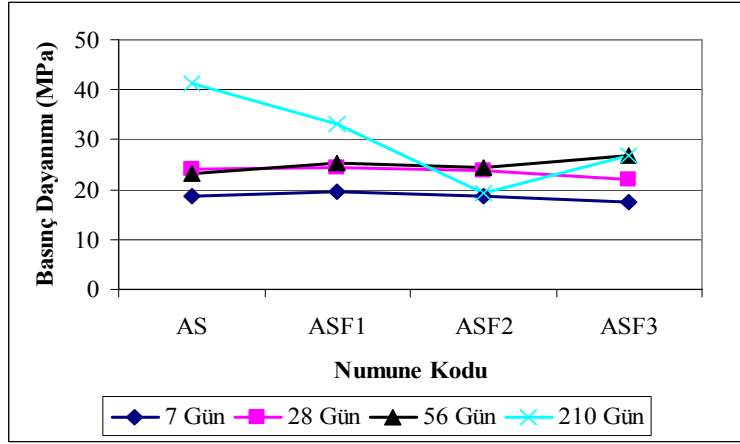
Şekil 4.24 D grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



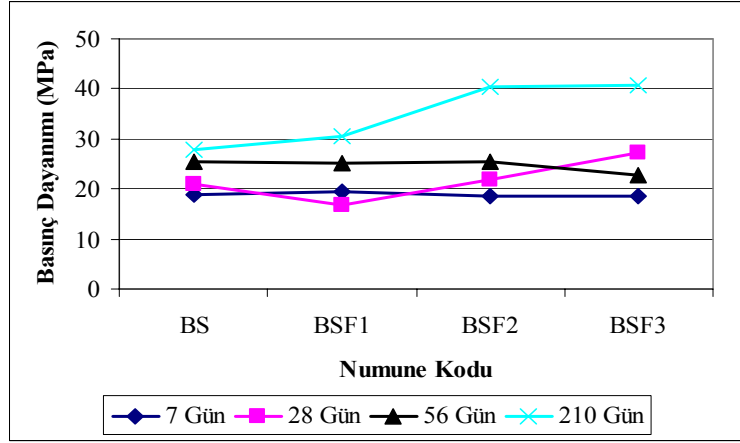
Şekil 4.25 E grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

Şekil 4.26-Şekil 4.30 kimyasal katkıli harçların basınç dayanımları incelendiğinde A çimentosunda akışkanlaştırıcı ve cüruflla birlikte kullanıldığında 210. günde basınç dayanımı azalmıştır.

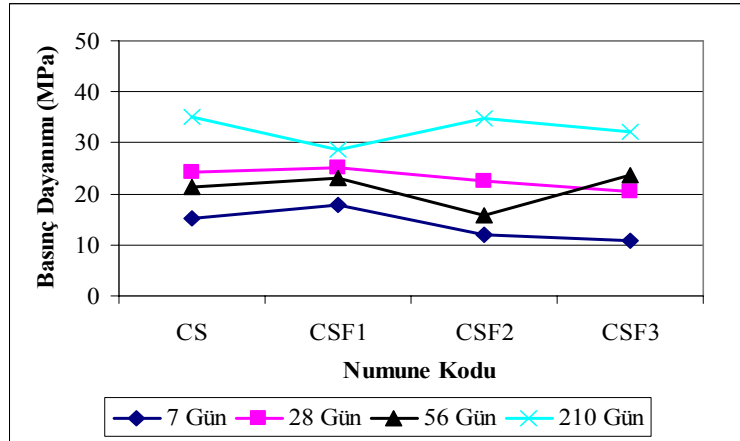
Yaprak ve Şimşek'in çalışmasında da en yüksek basınç dayanımları % 10 ve % 20 YFC ikameli betonlarda görüldüğü belirtilmiştir [9]. Li ve arkadaşları yaptıkları çalışmada mineral katkının geçirgenliği azaltarak basınç dayanımını arttırdığını belirtmişlerdir [16].



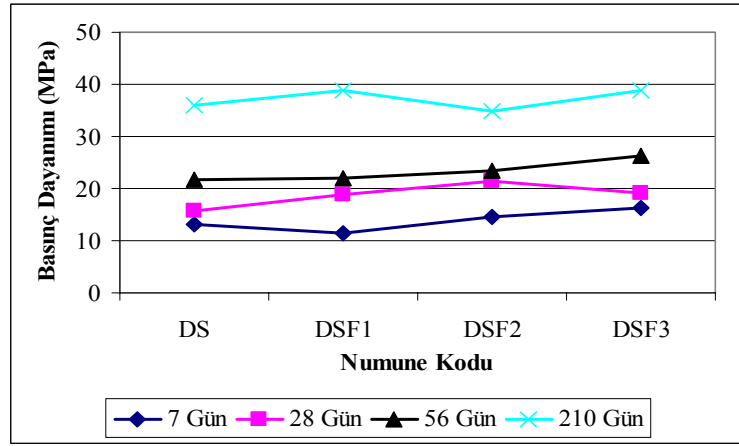
Şekil 4.26 AS grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



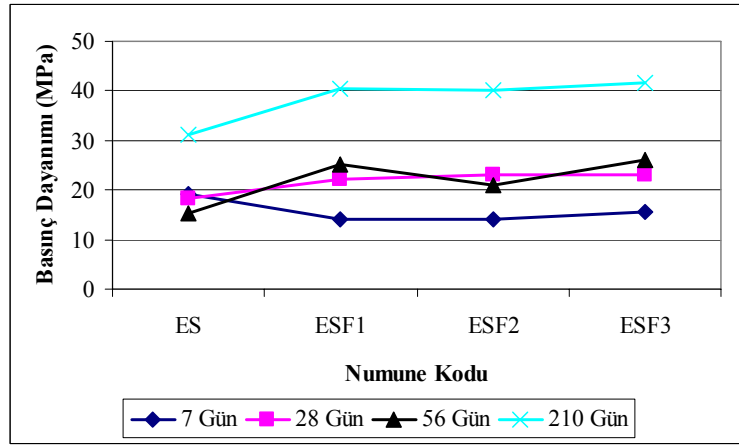
Şekil 4.27 BS grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.28 CS grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

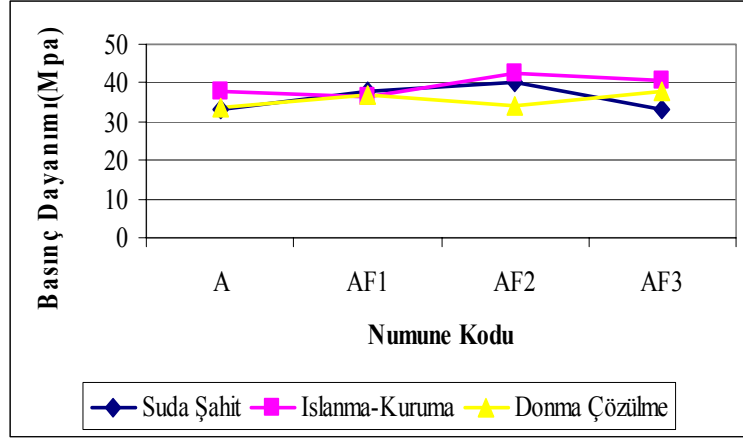


Şekil 4.29 DS grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

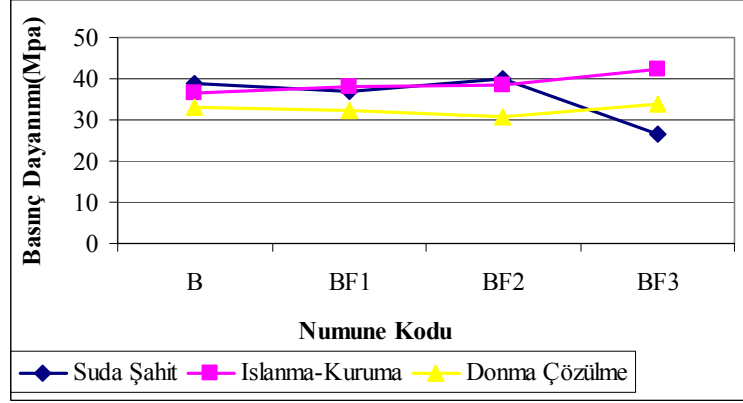


Şekil 4.30 ES grubu harçların basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

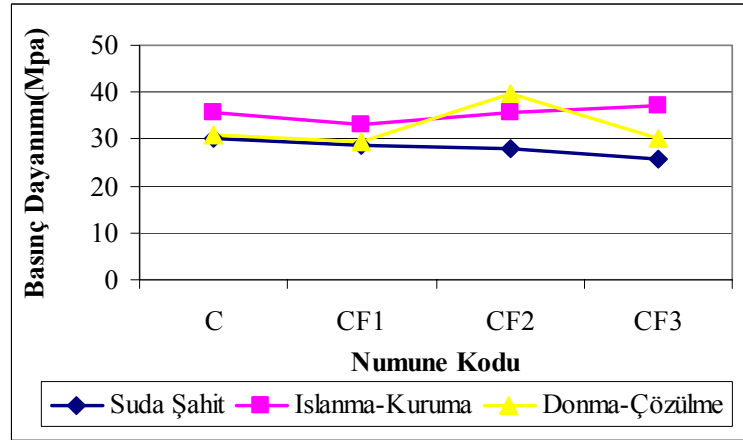
Şekil 4.31-Şekil 4.35’de eskitme deneyleri sonucunda kimyasal katkısız harçların basınç dayanımı grafikleri verilmiştir. Basınç dayanımları eğilme dayanımındaki sonuçlara benzemektedir. Harçların ıslanma-kuruma etkisinde yalnız C harcında basınç dayanım artışı göstermiştir (Şekil 4.33). Donma-çözülmede, E ve B harçlarında basınç dayanımında azalma görülmüştür. Yazıcı’nın yaptığı çalışmada ise YFC’li çimentolarda ıslanma-kuruma etkisinde basınç dayanımında azalma, sülfat etkisinde ise bir miktar dayanım artışı olduğu belirtilmiştir [22].



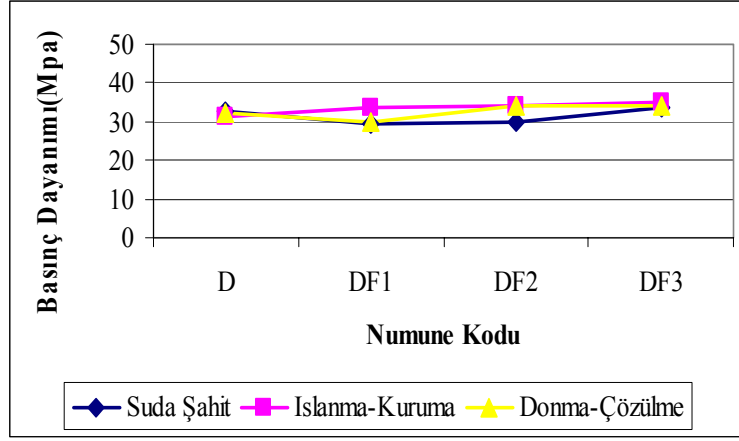
Şekil 4.31 A grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



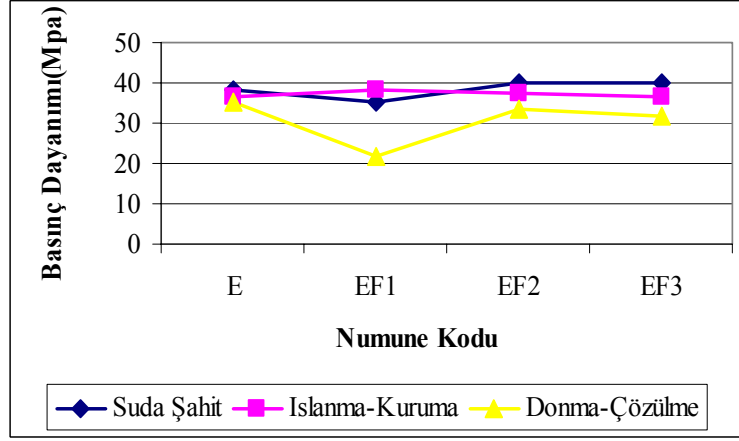
Şekil 4.32 B grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.33 C grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



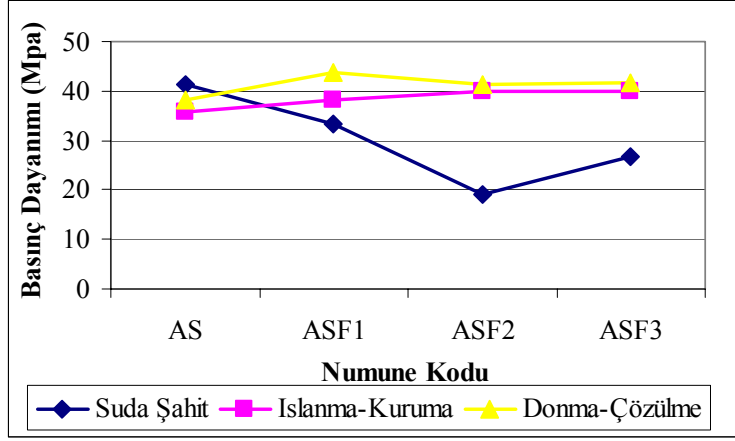
Şekil 4.34 D grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



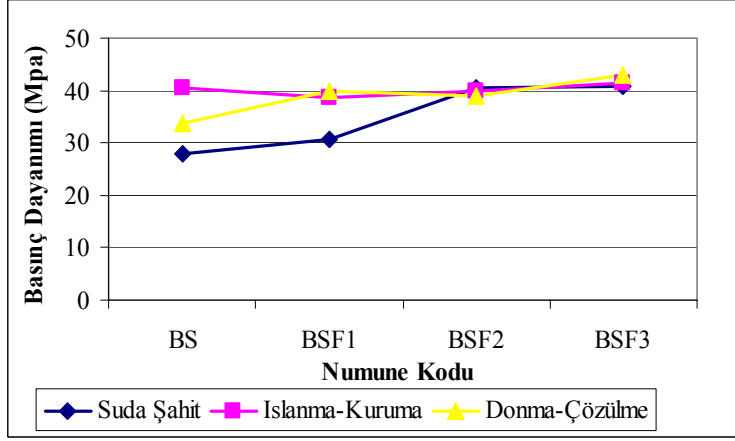
Şekil 4.35 E grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

Şekil 4.36-Şekil 4.40'da eskitme deneyleri sonucunda kimyasal katkıli harçların basınç dayanımı grafikleri verilmiştir.

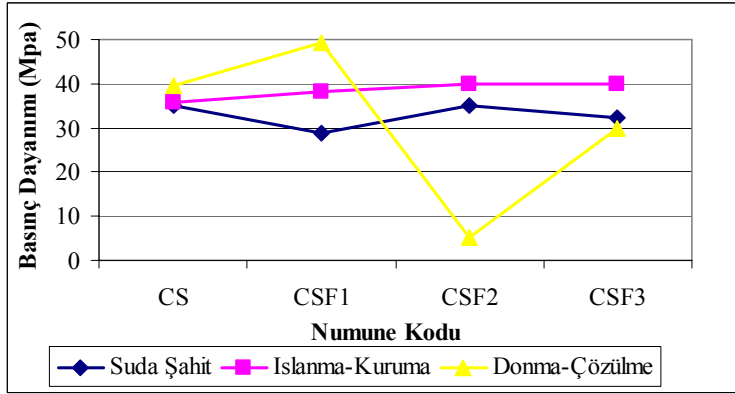
Hekal ve arkadaşları cürufun portland çimento hamurunu iyileştirerek basınç dayanımını arttırdığını göstermişler oysa bu sonuçlarda değişmediği görülmüştür [24]. Özkan % 50 GYFC katkıli betonların özellikle sülfatlara ve yüksek sıcaklığa, portland çimentosuna göre daha dayanıklı olduğunu belirtmiştir [8].



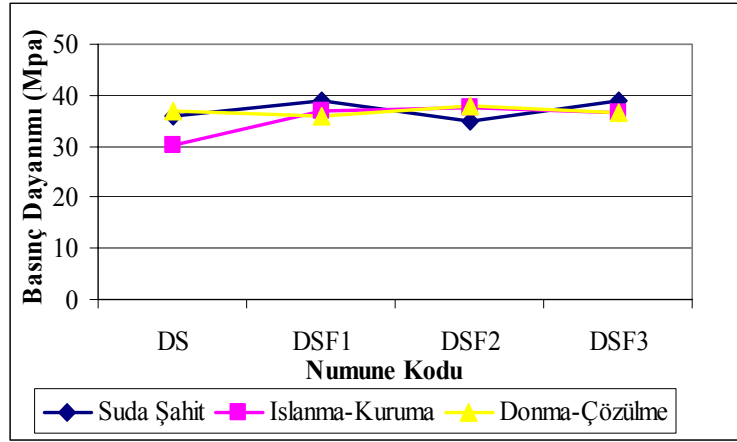
Şekil 4.36 AS grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



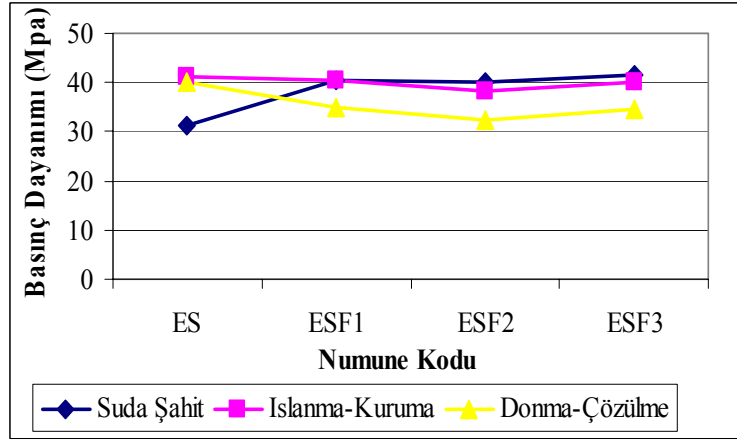
Şekil 4.37 BS grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.38 CS grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.39 DS grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

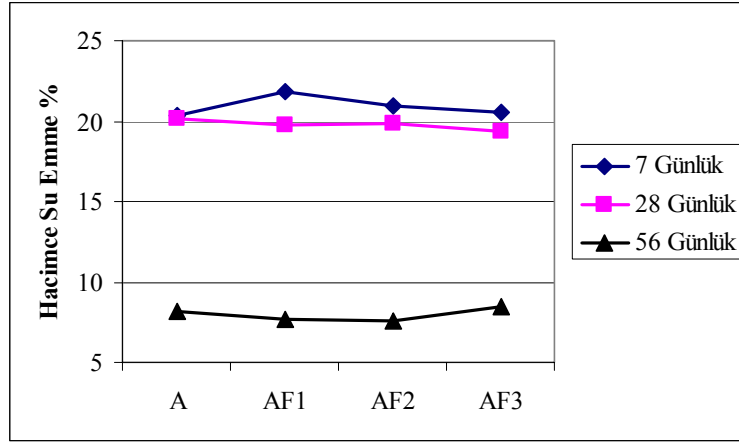


Şekil 4.40.ES grubu harçların eskitme sonucunda basınç dayanımının katkı oranı ile değişimi

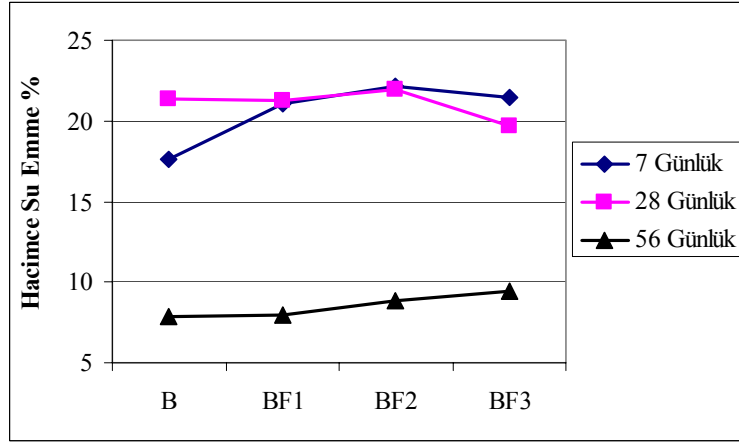
#### 4.2.1.3 Su Emme ve Birim Ağırlık Deneylerinin Değerlendirilmesi

Kimyasal katkılı ve katkısız numuneler 7.,28.,ve 56. günler sonunda hacimce su emme ile birim ağırlık deneyleri yapılmış, sonuçları aşağıda verilmiştir.

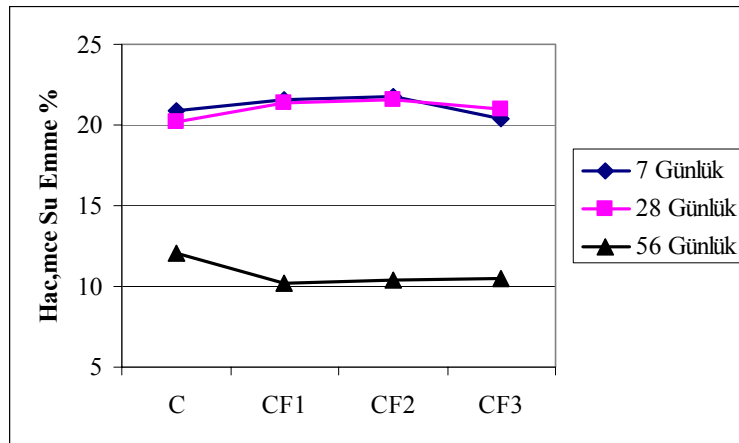
Şekil 4.41-Şekil 4.45 kimyasal katkısız numunelerin 7, 28 ve 56 günlük hacimce su emme yüzdeleri incelendiğinde, 7 ve 28. günlerde su emme yüzdeleri zamanla değişmemiştir. 56 günlük su emme yüzdesi 7 ve 28 günlüklere göre düşük olmuştur. 56. günde boşluklar azaldığı için su emme yüzdesi de azalmıştır.



Şekil 4.41 A grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi

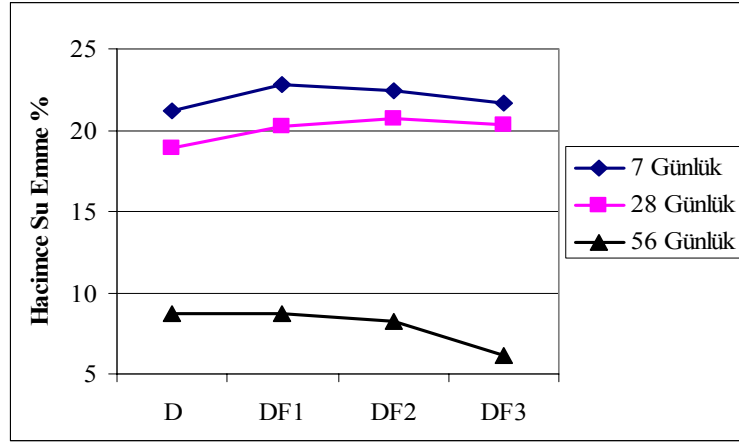


Şekil 4.42 B grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi

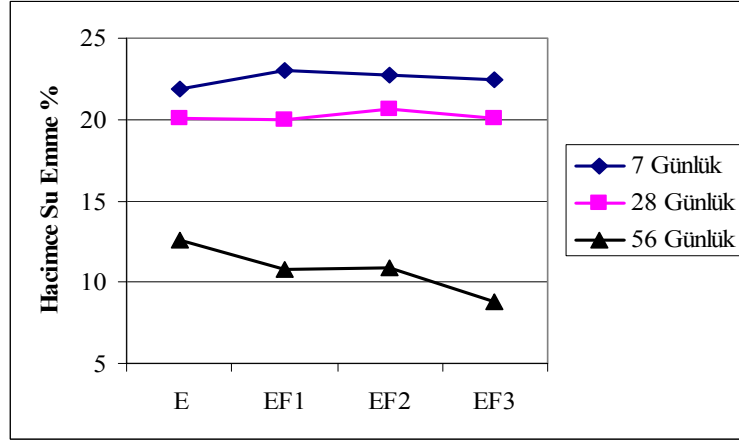


Şekil 5.43 C grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi



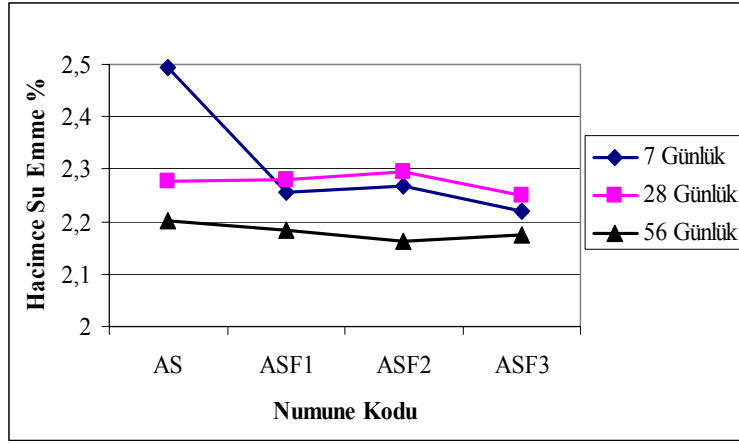


Şekil 4.44 D grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi

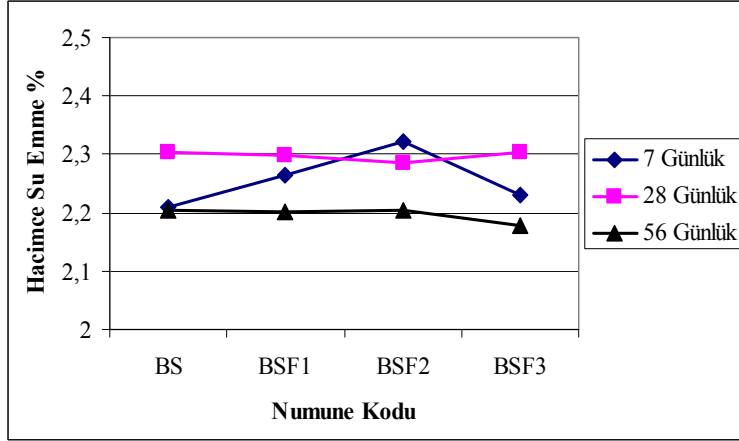


Şekil 4.45 E grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi

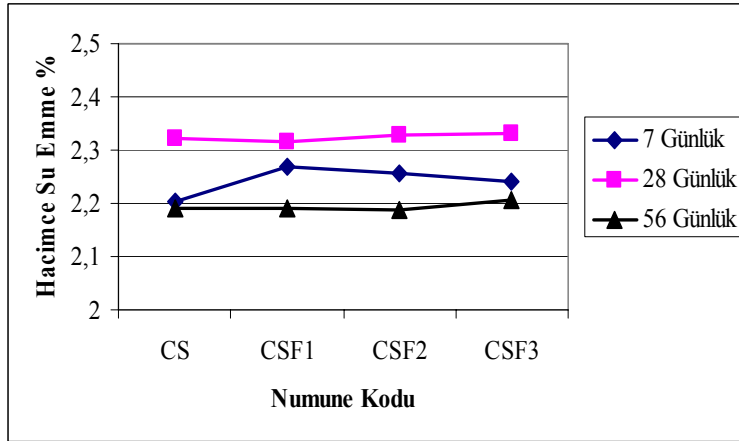
Şekil 4.46-Şekil 4.50'de kimyasal katkıli harçlar incelendiğinde 7 günlük su emme yüzdesi katkısızlara göre yaklaşık % 10 düşmüştür. Zamanla 7, 28, 56. güne göre belirgin bir hacimce su emme değişimi görülmemiştir.



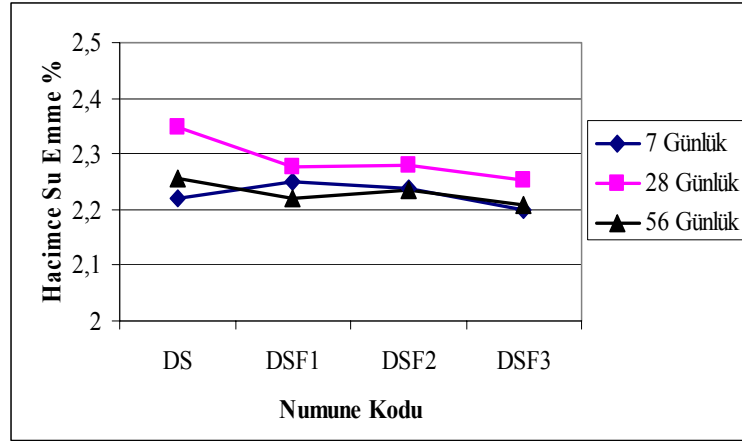
Şekil 4.46 AS grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi



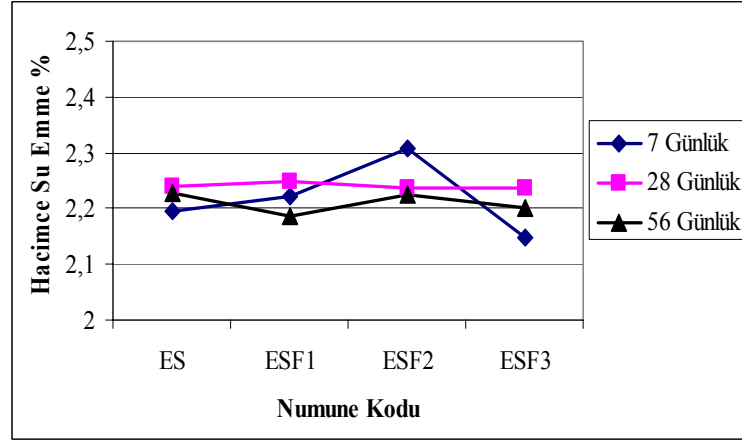
Şekil 4.47 BS grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.48 CS grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi

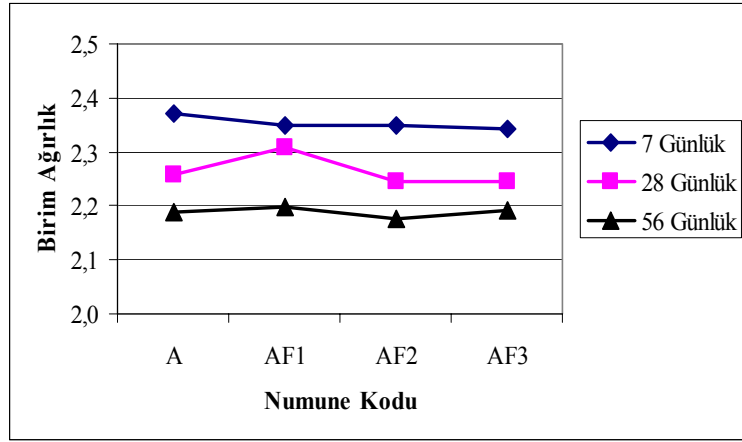


Şekil 4.49 DS grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi

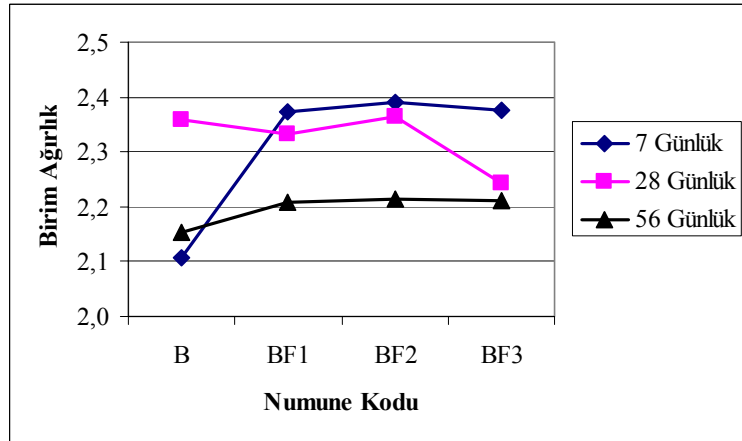


Şekil 4.50 ES grubu harçların hacimce su emme değerlerinin katkı oranı ile değişimi

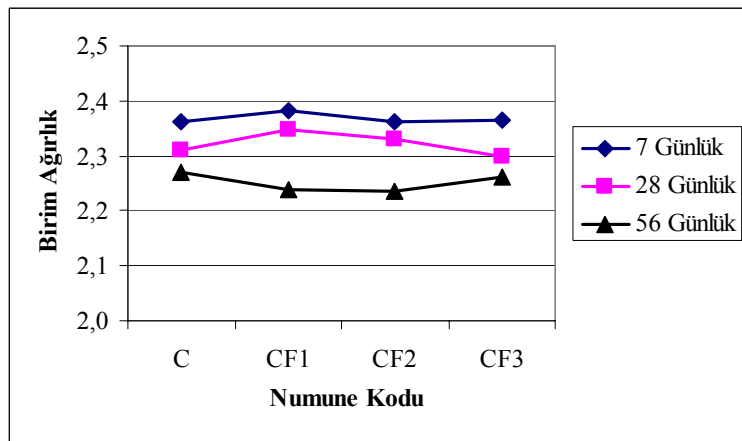
Şekil 4.51-Şekil 4.55’de kimyasal katkısız harçlarda birim ağırlık, az da olsa zamanla azalmıştır. Cüruf artışı harçların birim ağırlığını değiştirmemiştir.



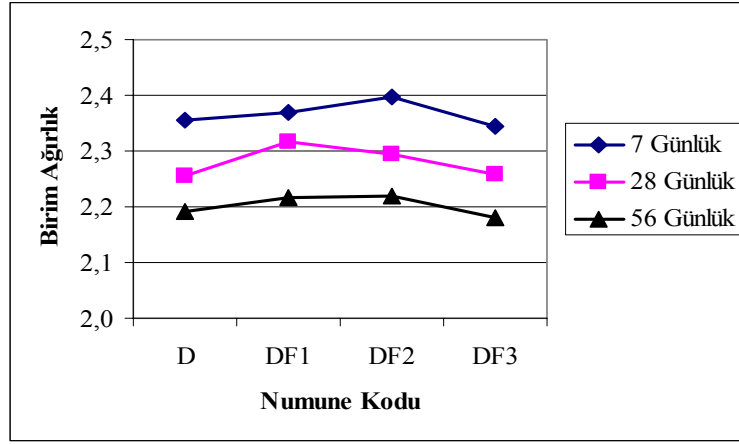
Şekil 4.51 A grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi



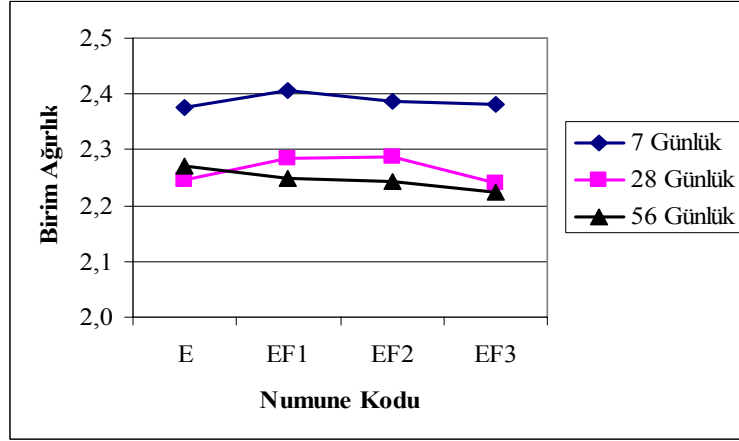
Şekil 4.52 B grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.53 C grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi

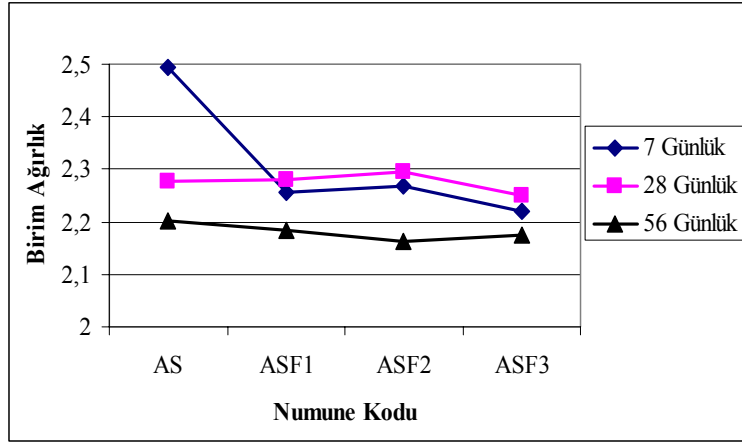


Şekil 4.54 D grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi

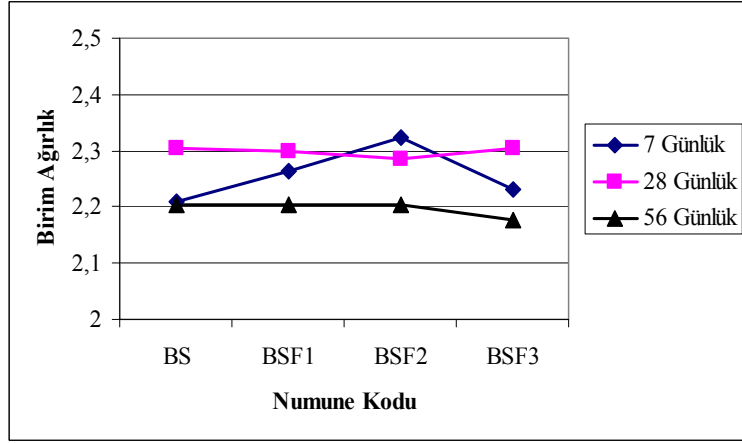


Şekil 4.55 E grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi

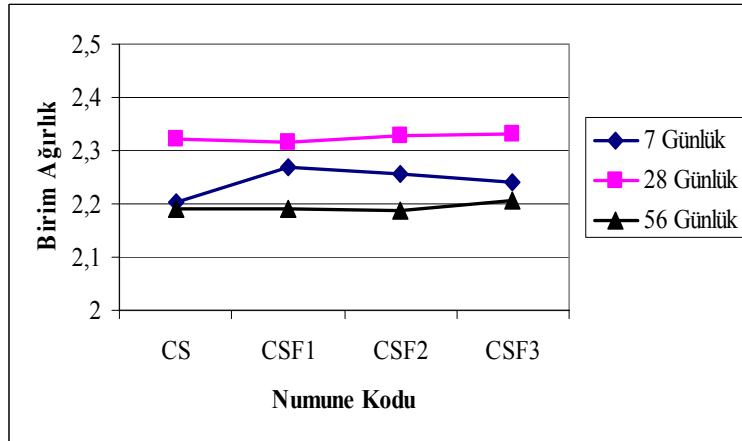
Şekil 54.56-Şekil 4.60'da kimyasal katkılı harçların birim ağırlıkları incelendiğinde, kimyasal katkısız harçların birim ağırlığındaki gibi, cürufllu numunelerde birim ağırlık azalmıştır.



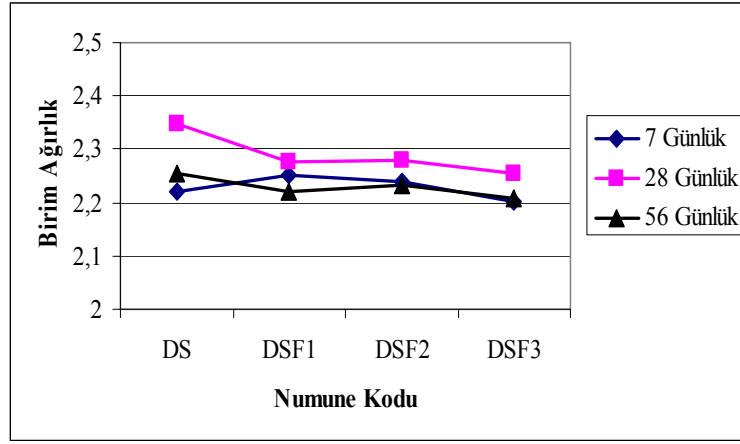
Şekil 4.56 AS grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi



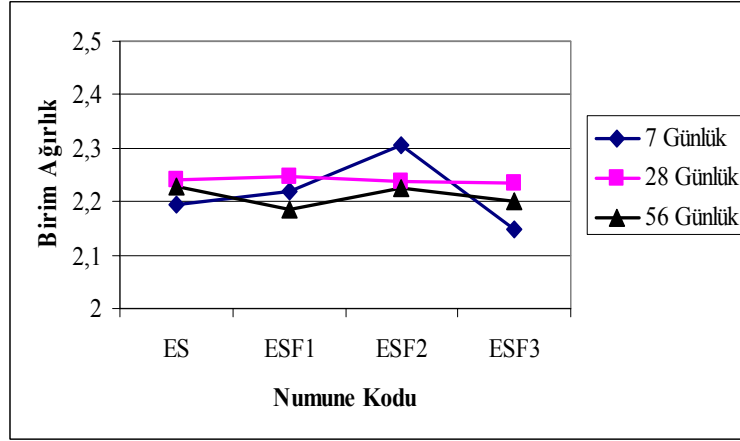
Şekil 4.57 BS grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.58 CS grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.59 DS grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi



Şekil 4.60 ES grubu harçların birim ağırlık değerlerinin katkı oranı ile değişimi

#### 4.2.1.4 Özgül Ağırlık Deneyinin Değerlendirilmesi

7., 28.ve 56. günlük kimyasal katkılı ve katkısız numunelerin Ek A.2'deki sonuçları incelendiğinde, kimyasal katkısız harçların hepsinde 56. günde özgül ağırlıklarda azalma olmuştur. Kimyasal katkılı harçların özgül ağırlıkları incelendiğinde 56. günde A grubunda özgül ağırlıkta artış diğer gruplarda azalma olmuştur.

### 4.3 Eskitme Süreçleri Deneysel Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eskitme süreçleri ve şahit olmak üzere 14 hafta süre ile suda saklanan grupla ve ıslanma-kuruma, donma-çözülme süreçlerinden sonra yapılan kontrol deneylerinin sonuçları aşağıda sırası ile değerlendirilmiştir.

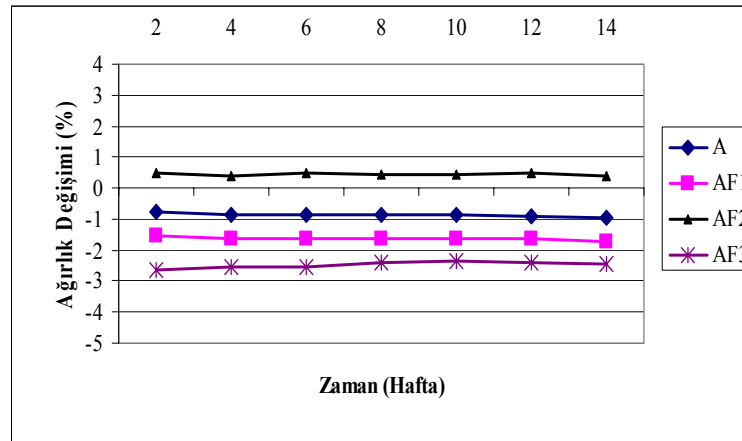
#### 4.3.1 Su İçindeki (Şahit Grup) Deneylerin Değerlendirmesi

Kimyasal katkısız ve katkılı iki grup numune kontrol numunesi suda bekletilmiş ve her hafta ağırlık ve boy değişimleri ile ultrases hızı ölçülmüştür. Bunların zaman içindeki değişimleri grafiklerle verilmiştir.

##### 4.3.1.1 Ağırlık Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi

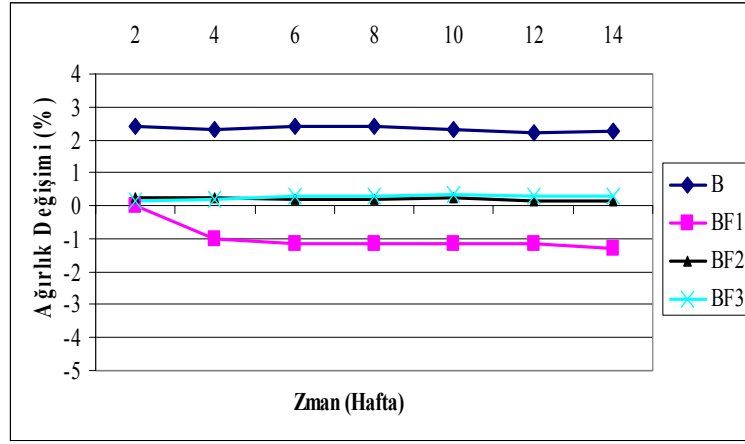
Kimyasal katkılı ve katkısız su içindeki numunelerin ağırlık değişimi grafikleri ve irdelemesi aşağıdaki gibidir.

Şekil 4.61-Şekil 4.65'deki grafikler incelendiğinde su içinde bekleyen kimyasal katkısız harçların ağırlık değişimi ağırlık kaybı şeklindedir. Ancak cüruf katılması ile B, D ve E kontrol harçlarında ağırlık değişimi, ağırlık artışı şeklinde olmuştur.

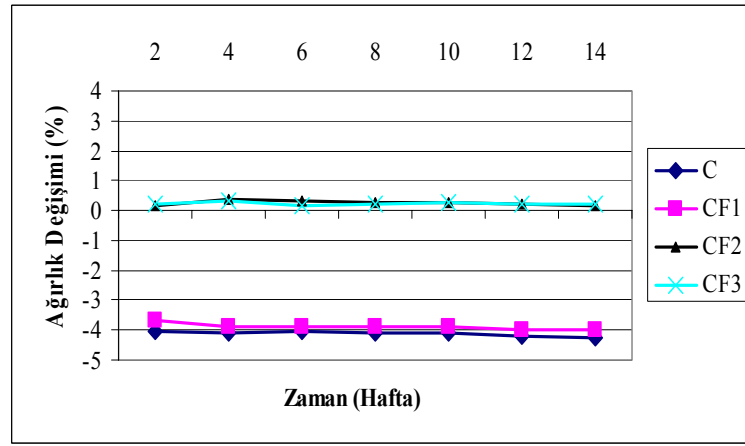


Şekil 4.61 Su içinde saklanan A grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi

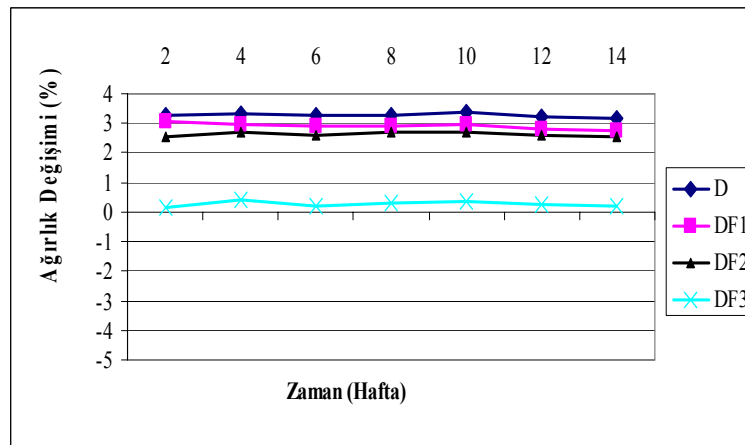




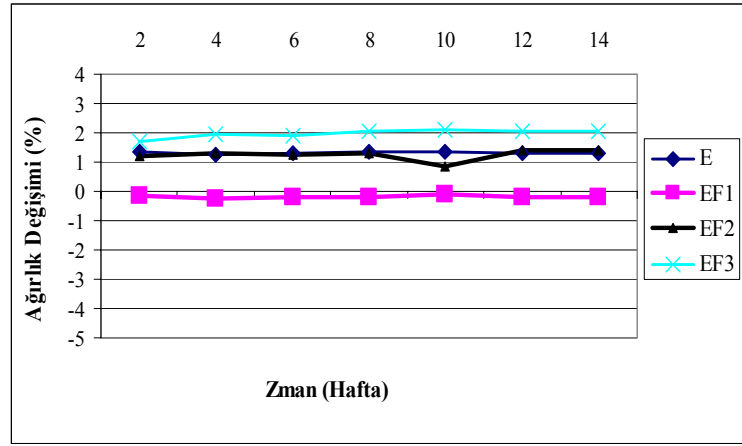
Şekil 4.62 Su içinde saklanan B grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 4.63 Su içinde saklanan C grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi)

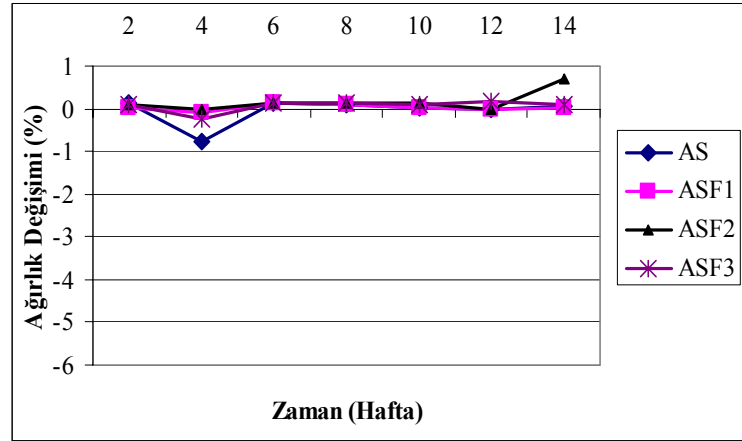


Şekil 4.64 Su içinde saklanan D grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi

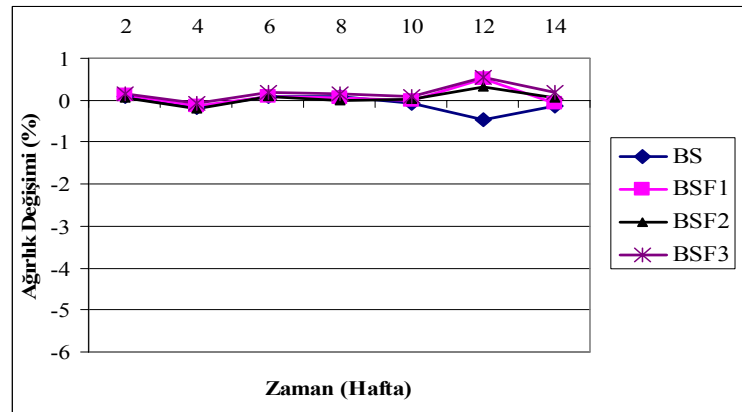


Şekil 4.65 Su içinde saklanan E grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi

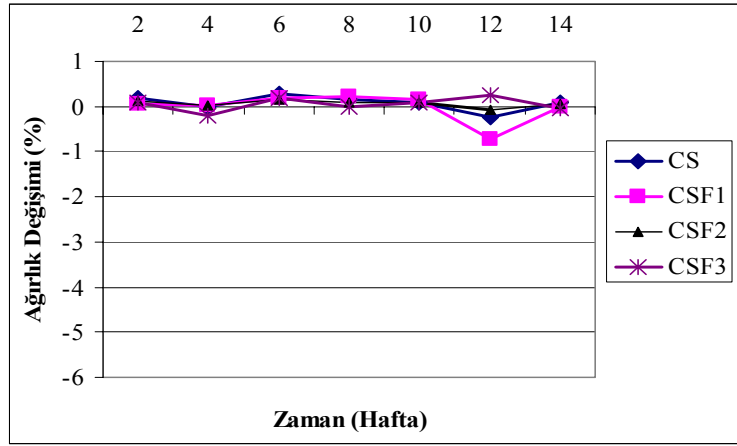
Şekil 4.66-Şekil 4.70’de kimyasal katkıli harçların grafikleri incelendiğinde cüruf katkısı ağırlık değişimini değiştirmemiştir. Azalma veya artış olmamıştır.



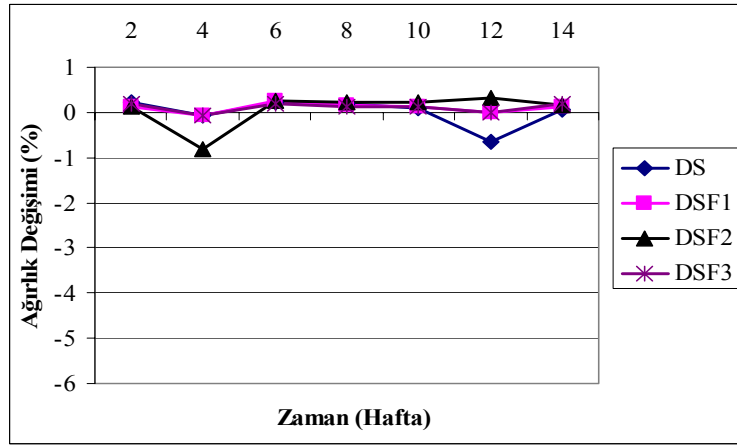
Şekil 4.66 Su içinde saklanan AS grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi



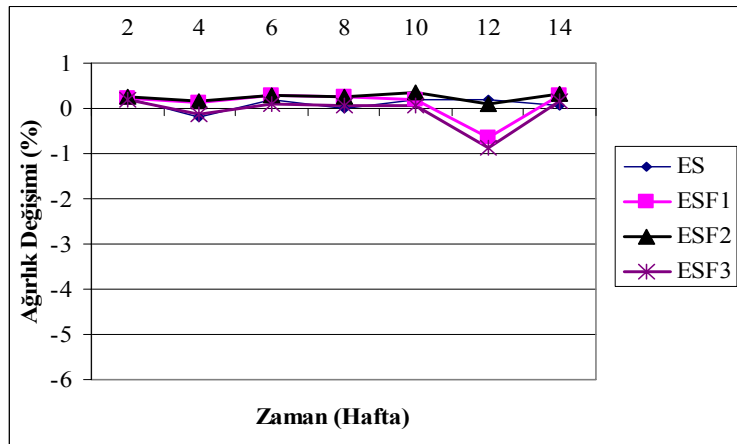
Şekil 4.67 Su içinde saklanan BS grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 4.68 Su içinde saklanan CS grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 4.69 Su içinde saklanan DS grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi

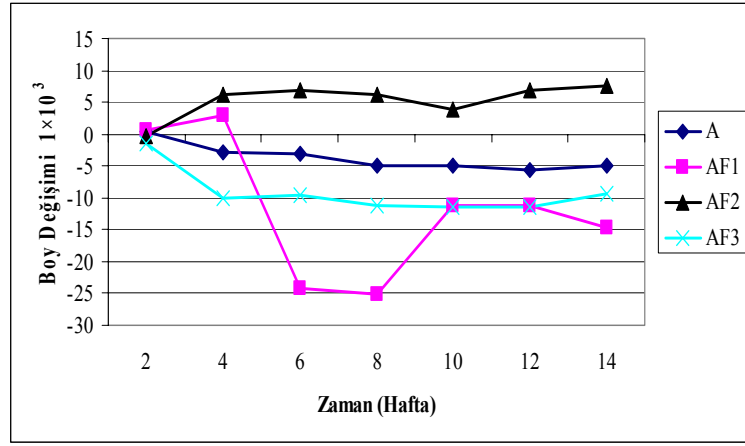


Şekil 4.70 Su içinde saklanan ES grubu harçların ağırlık değişimi-zaman ilişkisi

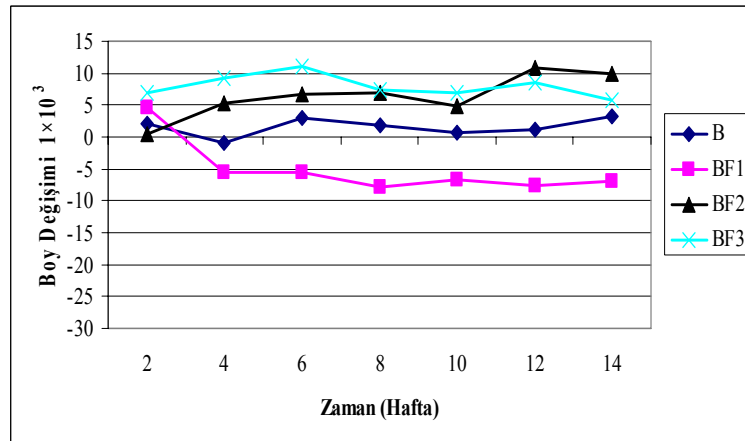
### 4.3.1.2 Boy Değişimi Denejlerinin Değerlendirmesi

Kimyasal katkılı ve katkısız su içindeki numunelerin boy değişimi grafikleri ve irdelemesi aşağıdaki gibidir.

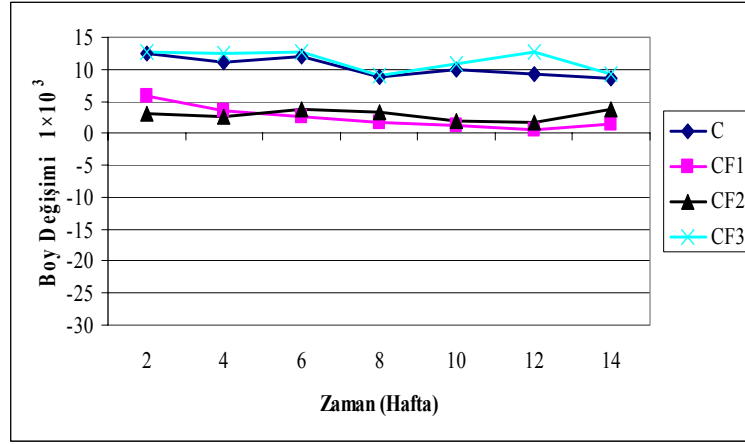
Şekil 4.71-Şekil 4.75’de kimyasal katkısız haręların boy değişimleri incelendiğinde, A, B ve D gruplarındaki şahit haręlarda başlangığta artış gürülmüş, diğerlerinde çok fazla bir değişim olmamıştır.



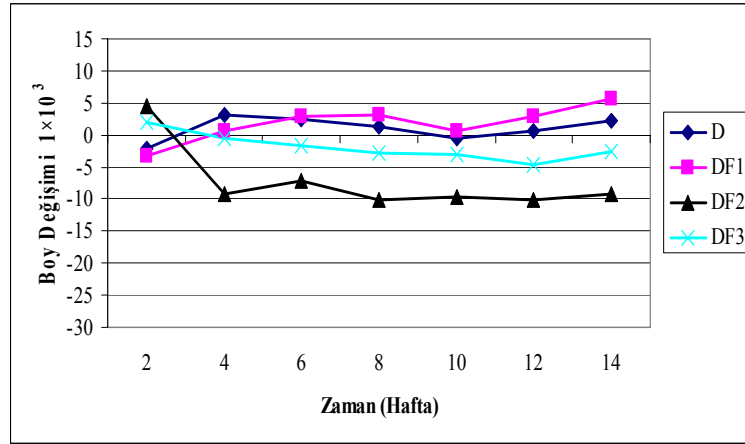
Şekil 4.71 Su içinde saklanan A grubu haręların boy değişimi-zaman ilişkisi



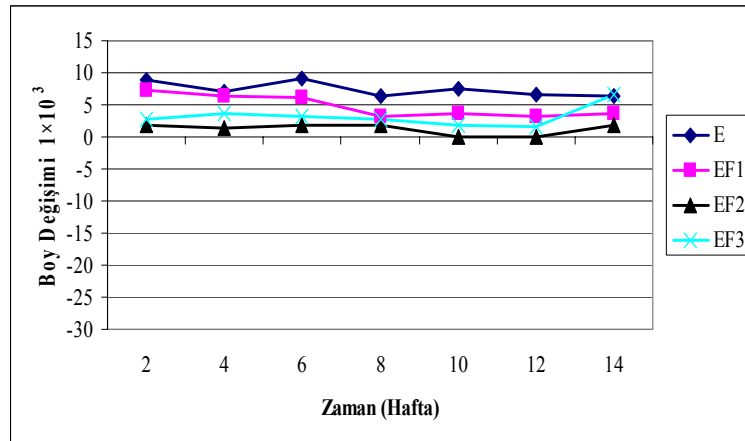
Şekil 4.72 Su içinde saklanan B grubu haręların boy değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 4.73 Su içinde saklanan C grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi

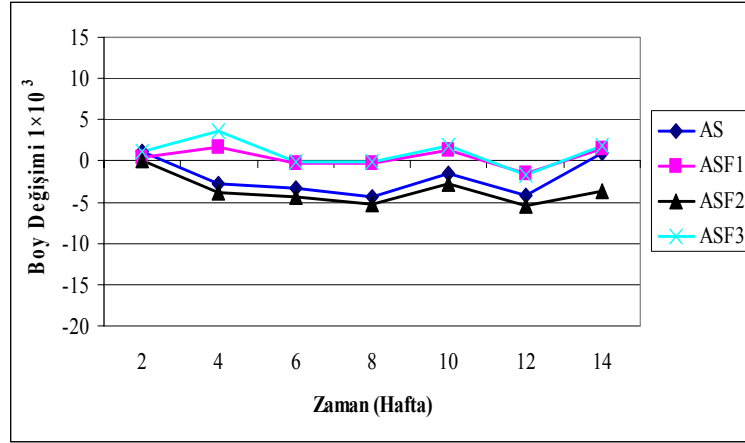


Şekil 4.74 Su içinde saklanan D grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi

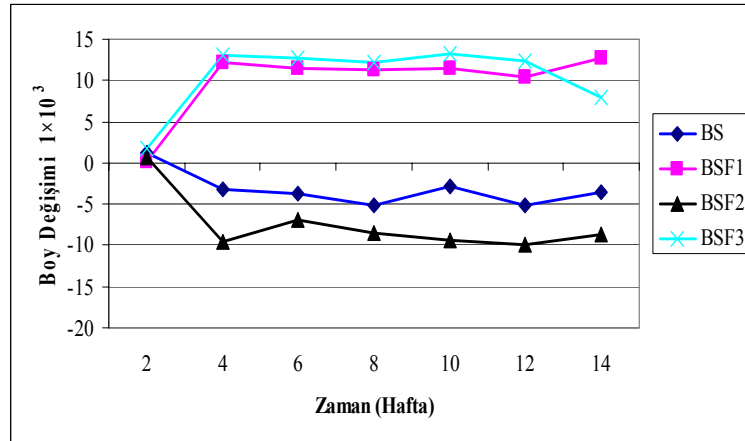


Şekil 4.75 Su içinde saklanan E grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi

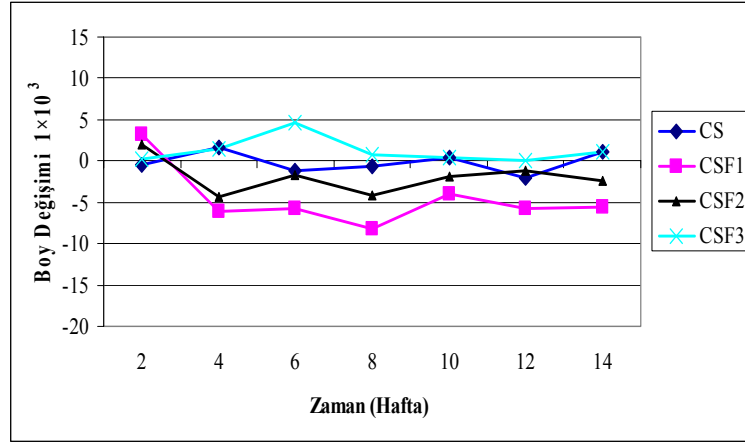
Şekil 4.76-Şekil 4.80’de su içinde kimyasal katkı numunelerinin boy değişimi grafikleri incelendiğinde, çok fazla boy değişimi olmamış, D harç grubu dışındaki harçlarda, şahit harç ve % 9 cürufllu harçlarda ilk çevrimde rötire, diğer cürufllu harçlarda ise uzama görülmüştür.



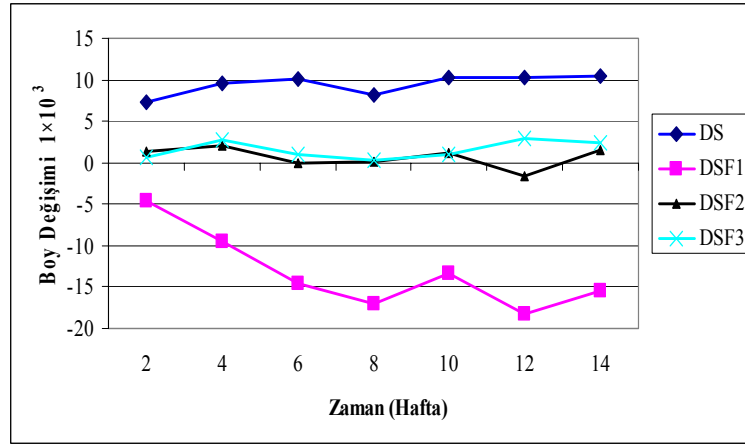
Şekil 4.76 Su içinde saklanan AS grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi



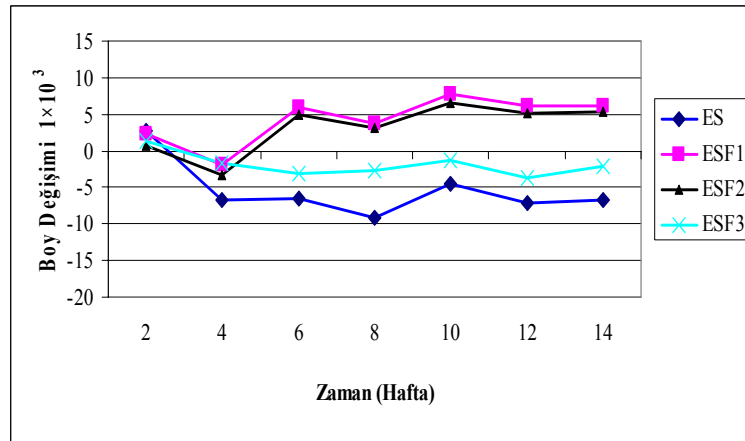
Şekil 4.77 Su içinde saklanan BS grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 5.78 Su içinde saklanan CS grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 5.79 Su içinde saklanan DS grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi

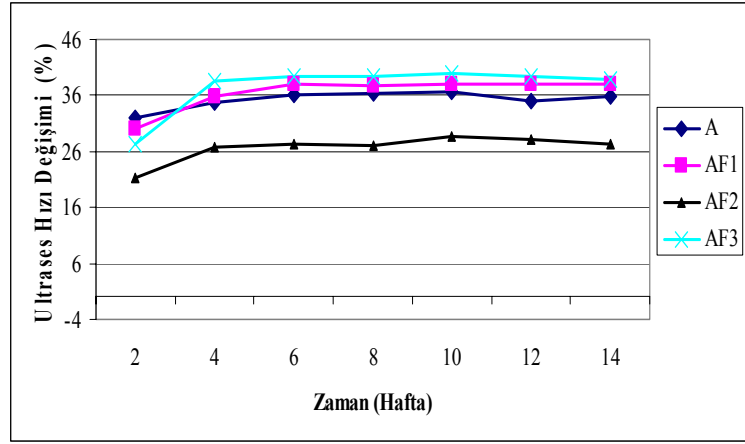


Şekil 4.80 Su içinde saklanan ES grubu harçların boy değişimi-zaman ilişkisi

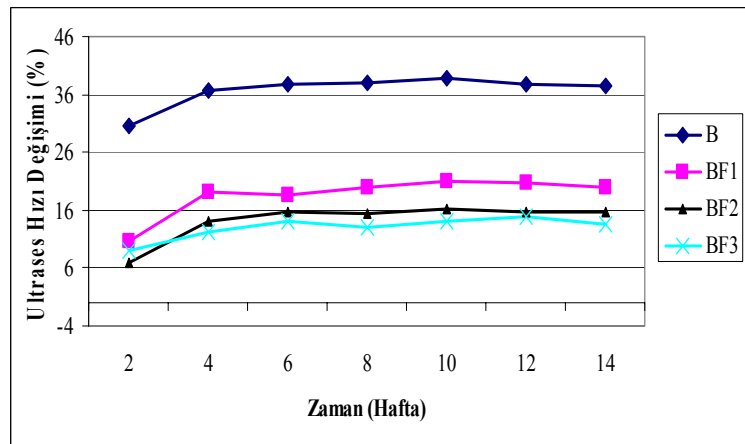
### 4.3.1.3 Ultrases Hız Deneylerinin Değerlendirmesi

Kimyasal katkılı ve katkısız kontrol numunelerini ultrases hız değişimi grafikleri ve irdelemesi aşağıdaki gibidir.

Şekil 4.81-Şekil Şekil 4.85’de kimyasal katkısız numunelerin ultrases hız grafikleri incelendiğinde, ultrases hızları A ve B harcında yüksek değerleri düşüktür. B kontrol harcı cürufllu harçlardan belirgin bir şekilde yüksektir. D ve E harç gruplarında ultrases hızları düşük olmuştur.

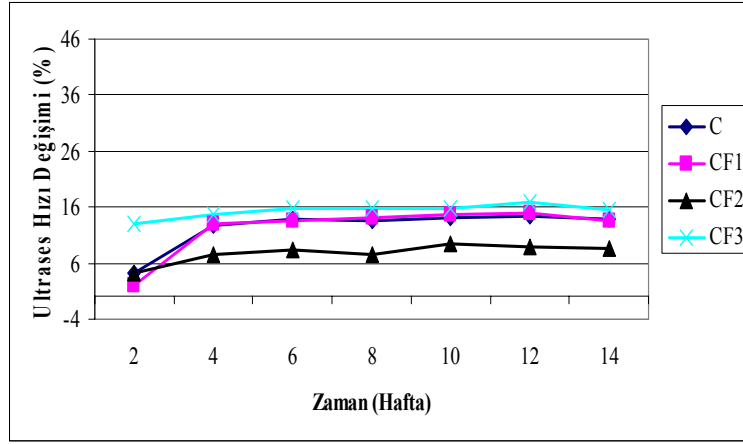


Şekil 4.81 Su içinde A grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi

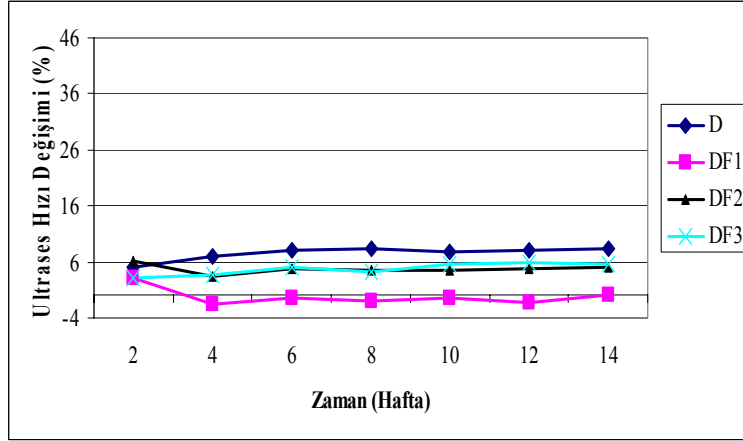


Şekil 4.82 Su içinde B grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi

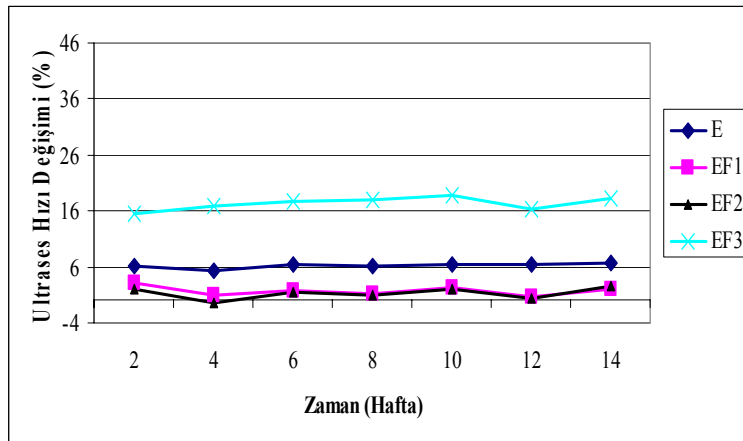




Şekil 4.83 Su içinde C grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi

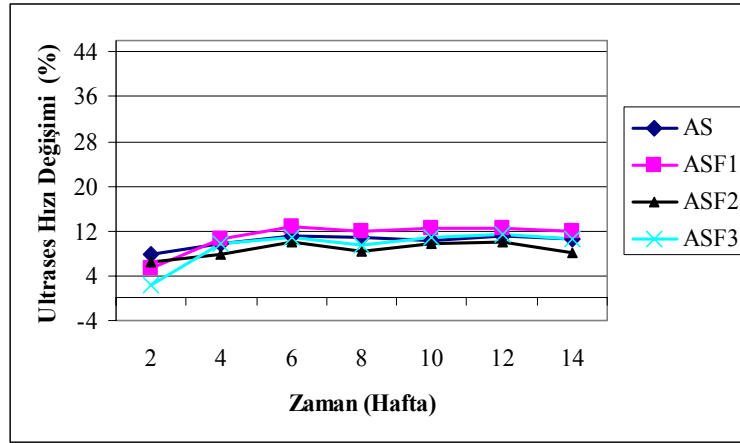


Şekil 4.84 Su içinde D grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi

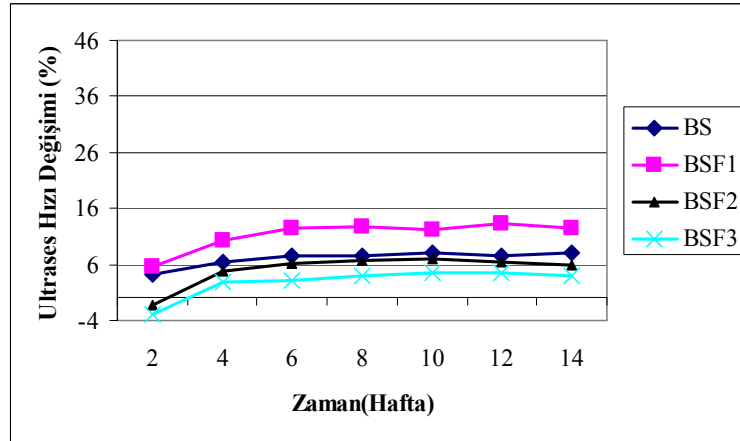


Şekil 4.85 Su içinde E grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi

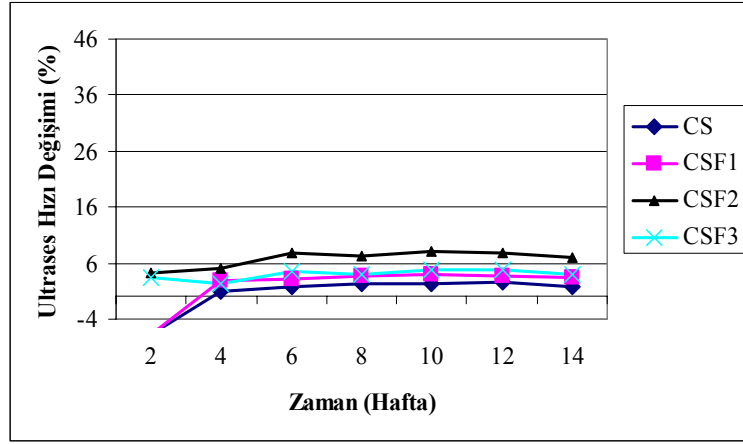
Şekil 4.86-Şekil 4.90’de kimyasal katkılı numunelerin ultrases hızları incelendiğinde, kimyasal katkısızlara göre düşüktür. A ve B grubu harçların ultrases hızları diğerlerine göre yüksektir. Ultrases hızının artışının nedeni, boşlukların azalıp sesin daha hızlı geçmesidir. Dolayısıyla akışkanlaştırıcı ile üretim sırasında boşluksuz bir yapı oluştuğu söylenebilir [45].



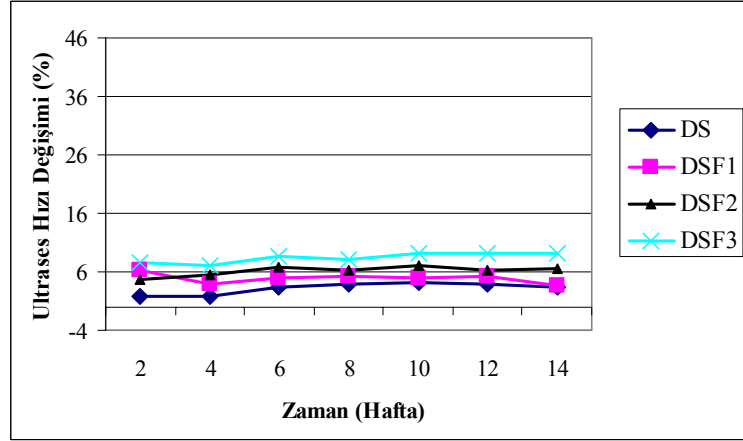
Şekil 4.86 Su içinde AS grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi



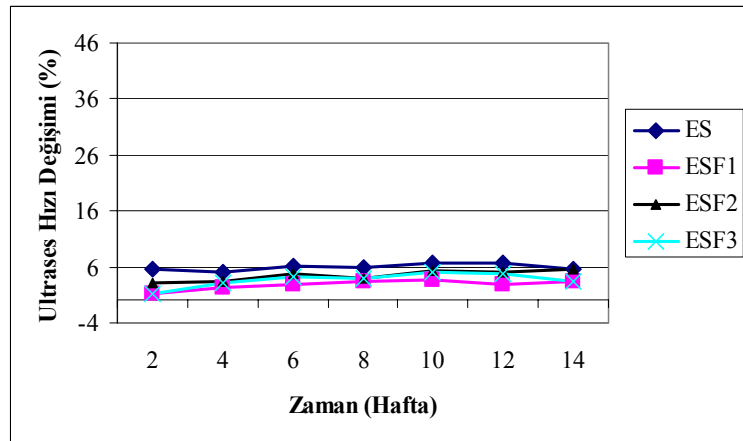
Şekil 4.87 Su içinde BS grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 4.88 Su içinde CS grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 4.89 Su içinde DS grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi



Şekil 4.90 Su içinde ES grubu harçların ultrases hız değişimi-zaman ilişkisi

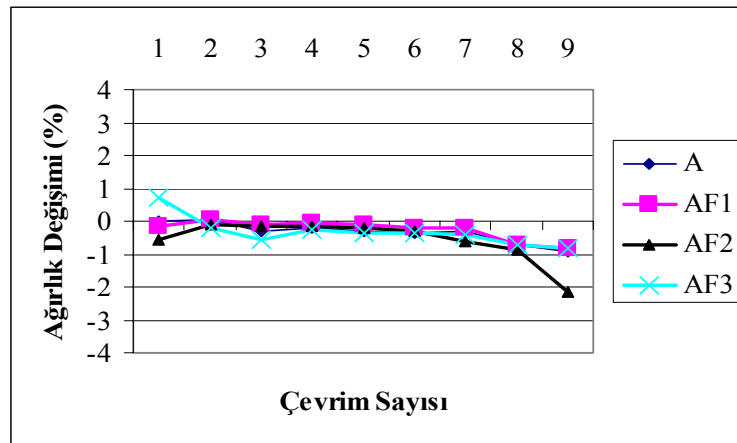
### 4.3.2 Islanma-Kuruma Deneylerinin Değerlendirmesi

Kimyasal katkılı ve katkısız iki grup numune ıslanma-kuruma deneyi için suda bekletilmiş sudan çıktıktan sonra ve kuruduktan sonra 20 °C civarında ve % 50 nemli laboratuarda bekletilen harçların ağırlıkları ile ultrases hızları ölçülmüştür. Bu sonuçlar Ek A ve Ek C’de tablolarda verilmiştir. Bu tablolara göre çizilen grafiklerin değerlendirilmesi aşağıdadır.

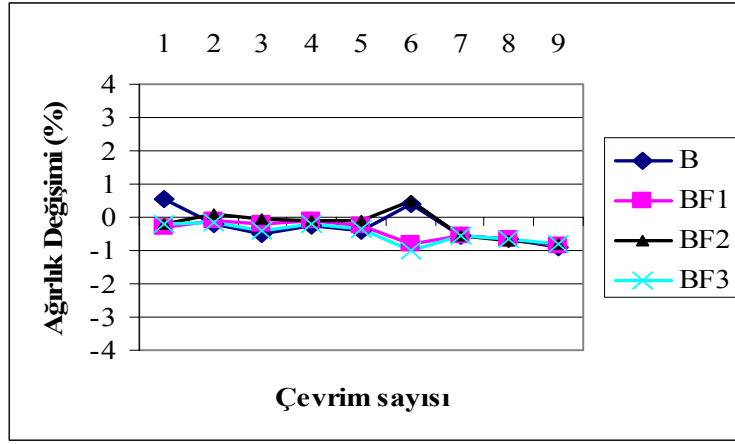
#### 4.3.2.1 Ağırlık Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi

Kimyasal katkılı ve katkısız iki grup harç numunesi bir hafta su içinde bir hafta laboratuarda bekletilerek ağırlıkları ölçülmüştür.

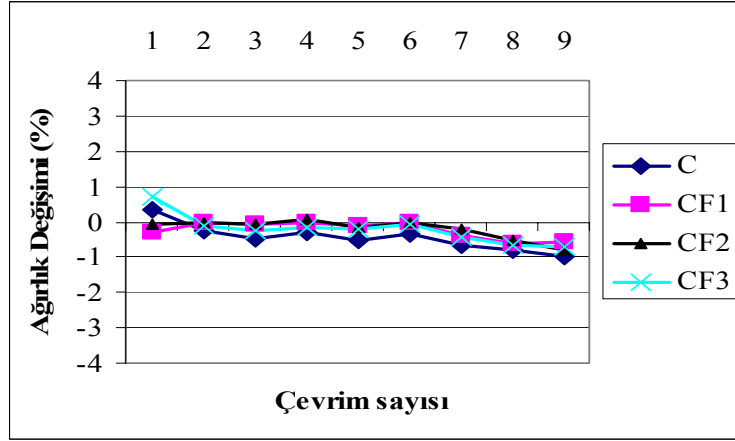
Kimyasal katkısız ve mineral katkılı bütün numunelerde Şekil 4.91-Şekil 4.95’de görüldüğü gibi genelde 6. çevrimden sonra azalma olmuş, cüruf artışının ağırlık değişimine etkisi olmamıştır.



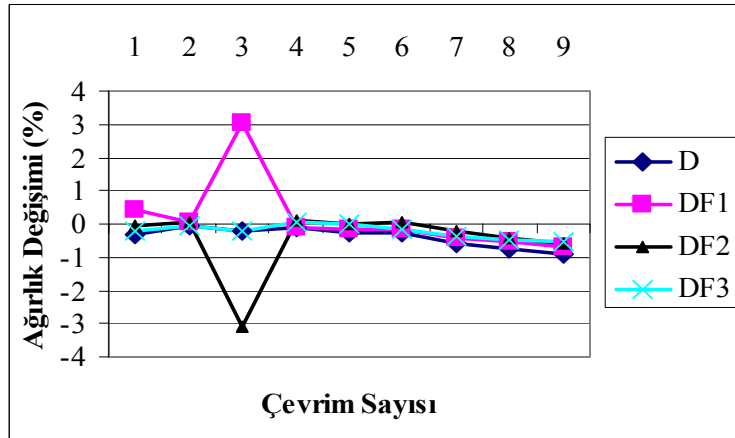
Şekil 4.91 Islanma-kuruma etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi



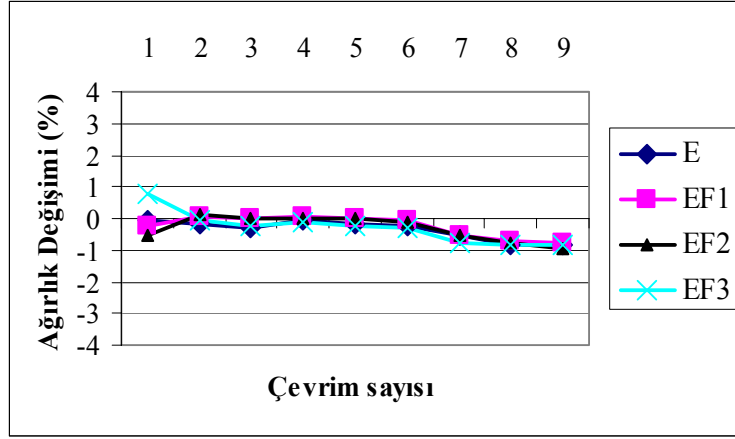
Şekil 4.92 Islanma-kuruma etkisindeki B grubu harçların ağırlık değişimi



Şekil 4.93 Islanma-kuruma etkisindeki C grubu harçların ağırlık değişimi

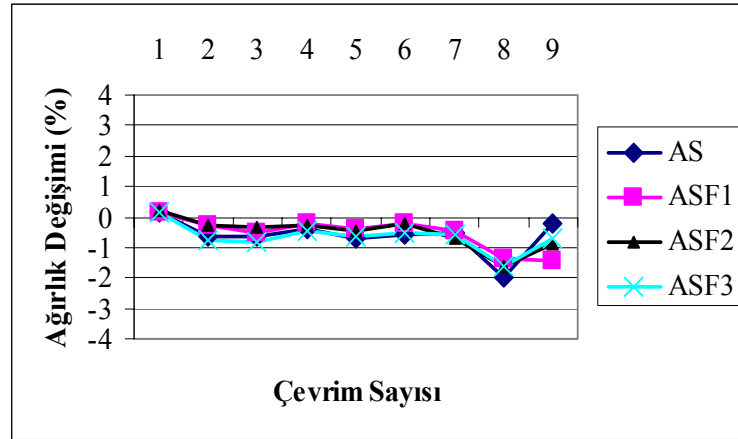


Şekil 4.94 Islanma-kuruma etkisindeki D grubu harçların ağırlık değişimi

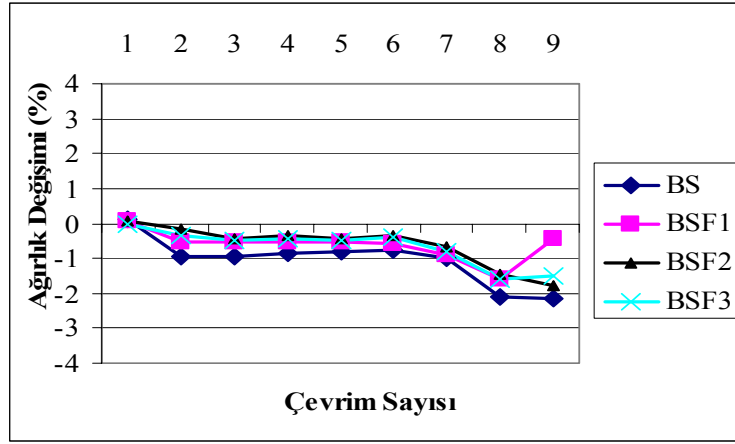


Şekil 4.95 Islanma-kuruma etkisindeki E grubu harçların ağırlık değişimi

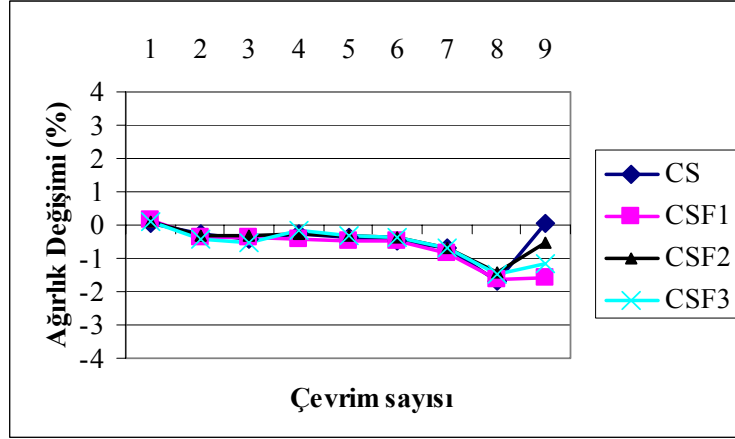
Şekil 4.96-Şekil 4.100’da kimyasal katkıli harçların ağırlık değişimi grafikleri incelendiğinde, kimyasal katkısızlarda olduğu gibi bütün harçlarda ağırlıkların azaldığı görülmüştür. Genelde 6. çevrimden sonra azalma artmış, birkaç değer dışında cüruf katkısı ağırlık değişimini fazla değiştirmemiştir.



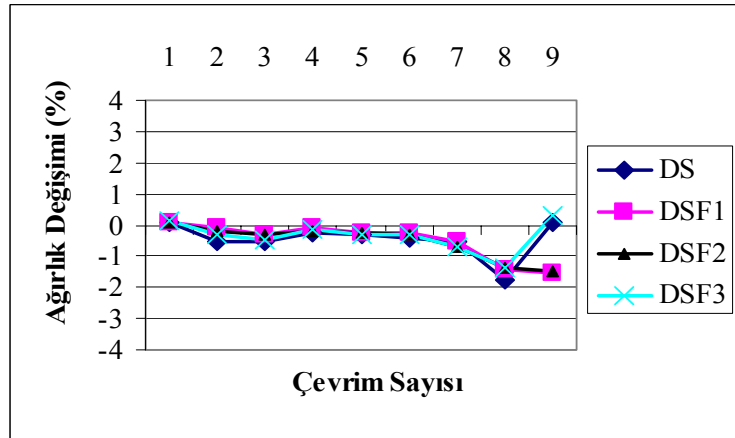
Şekil 4.96 Islanma-kuruma etkisindeki AS grubu harçların ağırlık değişimi



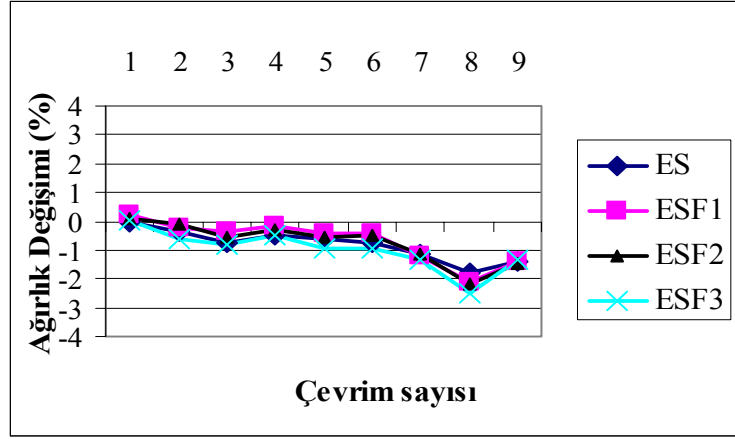
Şekil 4.97 Islanma-kuruma etkisindeki BS grubu harçların ağırlık değişimi



Şekil 4.98 Islanma-kuruma etkisindeki CS grubu harçların ağırlık değişimi



Şekil 4.99 Islanma-kuruma etkisindeki DS grubu harçların ağırlık değişimi

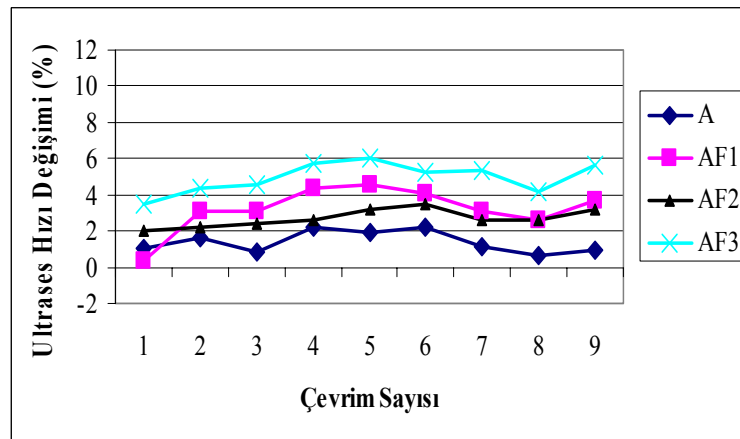


Şekil 4.100 Islanma-kuruma etkisindeki ES grubu harçların ağırlık değişimi

#### 4.3.2.2 Ultrases Hız Deneyinin Değerlendirmesi

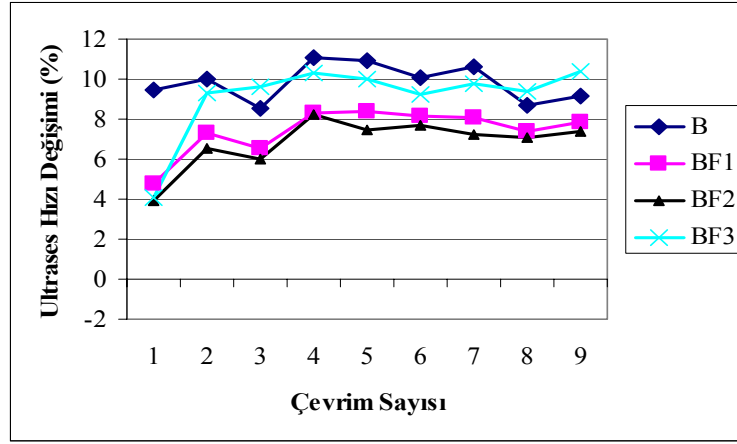
Islanma-kuruma deneyinde kimyasal katkılı ve katkısız harç numunelerinin ultrases hız değişimi grafikleri ve irdelemesi aşağıdaki gibidir.

Şekil 4.101-Şekil 4.105'deki bekleyen kimyasal katkısız harçların ultrases hız değişimleri incelendiğinde B ve D kontrol harcında ultrases hızı cüruflulara göre artmış diğerlerinde ise azalmıştır. B harcının hızı diğerlerine göre en yüksek olmuş (6-9 aralığında), cüruf katkısı sonuçları fazla değiştirmemiştir.

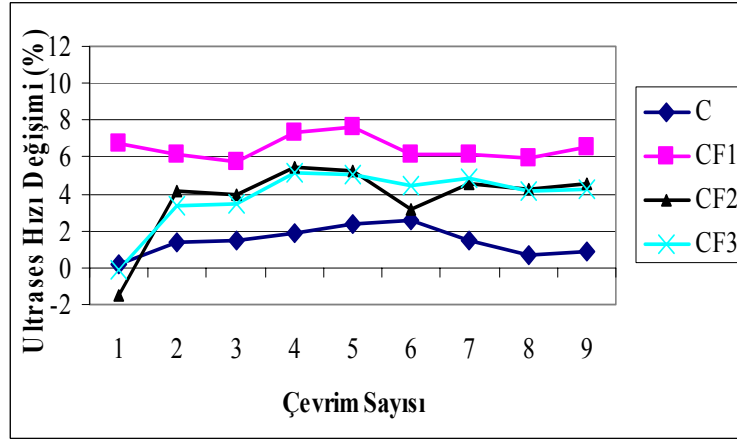


Şekil 4.101 Islanma-kuruma etkisindeki A grubu harçların ultrases hız değişimi

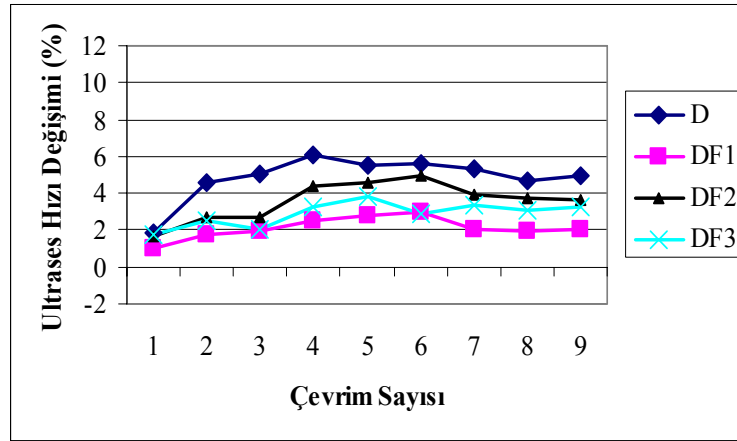




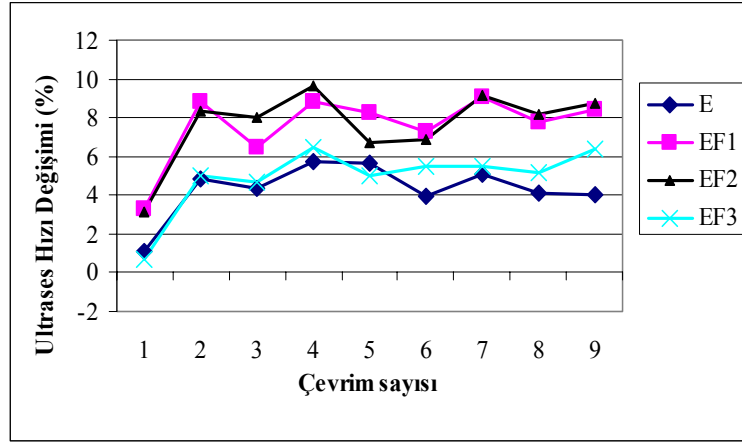
Şekil 4.102 Islanma-kuruma etkisindeki B grubu harçların ultrases hız değişimi



Şekil 4.103 Islanma-kuruma etkisindeki C grubu harçların ultrases hız değişimi

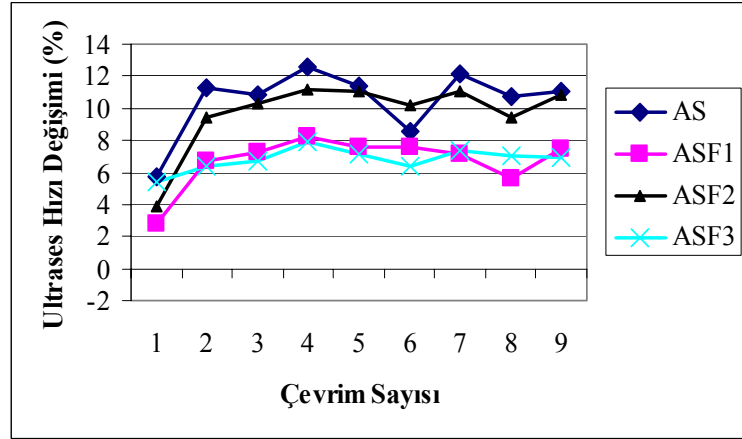


Şekil 4.104 Islanma-kuruma etkisindeki D grubu harçların ultrases hız değişimi

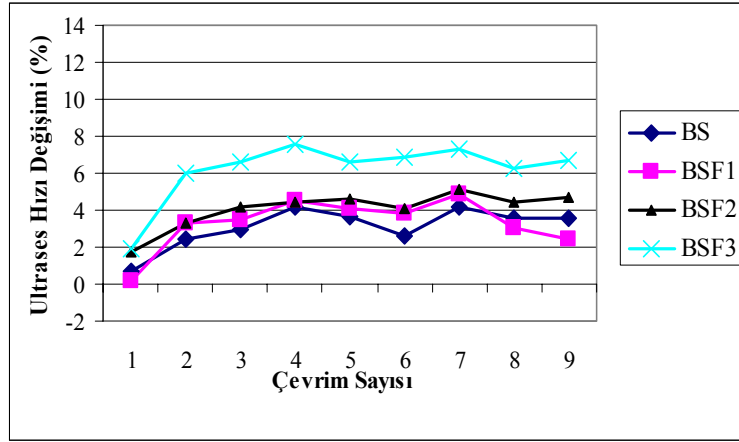


Şekil 4.105 Islanma-kuruma etkisindeki E grubu harçların ultrases hız değişimi

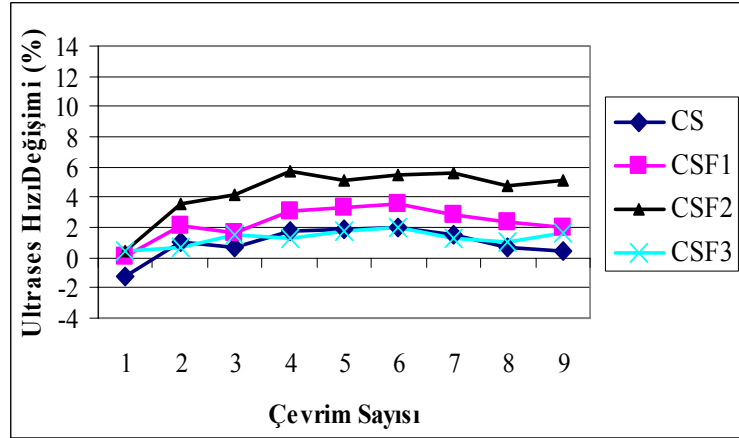
Şekil 4.106-Şekil 4.110’de kimyasal katkılı harçların ultrases hız grafikleri incelendiğinde, en yüksek hız artışı A kontrol harcında olmuş, diğerleri cüruf miktarı ile değişmemiş belli bir aralıkta kalmıştır.



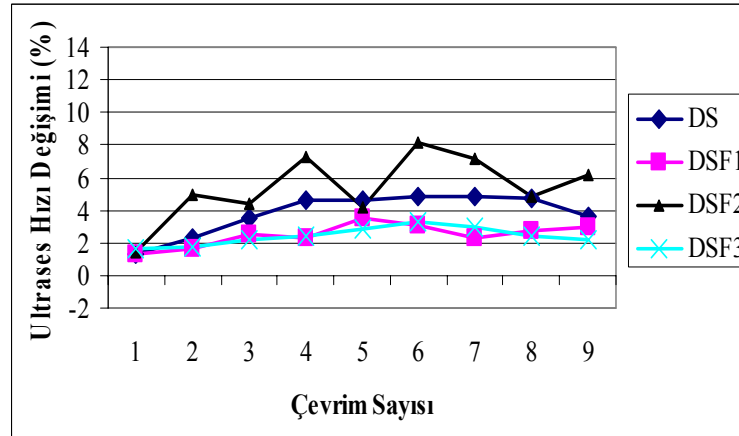
Şekil 4.106 Islanma-kuruma etkisindeki AS grubu harçların ultrases hız değişimi



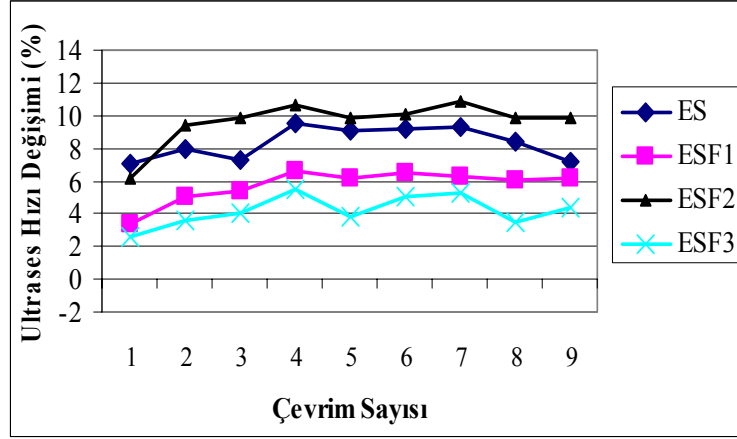
Şekil 4.107 Islanma-kuruma etkisindeki BS grubu harçların ultrases hız değişimi



Şekil 4.108 Islanma-kuruma etkisindeki CS grubu harçların ultrases hız değişimi



Şekil 4.109 Islanma-kuruma etkisindeki DS grubu harçların ultrases hız değişimi



Şekil 4.110 Islanma-kuruma etkisindeki ES grubu harçların ultrases hızı değişimi

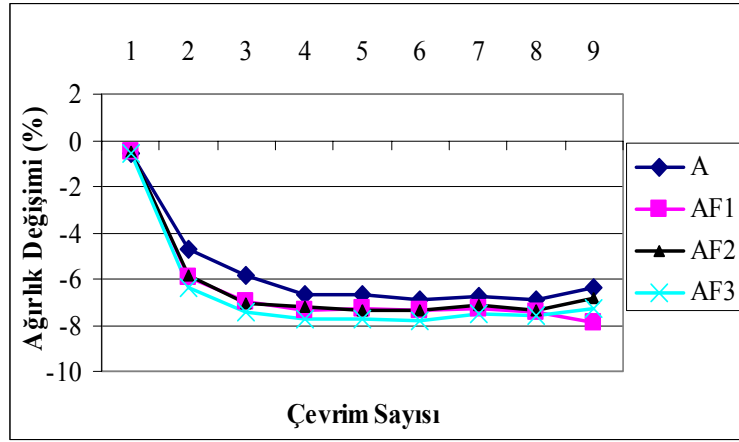
### 4.3.3 Donma-Çözülme Deneylerinin Değerlendirmesi

Kimyasal katkılı ve katkısız grup harç numuneleri bir hafta magnezyum sülfat çözeltisinde bir hafta etüvde bekletilmiş ve her hafta ağırlık ve boy değişimleri ile ultrases hızı ölçülmüştür. Bunların zaman içindeki değişimleri grafiklerle verilmiştir.

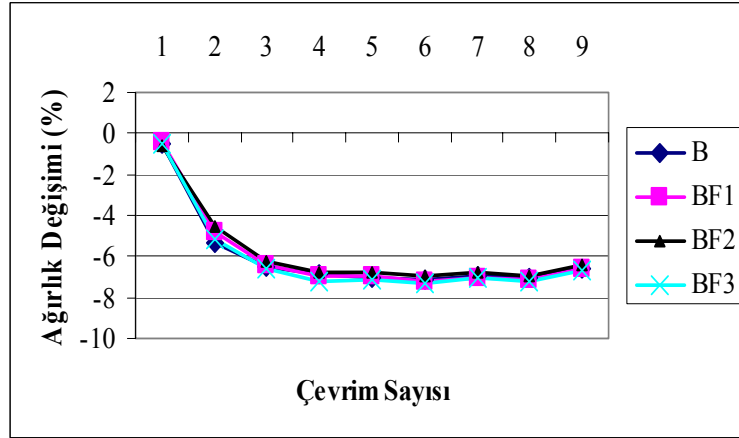
#### 4.3.3.1 Ağırlık Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi

Kimyasal katkılı ve katkısız harç numunelerinin zaman içindeki değişimleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

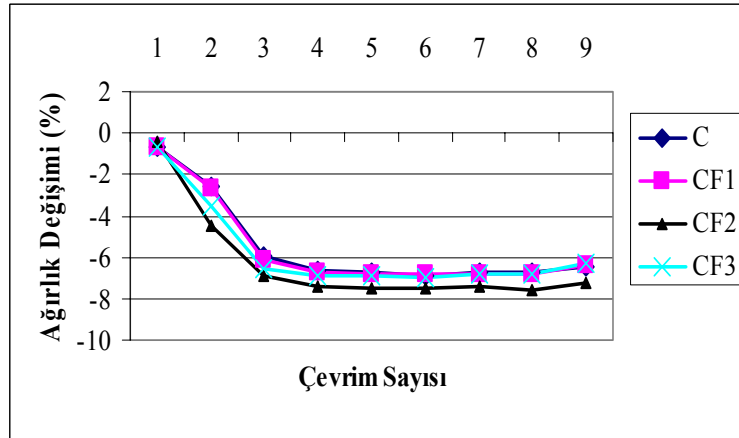
Şekil 4.111-Şekil 4.115'deki kimyasal katkısız harçların sülfattaki ağırlık değişimi grafikleri incelendiğinde, 2. ve 3. çevrimlerden sonra ağırlıklarda azalma olmuş, 4. çevrimden itibaren değişimde farklılık olmamıştır. Tüm harçlarda benzer davranış görülmüş, cüruf miktarının artması sonucu değiştirmemiştir.



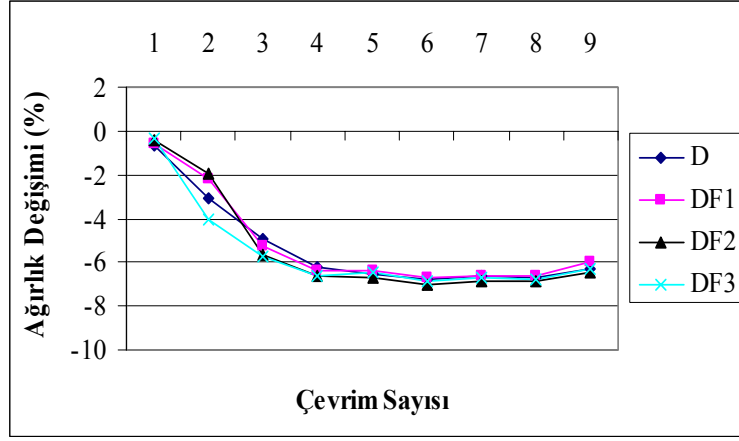
Şekil 4.111 Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi



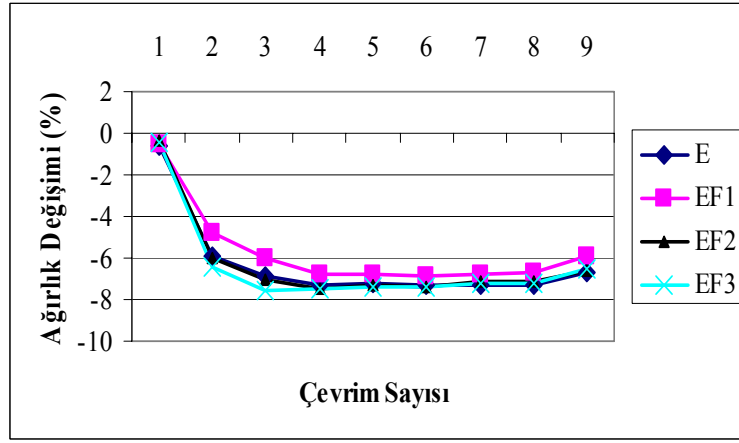
Şekil 4.112 Donma-çözülme etkisindeki B grubu harçların ağırlık değişimi



Şekil 4.113 Donma-çözülme etkisindeki C grubu harçların ağırlık değişimi

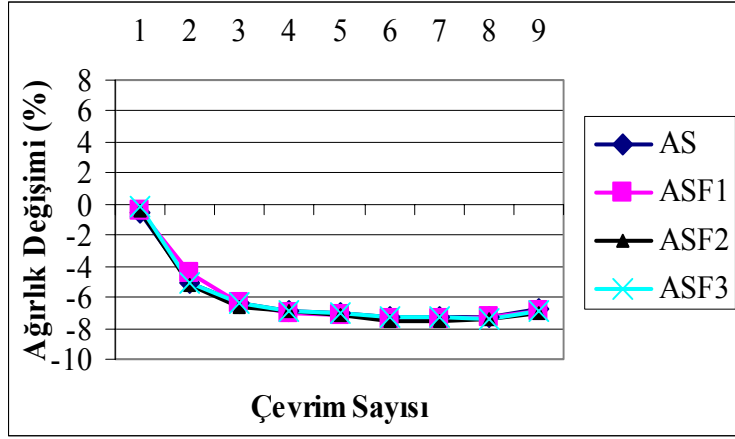


Şekil 4.114 Donma-çözülme etkisindeki D grubu harçların ağırlık değişimi

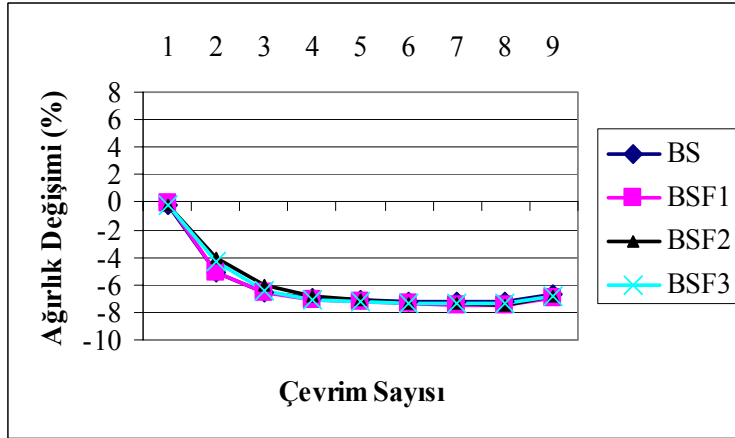


Şekil 4.115 Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ağırlık değişimi

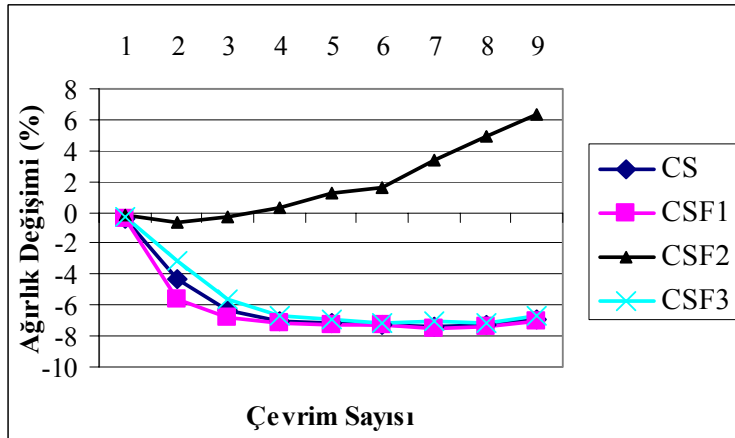
Şekil 4.116-Şekil 4.120'deki kimyasal katkı harçların grafikler incelendiğinde, kimyasal katkısız harçlara benzer şekilde ağırlık değişimi 4. çevrime kadar azalmış, cüruf artışı ağırlık değişimini etkilememiştir.



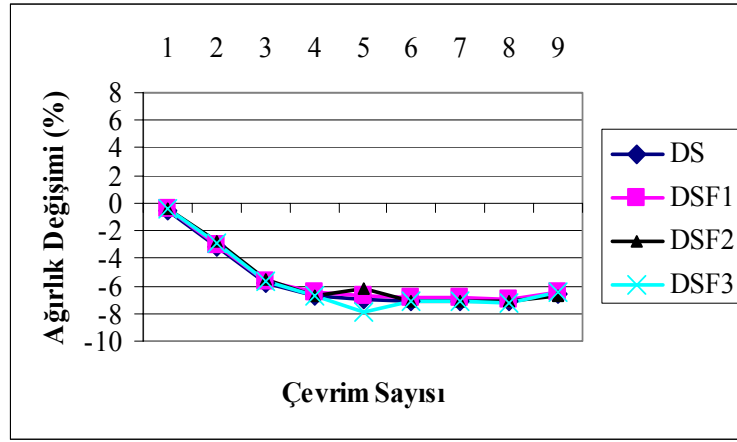
Şekil 4.116 Donma-çözülme etkisindeki AS grubu harçların ağırlık değişimi



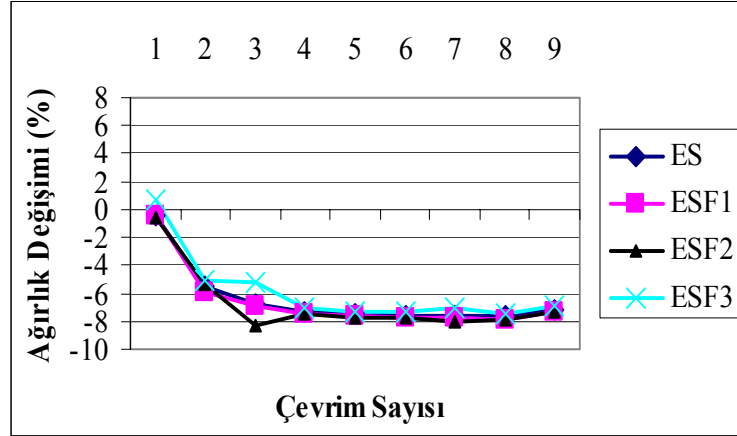
Şekil 4.117 Donma-çözülme etkisindeki BS grubu harçların ağırlık değişimi



Şekil 4.118 Donma-çözülme etkisindeki CS grubu harçların ağırlık değişimi



Şekil 4.119 Donma-çözülme etkisindeki DS grubu harçların ağırlık değişimi



Şekil 4.120 Donma-çözülme etkisindeki ES grubu harçların ağırlık değişimi

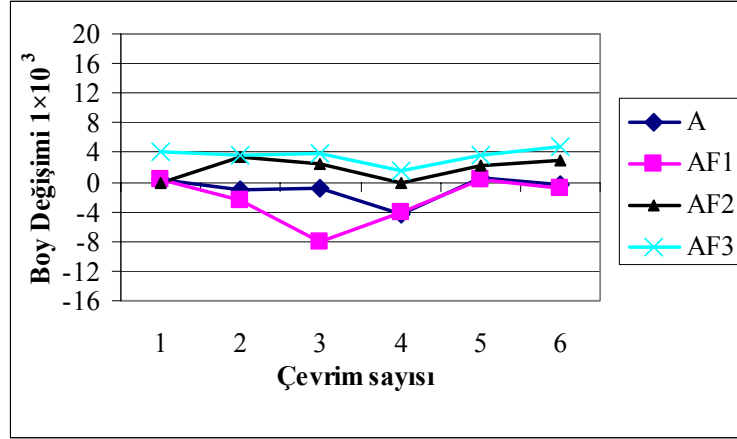
#### 4.3.3.2 Boy Değişimi Deneylerinin Değerlendirmesi

Kimyasal katkılı ve katkısız harç numuneleri bir hafta sülfatta bir hafta etüvde bekletilmiş ve her hafta boy değişimleri ölçülmüştür. Bunların zaman içindeki değişimleri grafiklerle verilmiştir.

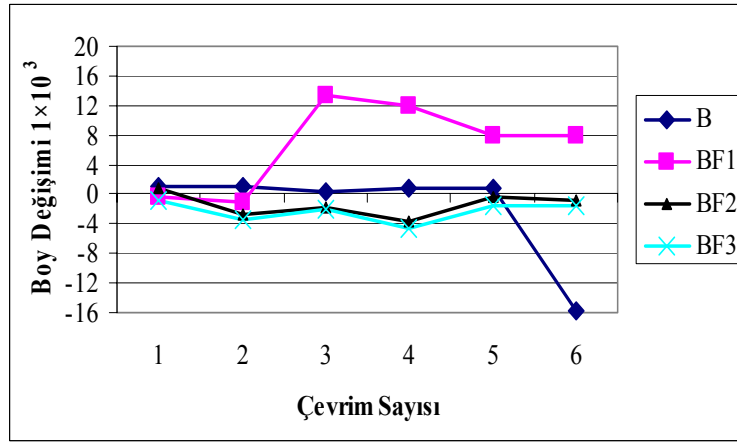
Şekil 4.121-4.125’de donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkısız numunelerin boy değişimi incelendiğinde , cürufun artışının boy değişimine fazla etkisi olmamış ancak farklı çimentolarda farklı davranış göstermiştir. C harç



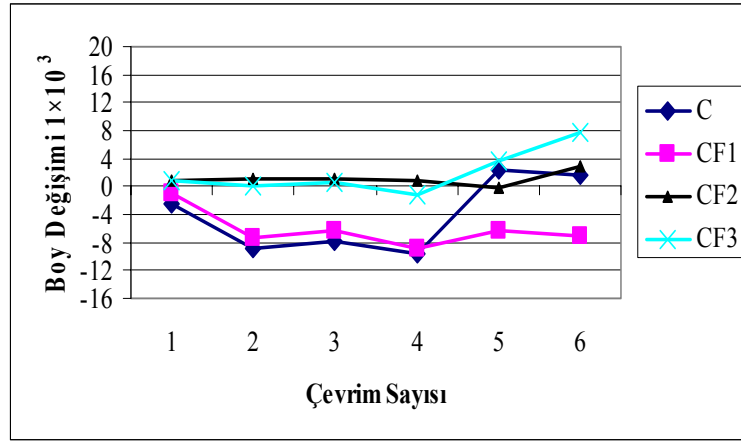
grubunda kontrol ve CF1 harcında boyda kısalma olmuştur. D kontrol ve DF1 harcında boyda artış diğerlerinde azalma olmuştur.



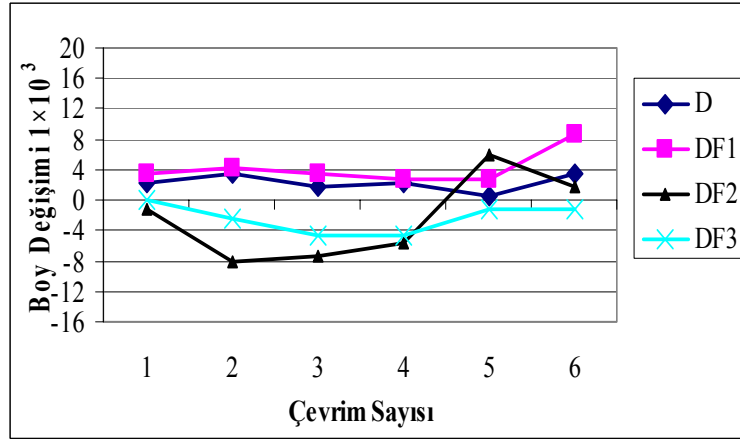
Şekil 4.121 Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların boy değişimi



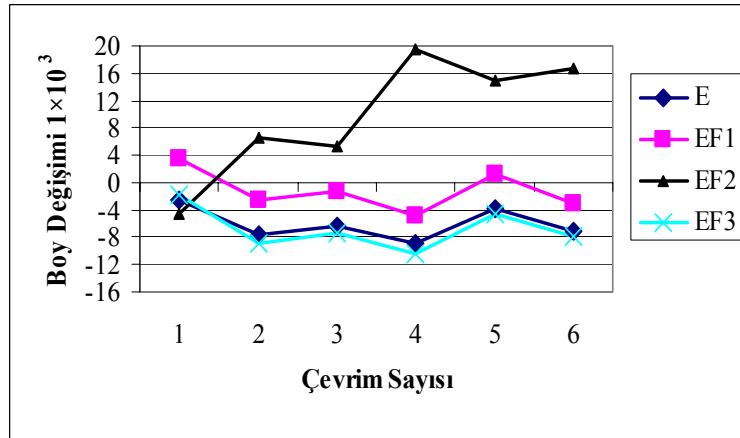
Şekil 4.122 Donma-çözülme etkisindeki B grubu harçların boy değişimi



Şekil 4.123 Donma-çözülme etkisindeki C grubu harçların boy değişimi

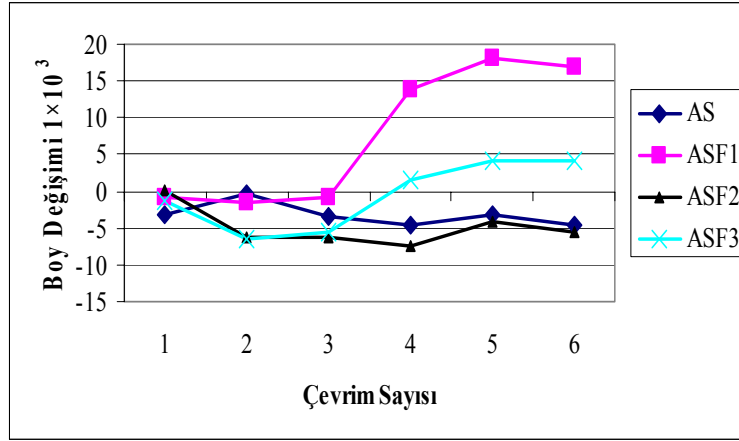


Şekil 4.124 Donma-çözülme etkisindeki D grubu harçların boy değişimi

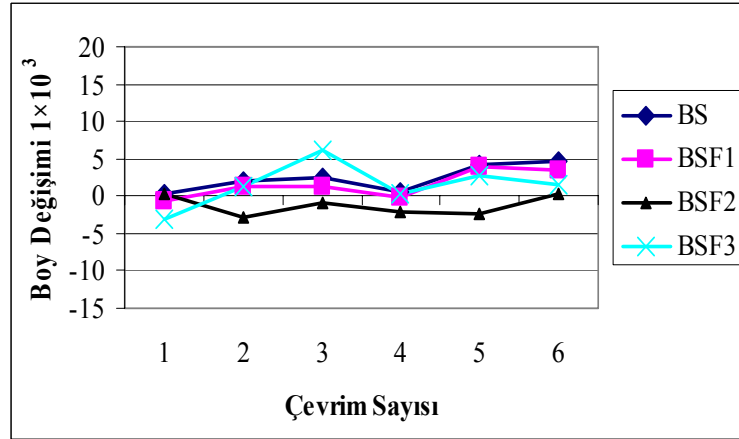


Şekil 4.125 Donma-çözülme etkisindeki E grubu harçların boy değişimi

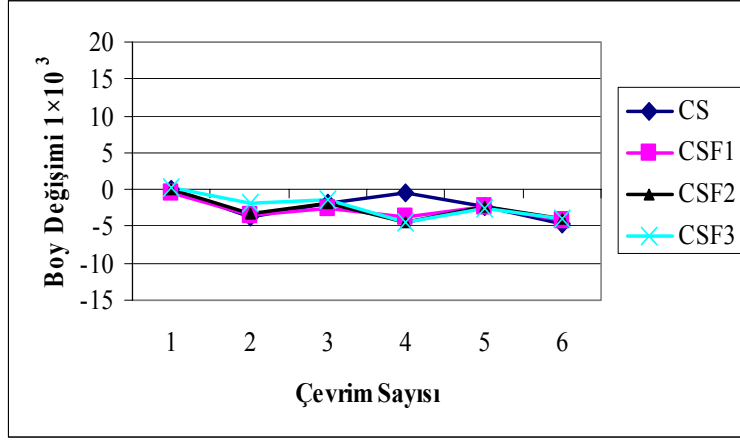
Şekil 4.126-Şekil 4.130'da magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen kimyasal katkıli harçların boy değişimi incelendiğinde, sapan değerler dışında boylarda değişiklik olmamıştır.



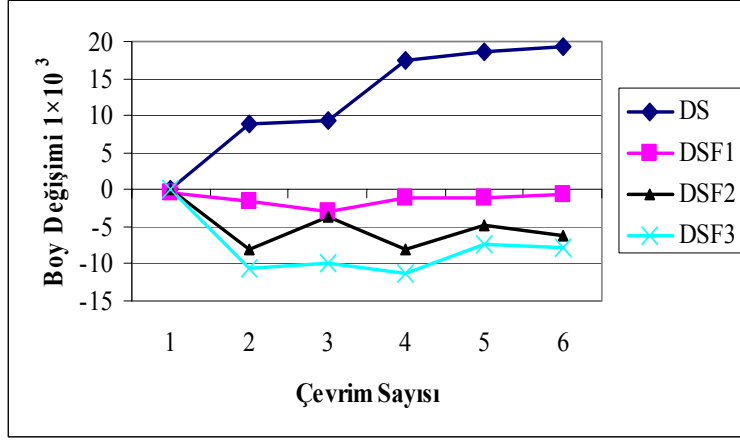
Şekil 4.126 Donma-çözülme etkisindeki AS grubu harçların boy değişimi



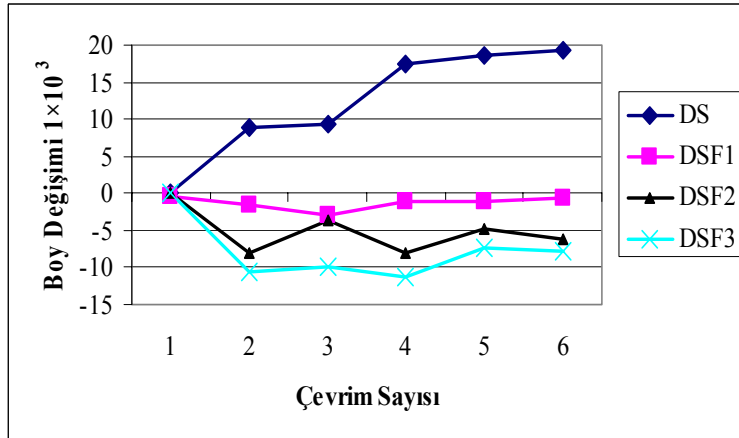
Şekil 4.127 Donma-çözülme etkisindeki BS grubu harçların boy değişimi



Şekil 4.128 Donma-çözülme etkisindeki CS grubu harçların boy değişimi



Şekil 4.129 Donma-çözülme etkisindeki DS grubu harçların boy değişimi

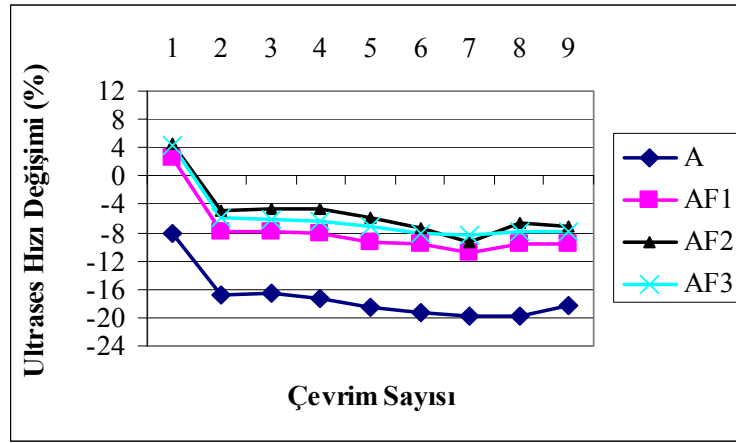


Şekil 4.130 Donma-çözülme etkisindeki ES grubu harçların boy değişimi

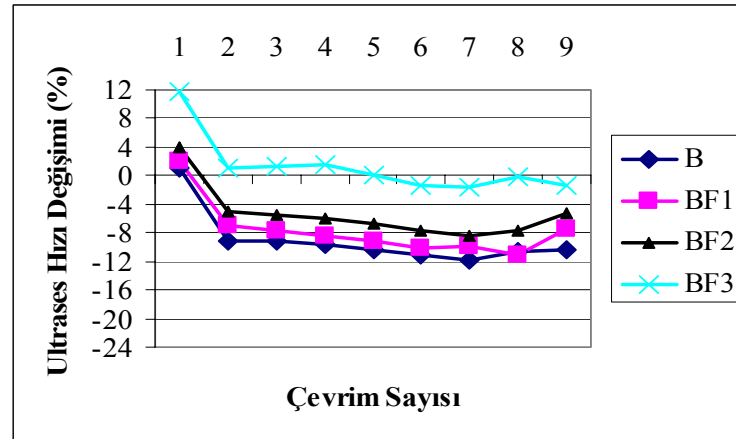
#### 4.3.3.2 Ultrases Hız Deneyinin Değerlendirmesi

Kimyasal katkı ve katkısız harç numuneleri bir hafta sülfatta bir hafta etüvde bekletilmiş ve her hafta ultrases hızları ölçülmüştür. Bunların zaman içindeki değişimleri grafiklerle verilmiştir.

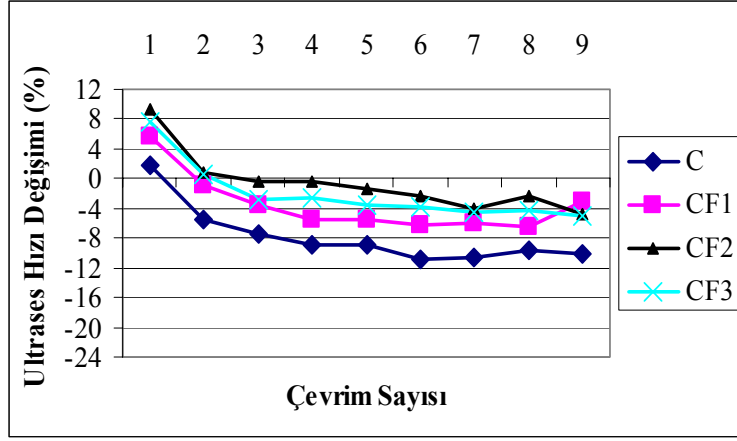
Şekil 4.131-Şekil 4.135'deki grafikler incelendiğinde, A grubunda kontrol harcının hızında azalma olmuş, diğer harç grupları ve kendi grubunda da hızda azalma olmuştur. B grubunda BF3'de en çok hız artışı görülmüştür. C, D ve E'de hız artışı cüruf katkısı ile değişmemiştir.



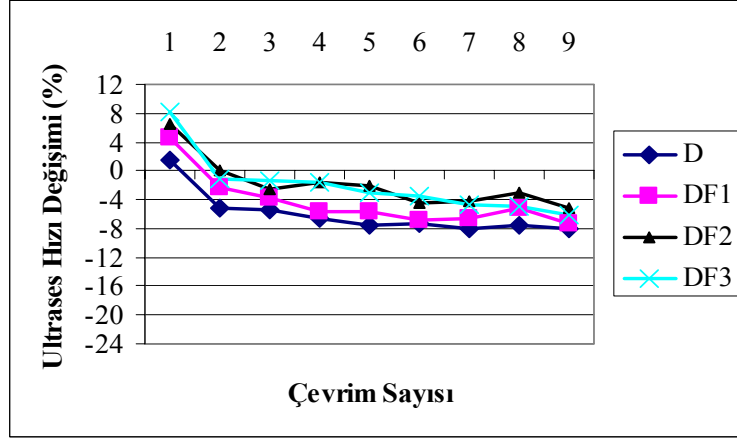
Şekil 4.131 Donma-çözülme etkisindeki A grubu harçların ultrases hız değişimi



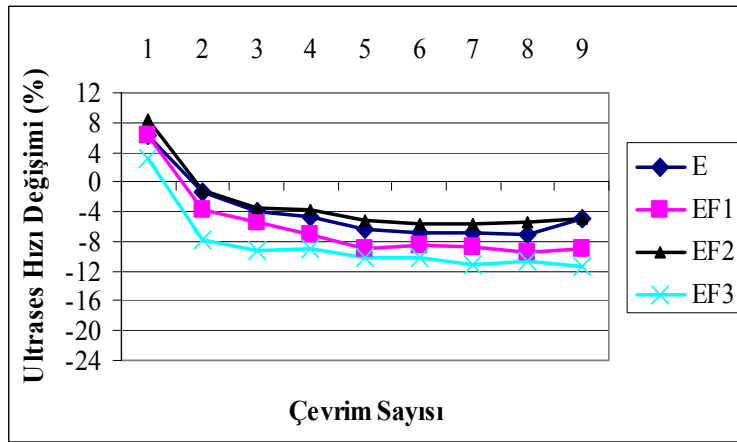
Şekil 4.132 Donma-çözülme etkisindeki B grubu harçların ultrases hız değişimi



Şekil 4.133 Donma-çözülme etkisindeki C grubu harçların ultrases hız değişimi

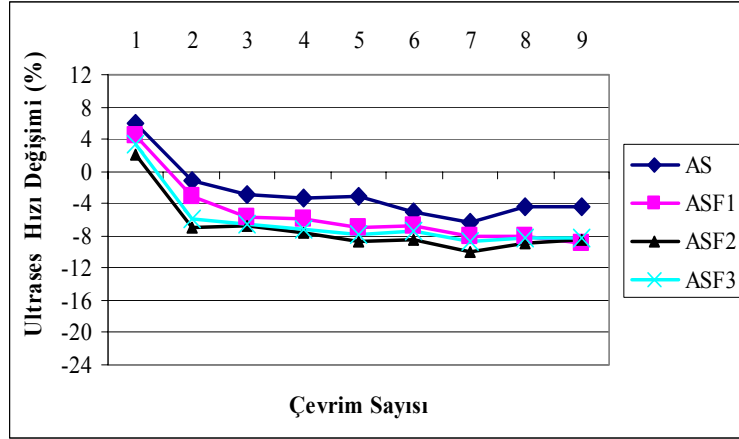


Şekil 4.134 Donma-çözülme etkisindeki D grubu harçların ultrases hız değişimi

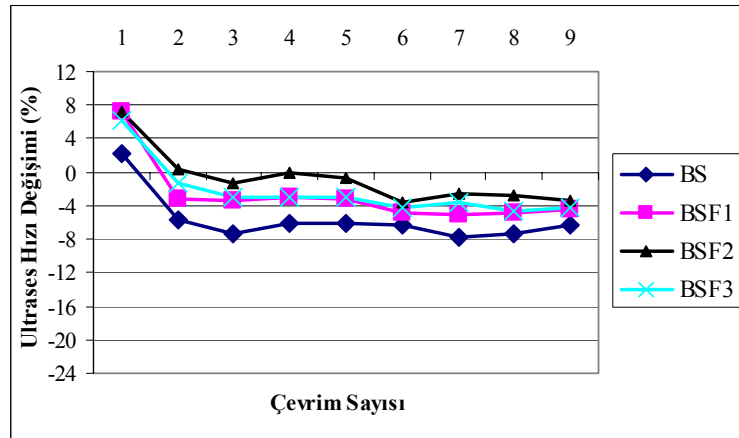


Şekil 4.135 Donma-çözülme etkisindeki E grubu harçların ultrases hız değişimi

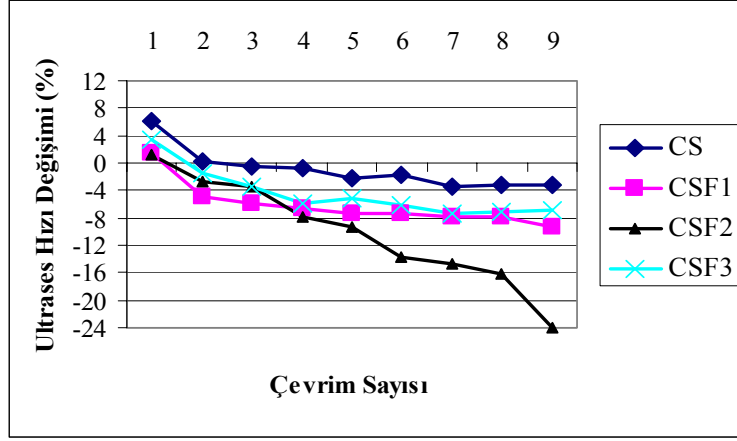
Şekil 4.136-Şekil 4.140'deki grafiklerde, kimyasal katkıli sülfat çözeltisinde bekleyen harç numunelerin ultrases hızları incelendiğinde, A, B, D ve E harç gruplarında cüruf katkı oranları ultrases hızlarında değişiklik yapmamıştır. CSF2'de 4. haftadan sonra hızda belirgin bir azalma görülmüştür.



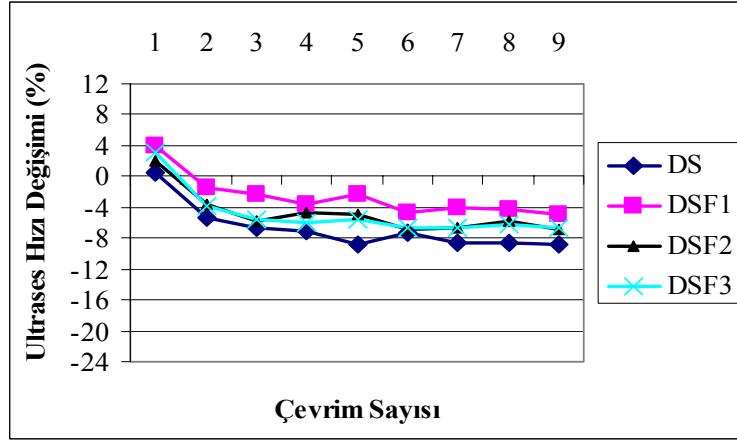
Şekil 4.136 Donma-çözülme etkisindeki AS grubu harçların ultrases hız değişimi



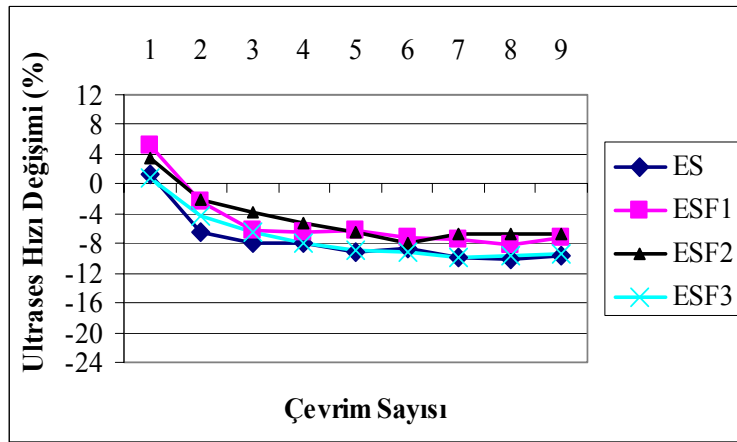
Şekil 4.137 Donma-çözülme etkisindeki BS grubu harçların ultrases hız değişimi



Şekil 4.138 Donma-çözülme etkisindeki CS grubu harçların ultrases hız değişimi



Şekil 4.139 Donma-çözülme etkisindeki DS grubu harçların ultrases hız değişimi



Şekil 4.140 Donma-çözülme etkisindeki ES grubu harçların ultrases hız değişimi



## 5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Bu bölümde, harcın dayanıklılığına farklı çimentoların etkisinin araştırıldığı deneysel çalışmadan alınan ve dördüncü bölümde değerlendirilen deney sonuçları irdelenmiştir. Deney sonuçlarının irdelenmesinde Akbulut Ekşi tarafından “Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Önerinin Geliştirilebilmesi” adlı doktora tezinde oluşturulan değer analizi çalışmasından ve Mete Tapan’ın “Mimarlıkta Değerlendirme” kitabından yararlanılmıştır. Eskitme süreçlerinin farklı harçların dayanıklılığına etkilerinin karşılaştırıldığı değer analizi çalışmasında; her bir harcın kontrol deneylerinden belirlenen, eğilme, basınç, ağırlık değişimi, boy değişimi ve ultrases hızı gibi özelliklerine laboratuvar ve eskitme süreçlerinin etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalar aşağıda sırası ile açıklanmıştır [65,67].

Eskitme süreçleri sonunda yapılan kontrol deneylerinden elde edilen sonuçlar 28. gündeki başlangıç değerine oranlanmış, değişim oranı (%) belirlenmiştir. Özelliklerdeki olumlu değişimler artış (+) olumsuz değişimler eksi (-), değişim olmamış ise sıfır (0) ile ifade edilmiştir. Su emme deney sonuçlarında düşüş olması bu fiziksel özellikler için olumlu, artış olması olumsuz gelişmenin ifadesi olduğundan (-) çıkan sonuçlar (+) olarak, (+) çıkan sonuçlar (-) olarak ifade edilmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikleri için belirlenen bu değerler kimyasal katkısız harçlar için Çizelge 5.1-5.6’de, kimyasal katkılı harçlar için Çizelge 5.7-5.12’de verilmiştir.

Çizelgelerde verilen bu değerlerin tam sayı ile ifade edilmesi ve harçların birbiri ile karşılaştırılması için yapılan analizde her bir özellikte maksimum ile minimum arasındaki mutlak değer eşit adımlara bölünmüş, değişim değerleri (%) bu sayıya bölünerek boyutsuz tam sayılar elde edilmiştir. Bu işlemde belirlenen bağıl değer aralığı her özellik için 10 olarak kabul edilmiş ve tam sayı ile ifade edilmiştir. Örneğin Çizelge 5.1’de verilen eğilme dayanımında; en büyük değer % 141.94, en küçük değer % 25.85 olduğuna göre aradaki fark 116.09 on adıma bölünerek 11.6 değeri elde edilmiştir. Eskitme süreçlerinden 20 grup harç için belirlenen değişimler (%), bu sabit sayıya (11.6) bölünerek boyutsuz tam sayılar elde edilmiştir. Çizelge

5.1 incelendiğinde; laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 108, ıslanma-kuruma etkisinde kalanların toplam değeri 125, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise 144 tam sayıdır. Bu sonuca göre hiçbir grupta eskitme süreçlerinin olumsuz etkisi görülmemiştir. Islanma-kuruma ve donma-çözülme, laboratuvar ortamına göre bu çevrim sayıları ve bu koşullar için harçlarda hasara neden olmamıştır.

### **5.1 Kimyasal Katkısız Üretilen Harçların İrdelenmesi**

Kimyasal katkısız üretilen, laboratuvar koşullarında ve eskitme süreçleri sonunda harçlarda yapılan kontrol deneyleri sonuçlarına göre değer analizleri yapılmış, yukarıda açıklanan esaslara göre Çizelge 5.1-5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.2’de harçların eskitme süreçleri sonunda basınç dayanımı değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 73, ıslanma-kuruma etkisinde kalanların toplam değeri 86, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise 64 tam sayıdır. Bu sonuca göre hiçbir grupta eskitme süreçlerinin olumsuz etkisi görülmemiştir. Islanma-kuruma ve donma-çözülme, laboratuvar ortamına göre bu çevrim sayıları ve bu koşullar için harçlarda hasara neden olmamıştır. Cüruf ilavesi, eğilme ve basınç dayanımına çok belirgin bir etki etmemiştir.

Çizelge 5.3’de 7. güne birim ağırlık değer analizi incelendiğinde B grubu şahit harç hariç bütün harçların birim ağırlığında azalma olmuştur. Toplam birim ağırlık -131’dir. Hacimce su emme incelendiğinde toplam sonuç 517 olmuştur. Bütün harçlarda su emme yüzdelerinde azalma olmuş, harçlar olumlu davranış göstermiştir. Özgül ağırlık değer analizi incelendiğinde A grubunda şahit harç, % 5 ve % 9 cürufllu AF1 ve AF2 harcında özgül ağırlıkta artış olmuş, % 5 cürufllu CF1, BF1 ile % 14 cürufllu DF3 harcında bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 5.1 Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre eğilme dayanımı değer analizi

Eğilme Dayanımı												
Numune Kodu	28 Gün	Eskitme Süreçleri (MPa)			28. Güne Göre Değişim %			28. Güne Göre Değer Analizi				
		Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te		
Kimyasal Katkısız	A	7.13	11.44	12.88	13.13	60.44	80.65	84.15	5	7	7	19
	AF1	7.88	12.00	12.44	13.75	52.28	57.86	74.49	5	5	6	16
	AF2	7.09	13.19	12.31	13.56	86.04	73.62	91.26	7	4	8	19
	AF3	7.95	12.56	10.31	14.94	57.99	29.69	87.92	5	3	8	16
	B	8.04	12.56	13.56	14.50	56.22	68.66	80.35	5	6	7	18
	BF1	7.73	10.88	12.94	13.31	40.75	67.40	72.19	4	6	6	16
	BF2	8.49	11.94	13.19	11.44	40.64	65.36	34.77	4	6	3	13
	BF3	5.27	11.38	12.75	12.69	115.94	141.94	140.79	10	12	12	34
	C	7.88	11.69	13.19	12.75	48.35	67.39	61.80	4	6	5	15
	CF1	7.35	9.25	11.63	11.19	25.85	58.23	52.24	2	5	5	12
	CF2	7.58	11.81	13.00	14.63	55.80	71.50	93.00	5	6	8	19
	CF3	7.26	11.31	11.50	13.00	55.79	58.40	79.06	5	5	7	17
	D	7.05	14.13	12.56	14.31	100.42	78.16	102.98	9	7	9	25
	DF1	7.01	11.91	12.44	12.56	69.90	77.46	79.17	6	7	7	20
	DF2	6.88	11.63	12.44	16.22	69.04	80.81	135.76	6	7	12	25
	DF3	6.73	10.44	11.69	13.31	55.12	73.69	97.77	5	6	8	19
	E	8.21	13.00	12.88	14.06	58.34	56.89	71.25	5	5	6	16
	EF1	7.46	11.25	14.63	12.81	50.80	96.11	71.72	4	8	6	18
EF2	7.43	11.31	11.88	13.06	52.22	59.89	75.77	4	5	7	16	
EF3	6.68	12.75	13.56	12.38	90.87	102.99	85.33	8	9	7	24	
Değer Analizi Sonuçları								108	125	144	377	

Çizelge 5.2 Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre basınç dayanımı değer analizi

Basınç Dayanımı												
Numune Kodu	28 Gün	Eskitme Süreçleri (MPa)			28. Güne Göre Değişim %			28. Güne Göre Değer Analizi				
		Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te		
Kimyasal Katkısız	A	23.60	32.99	37.96	33.48	39.79	60.84	41.86	2	3	2	7
	AF1	22.25	37.91	36.46	36.98	70.38	63.87	66.20	4	3	4	11
	AF2	19.32	40.03	42.40	34.00	107.19	119.46	75.98	6	6	4	16
	AF3	23.77	33.28	40.61	37.68	40.01	70.85	58.52	2	4	3	9
	B	20.61	38.84	36.50	33.05	88.45	77.10	60.36	5	4	3	12
	BF1	17.86	37.06	38.05	32.50	107.51	113.05	81.97	6	6	4	16
	BF2	25.29	40.02	38.48	30.61	58.24	52.16	21.04	3	3	1	7
	BF3	14.18	26.60	42.42	33.79	87.59	199.15	138.29	5	10	7	22
	C	21.28	30.27	35.70	31.01	42.25	67.76	45.72	2	4	2	8
	CF1	18.83	28.73	33.09	29.32	52.58	75.73	55.71	3	4	3	10
	CF2	20.53	27.84	35.58	39.65	35.61	73.31	93.13	2	4	5	11
	CF3	19.89	25.67	36.96	30.31	29.06	85.82	52.39	2	5	3	10
	D	19.56	32.69	31.46	32.47	67.13	60.84	66.00	4	3	4	11
	DF1	19.24	29.30	33.48	30.01	52.29	74.01	55.98	3	4	3	10
	DF2	18.54	29.91	34.26	34.25	61.33	84.79	84.74	3	4	4	11
	DF3	18.09	33.70	35.23	34.33	86.29	94.75	89.77	5	5	5	15
	E	25.10	38.26	36.65	35.23	52.43	46.02	40.36	3	2	2	7
	EF1	20.14	35.41	38.42	21.80	75.82	90.76	8.24	4	5	0	9
	EF2	22.94	40.20	37.21	33.55	75.24	62.21	46.25	4	3	2	9
	EF3	20.19	40.05	36.47	31.68	98.37	80.64	56.91	5	4	3	12
Değer Analizi Sonuçları								73	86	64	223	

Çizelge 5.3 Kimyasal katkısız harçların 7. güne göre birim ağırlık, hacimce su emme ve özgül ağırlık değer analizi

Numune Kodu	Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )				Hacimce Su Emme				Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )				
	7 Gün	56 Gün	7. Güne Göre Değişim %	Değer Analizi	7 Gün	56 Gün	7. Güne Göre Değişim %	Değer Analizi	7 Gün	56 Gün	7. Güne Göre Değişim %	Değer Analizi	
Kimyasal Katkısız	A	2.37	2.19	-7.59	-8	20.35	8.13	-60.05	27	2.52	2.56	1.59	4
	AF1	2.35	2.20	-6.38	-7	21.78	7.71	-64.60	29	2.50	2.55	2.00	5
	AF2	2.35	2.18	-7.23	-8	20.96	7.54	-64.03	29	2.50	2.52	0.80	2
	AF3	2.34	2.19	-6.41	-7	20.52	8.44	-58.87	27	2.53	2.52	-0.40	-1
	B	2.11	2.15	1.89	2	17.66	7.85	-55.55	25	2.59	2.54	-1.93	-5
	BF1	2.37	2.21	-6.75	-8	21.08	7.97	-62.19	28	2.56	2.56	0.00	0
	BF2	2.39	2.21	-7.53	-8	22.16	8.80	-60.29	27	2.56	2.55	-0.39	-1
	BF3	2.38	2.21	-7.14	-8	21.43	9.44	-55.95	25	2.58	2.54	-1.55	-4
	C	2.36	2.27	-3.81	-4	20.91	12.04	-42.42	19	2.59	2.56	-1.16	-3
	CF1	2.38	2.24	-5.88	-7	21.57	10.22	-52.62	24	2.56	2.56	0.00	0
	CF2	2.36	2.24	-5.08	-6	21.74	10.36	-52.35	24	2.56	2.54	-0.78	-2
	CF3	2.36	2.26	-4.23	-5	20.42	10.49	-48.63	22	2.56	2.53	-1.17	-3
	D	2.36	2.19	-7.20	-8	21.15	8.73	-58.72	27	2.58	2.57	-0.39	-1
	DF1	2.37	2.22	-6.32	-7	22.81	8.76	-61.59	28	2.55	2.54	-0.39	-1
	DF2	2.40	2.22	-7.50	-8	22.42	8.27	-63.11	29	2.55	2.54	-0.39	-1
	DF3	2.35	2.18	-7.23	-8	21.64	6.17	-71.49	32	2.54	2.54	0.00	0
	E	2.38	2.27	-4.62	-5	21.86	12.60	-42.36	19	2.56	2.53	-1.17	-3
	EF1	2.41	2.25	-6.63	-7	22.99	10.81	-52.98	24	2.53	2.54	0.40	-1
EF2	2.39	2.24	-6.27	-7	22.77	10.88	-52.22	24	2.55	2.50	-1.96	-5	
EF3	2.38	2.22	-6.72	-7	22.41	8.82	-60.64	28	2.51	2.48	-1.20	-3	
Değer Analizi Sonuçları				-131					517				

Çizelge 5.4'de ağırlık değişimi değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri -1, ıslanma-kuruma etkisinde kalanların toplam değeri -20, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise -122 tam sayıdır. Bu sonuca göre bütün harçlar hasar görmüş, en çok donma-çözülme etkisinde hasar oluşmuştur.

Çizelge 5.5'de boy değişimi değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 19, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise 16 olmuştur. Laboratuvar ortamında; A ve B grubunda % 9 cürüflü harçlar, B grubunda % 5, % 9cürüflü BF1ve BF2 harçları, C grubunda şahit ve % 14 cürüflü C ile CF3 harçları,D grubunda % 5 cürüflü DF1, E grubunda ise şahit ve % 14 cürüflü E ile EF3 harçları hariç diğerleri hasar örmüştür. Donma-çözülme etkisinde ise B şahit harcı, % 5 cürüflü CF1 harcı ve E grubunda şahit harç ile % 14 cürüflü EF3 harcı hasar görmüştür.

Çizelge 5.6'da ultrases hız değişimi değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 63, ıslanma-kuruma etkisinde kalanların toplam değeri 23, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise -26 olmuştur. Donma-çözülme etkisindeki bütün harçlar hasar görmüştür.

Çizelge 5.4 Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre ağırlık değişimi değer analizi

Ağırlık Değişimi														
Numune Kodu	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Eskitme Süreçleri			28. Güne Göre Değişim %			28. Güne Göre Değer Analizi				
	28 Gün	28 Gün	28 Gün	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te		
Kimyasal Katkısız	A	549.97	551.17	540.83	543.83	546.00	506.17	-1.12	-0.94	-6.41	-1	-1	-6	-8
	AF1	553.43	544.33	557.50	543.33	539.00	513.67	-1.82	-0.98	-7.86	-2	-1	-7	-10
	AF2	537.67	555.00	541.83	538.67	549.33	505.00	0.19	-1.02	-6.80	0	-1	-6	-7
	AF3	552.27	552.83	545.17	538.50	547.67	505.33	-2.49	-0.93	-7.31	-2	-1	-7	-10
	B	545.93	555.00	555.17	557.17	549.83	518.50	2.06	-0.93	-6.60	2	-1	-6	-5
	BF1	544.20	556.67	560.00	536.67	552.17	522.83	-1.38	-0.81	-6.64	-1	-1	-6	-8
	BF2	553.93	552.67	553.00	554.00	548.00	517.67	0.01	-0.84	-6.39	0	-1	-6	-7
	BF3	550.33	558.50	558.50	551.17	553.83	521.00	0.15	-0.84	-6.71	0	-1	-6	-7
	C	556.63	549.17	560.50	531.83	544.17	524.33	-4.46	-0.91	-6.45	-4	-1	-6	-11
	CF1	560.67	553.00	565.83	537.17	549.00	529.83	-4.19	-0.72	-6.36	-4	-1	-6	-11
	CF2	552.20	556.50	573.50	552.50	552.33	532.17	0.05	-0.75	-7.21	0	-1	-7	-8
	CF3	546.93	551.83	560.17	547.00	546.33	524.83	0.01	-1.00	-6.31	0	-1	-6	-7
	D	533.27	544.50	558.00	549.17	538.17	522.67	2.98	-1.16	-6.33	3	-1	-6	-4
	DF1	537.77	540.33	554.83	551.33	535.17	521.67	2.52	-0.96	-5.98	2	-1	-6	-5
	DF2	538.73	556.67	577.67	551.33	553.17	540.25	2.34	-0.63	-6.48	2	-1	-6	-5
	DF3	545.90	557.83	561.83	546.33	554.00	526.50	0.08	-0.69	-6.29	0	-1	-6	-7
	E	540.03	560.33	547.33	545.83	560.00	510.67	1.07	-0.06	-6.70	1	0	-6	-6
	EF1	558.20	565.83	550.00	557.00	554.50	517.50	-0.21	-2.00	-5.91	0	-2	-5	-7
	EF2	554.07	561.67	553.00	561.50	555.50	516.33	1.34	-1.10	-6.63	1	-1	-6	-6
	EF3	545.10	556.83	545.33	556.00	550.33	509.83	2.00	-1.17	-6.51	2	-1	-6	-5
Değer Analizi Sonuçları										-1	-20	-122	-144	

Çizelge 5.5 Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre boy değişimi değer analizi

Boy Değişimi										
Numune Kodu	Wc 28 Gün	Fn-Te 28 Gün	Eskitme Süreçleri		28. güne Göre Değişim %		28. Güne Göre Değer Analizi			
			Wc	Fn-Te	Wc	Fn-Te	Wc	Fn-Te		
Kimyasal Katkısız	A	3.12	1.18	2.31	1.11	-25.96	-5.93	-1	0	-1
	AF1	4.36	2.03	2.01	1.89	-53.90	-6.90	-1	0	-1
	AF2	3.24	2.54	4.44	3.02	37.04	18.90	1	0	1
	AF3	2.86	0.62	1.35	1.38	-52.80	122.58	-1	2	1
	B	3.15	4.69	3.68	2.16	16.83	-53.94	0	-1	-1
	BF1	2.33	0.92	1.22	2.20	-47.64	139.13	-1	3	2
	BF2	0.46	1.95	2.05	1.82	345.65	-6.67	7	0	7
	BF3	1.25	2.37	2.16	2.12	72.80	-10.55	1	0	1
	C	2.55	1.83	3.92	2.10	53.73	14.75	1	0	1
	CF1	2.20	3.44	2.43	2.29	10.45	-33.43	0	-1	-1
	CF2	3.24	0.30	3.85	0.77	18.83	156.67	0	3	3
	CF3	0.32	1.94	1.80	3.16	462.50	62.89	9	1	10
	D	3.74	1.59	4.08	2.14	9.09	34.59	0	1	1
	DF1	0.76	0.39	1.67	1.77	119.74	353.85	2	7	9
	DF2	2.59	1.95	1.12	2.24	-56.76	14.87	-1	0	-1
	DF3	3.41	1.55	2.99	1.36	-12.32	-12.26	0	0	0
	E	1.23	2.68	2.24	1.55	82.11	-42.16	2	-1	1
	EF1	2.54	2.64	3.13	2.15	23.23	-18.50	0	0	0
EF2	3.44	1.49	3.73	4.15	8.43	178.52	0	3	3	
EF3	2.14	2.76	3.20	1.51	49.53	-45.29	1	-1	0	
<b>Değer Analizi Sonuçları</b>							<b>19</b>	<b>16</b>	<b>35</b>	



Çizelge 5.6 Kimyasal katkısız harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre ultrases hız değişimi değer analizi

Ultrases Hız Değişimi														
Numune Kodu	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Eskitme Süreçleri			28. Güne Göre Değişim %			28. Güne Göre Değer Analizi				
	28 Gün	28 Gün	28 Gün	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te		
Kimyasal Katkısız	A	2.97	3.94	4.31	4.11	4.03	3.51	38.38	2.28	-18.56	7	0	-3	4
	AF1	2.92	3.81	3.91	4.07	4.02	3.54	39.38	5.51	-9.51	7	1	-2	6
	AF2	3.20	3.96	3.73	4.13	4.13	3.46	29.06	4.29	-7.24	5	1	-1	5
	AF3	2.97	3.81	3.86	4.18	4.08	3.56	40.74	7.09	-7.77	7	1	-1	7
	B	2.95	3.61	3.93	4.08	4.04	3.51	38.31	11.91	-10.69	6	2	-2	6
	BF1	3.37	3.74	3.82	4.08	4.10	3.54	21.07	9.63	-7.33	4	2	-1	5
	BF2	3.52	3.70	3.69	4.09	4.04	3.49	16.19	9.19	-5.42	3	2	-1	4
	BF3	3.51	3.70	3.49	4.05	4.07	3.43	15.38	10.00	-1.60	3	2	0	5
	C	3.52	3.94	3.85	4.08	4.06	3.45	15.91	2.94	-10.39	3	0	-2	1
	CF1	3.55	3.69	3.60	4.11	3.99	3.49	15.77	8.13	-3.06	3	1	-1	3
	CF2	3.71	3.71	3.62	4.05	3.93	3.44	9.11	5.93	-4.97	2	1	-1	2
	CF3	3.48	3.69	3.54	4.06	3.90	3.37	16.67	5.69	-4.80	3	1	-1	3
	D	3.75	3.67	3.80	4.13	3.88	3.49	10.28	5.72	-8.16	2	1	-1	2
	DF1	3.93	3.86	3.71	4.00	4.01	3.44	1.68	3.89	-7.28	0	1	-1	0
	DF2	3.74	3.78	3.65	3.98	4.00	3.46	6.42	5.82	-5.21	1	1	-1	1
	DF3	3.81	3.85	3.60	4.07	4.00	3.38	6.82	3.90	-6.11	1	1	-1	1
	E	3.76	3.76	3.73	4.07	3.90	3.55	8.24	3.72	-4.83	1	1	-1	1
	EF1	3.87	3.65	3.58	4.03	3.90	3.25	4.13	6.85	-9.22	1	1	-2	0
	EF2	3.91	3.57	3.65	4.05	3.90	3.46	3.58	9.24	-5.21	1	2	-1	2
	EF3	3.42	3.75	3.79	4.06	4.00	3.37	18.71	6.67	-11.08	3	1	-2	2
Değer Analizi Sonuçları										63	23	-26	60	

## 5.2 Kimyasal Katkılı Üretilen Harçların İrdelenmesi

Kimyasal katkılı üretilen, laboratuvar koşullarında ve eskitme süreçleri sonunda harçlarda yapılan kontrol deneyleri sonuçlarına göre değer analizleri yapılmış , yukarıda açıklanan esaslara göre Çizelge 5.7-5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.7'de harçların eskitme süreçleri sonunda eğilme dayanımı değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 60, ıslanma-kuruma etkisinde kalanların toplam değeri 87, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise 44 tam sayıdır. Kimyasal katkısız harçlarda bu değerler katkısızlara göre daha düşük olmuştur. Donma-çözülme etkisinde % 9 cürüflü CSF2 harcı hasar görmüştür.

Çizelge 5.8'de harçların eskitme süreçleri sonunda basınç dayanımı değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 60, ıslanma-kuruma etkisinde kalanların toplam değeri 73, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise 70 tam sayıdır. Donma-çözülme etkisinde % 9 cürüflü CSF2 harcı hasar görmüştür. Katkısız ve katkılı harçlarda, cüruf ilavesi, eğilme ve basınç dayanımına çok belirgin bir etki etmemiştir.

Çizelge 5.9 incelendiğinde, birim ağırlıkta toplam değer -30, özgül ağırlıkta toplam değer 4, hacimce su emmede ise 133 olmuştur.

Çizelge 5.7 Kimyasal katkıli harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre eğilme dayanımı değer analizi

Eğilme Dayanımı												
Numune Kodu	28 Gün	Eskitme Süreçleri (MPa)			28. Güne Göre Değişim %			28. Güne Göre Değer Analizi				
		Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te		
Kimyasal Katkılı	AS	7.18	12.56	13.88	12.69	74.93	93.31	76.74	3	4	3	10
	ASF1	7.58	12.38	10.38	11.19	63.32	34.94	47.62	3	2	2	7
	ASF2	7.53	11.53	13.50	10.44	53.12	79.28	38.64	2	4	2	8
	ASF3	6.86	12.44	14.38	12.31	81.34	109.62	79.44	4	5	4	13
	BS	6.88	12.38	15.13	11.69	79.94	119.91	69.91	4	5	3	12
	BSF1	7.80	11.94	13.94	11.81	53.08	78.72	51.41	2	4	2	8
	BSF2	7.35	12.56	15.31	10.69	70.88	108.30	45.44	3	5	2	11
	BSF3	8.85	12.63	15.13	11.25	42.71	70.96	27.12	2	3	1	6
	CS	7.41	12.81	15.06	11.94	72.87	103.24	61.13	3	5	3	11
	CSF1	7.24	12.00	15.31	13.50	65.75	111.46	86.46	3	5	4	12
	CSF2	6.98	12.38	15.25	2.00	77.36	118.48	-71.35	3	5	-3	5
	CSF3	7.25	11.19	15.31	10.31	54.34	111.17	42.21	2	5	2	9
	DS	6.70	13.00	13.63	11.44	94.03	103.43	70.75	4	5	3	12
	DSF1	6.88	12.44	15.06	12.00	80.81	118.89	74.42	4	5	3	12
	DSF2	7.03	12.38	15.63	12.38	76.10	122.33	76.10	3	5	3	11
	DSF3	7.29	12.25	15.69	11.19	68.04	115.22	53.60	3	5	2	10
	ES	6.00	11.50	15.31	11.44	91.67	155.17	90.67	4	7	4	15
	ESF1	7.65	11.00	15.50	10.44	43.79	43.79	36.47	2	2	2	6
ESF2	7.41	11.56	15.06	10.13	56.00	56.00	36.71	3	3	2	8	
ESF3	7.39	11.69	14.50	6.94	58.19	58.19	-6.09	3	3	0	6	
Değer Analizi Sonuçları								60	87	44	192	

Çizelge 5.8 Kimyasal katkıli harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre basınç dayanımı değer analizi

Basınç Dayanımı												
Numune Kodu	28 Gün	Eskitme Süreçleri (MPa)			28. Güne Göre Değişim %			28. Güne Göre Değer Analizi				
		Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te		
Kimyasal Katkı	AS	24.01	41.20	42.20	38.07	71.60	75.76	58.56	3	4	3	10
	ASF1	24.48	33.25	41.04	43.73	35.83	67.65	78.64	2	3	4	9
	ASF2	23.81	19.27	40.55	41.24	-19.07	70.31	73.21	-1	3	3	5
	ASF3	22.05	26.82	40.36	41.78	21.63	83.04	89.48	1	4	4	9
	BS	20.93	27.96	40.52	33.60	33.59	93.60	60.54	2	4	3	9
	BSF1	16.67	30.68	38.68	39.90	84.04	132.03	139.35	4	6	7	17
	BSF2	21.90	40.52	40.02	38.82	85.02	82.74	77.26	4	4	4	12
	BSF3	27.26	40.86	41.46	42.84	49.89	52.09	57.13	2	2	3	7
	CS	24.17	35.19	35.93	39.51	45.60	48.66	63.47	2	2	3	7
	CSF1	25.11	28.67	38.29	49.34	14.18	52.49	96.50	1	2	5	8
	CSF2	22.52	34.93	39.77	5.28	55.11	76.60	-76.55	3	4	-4	3
	CSF3	20.41	32.14	39.89	30.03	57.47	95.44	47.14	3	4	2	9
	DS	15.85	36.00	30.11	36.82	127.13	89.97	132.30	6	4	6	16
	DSF1	18.86	38.92	36.80	35.94	106.36	95.12	90.56	5	4	4	13
	DSF2	21.41	34.99	37.52	38.00	63.43	75.25	77.49	3	3	4	10
	DSF3	19.22	38.99	36.61	36.64	102.86	90.48	90.63	5	4	5	14
	ES	18.29	31.20	41.11	40.24	70.59	124.77	120.00	3	6	6	15
	ESF1	22.21	40.32	40.51	34.94	81.54	82.40	57.32	4	4	3	11
ESF2	23.05	40.17	38.21	32.41	74.27	65.77	40.61	4	3	2	9	
ESF3	23.16	41.48	40.02	34.64	79.10	72.80	49.57	4	3	3	10	
Değer Analizi Sonuçları								60	73	70	203	

Çizelge 5.9 Kimyasal katkı harçların 7. güne göre birim ağırlık, hacimce su emme ve özgül ağırlık değer analizi

Numune Kodu	Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )				Hacimce Su Emme				Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )				
	7 Gün	56 Gün	7. Güne Göre Değişim %	Değer Analizi	7 Gün	56 Gün	7. Güne Göre Değişim %	Değer Analizi	7 Gün	56 Gün	7. Güne Göre Değişim %	Değer Analizi	
Kimyasal Katkı	AS	2.49	2.20	-11.65	-8	18.20	8.45	-53.57	7	2.52	2.55	1.19	3
	ASF1	2.26	2.19	-3.09	-2	17.59	7.96	-54.75	7	2.53	2.54	0.40	1
	ASF2	2.27	2.16	-4.85	-3	17.94	8.28	-53.85	7	2.51	2.54	1.20	3
	ASF3	2.22	2.17	-2.25	-2	16.18	6.87	-57.54	8	2.53	2.52	-0.40	-1
	BS	2.21	2.20	-0.45	0	15.92	8.45	-46.92	6	2.52	2.56	1.59	4
	BSF1	2.26	2.20	-2.65	-2	17.52	1.09	-93.78	13	2.53	2.55	0.79	2
	BSF2	2.32	2.20	-5.17	-4	17.85	8.93	-49.97	7	2.52	2.58	2.38	6
	BSF3	2.23	2.18	-2.24	-2	16.65	6.37	-61.74	8	2.56	2.56	0.00	0
	CS	2.20	2.19	-0.45	0	15.83	7.77	-50.92	7	2.56	2.52	-1.56	4
	CSF1	2.27	2.19	-3.52	-3	17.48	7.10	-53.98	7	2.57	2.52	-1.95	-5
	CSF2	2.26	2.19	-3.09	-2	17.49	6.59	-62.32	8	2.55	2.53	-0.78	-2
	CSF3	2.24	2.21	-1.34	-1	16.73	9.03	-46.03	6	2.56	2.53	-1.17	-3
	DS	2.22	2.26	1.80	1	15.82	10.70	-32.36	4	2.57	2.57	0.00	0
	DSF1	2.25	2.22	-1.33	-1	17.55	9.96	-43.25	6	2.54	2.56	0.79	2
	DSF2	2.24	2.23	-0.45	0	16.62	9.32	-43.92	6	2.53	2.55	0.79	2
	DSF3	2.20	2.21	0.45	0	16.26	8.36	-48.59	7	2.55	2.52	-1.18	-3
	ES	2.19	2.23	1.83	1	15.15	12.19	-19.54	3	2.55	2.55	0.00	0
	ESF1	2.22	2.19	-1.35	-1	16.95	8.31	-50.97	7	2.55	2.52	-1.18	-3
ESF2	2.31	2.22	-3.90	-3	17.59	10.96	-37.69	5	2.55	2.53	-0.78	-2	
ESF3	2.15	2.20	2.33	2	15.52	10.60	-31.70	4	2.55	2.51	-1.57	-4	
Değer Analizi Sonuçları				-30					133				

Çizelge 5.10'da ağırlık değişimi değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 1, ıslanma-kuruma etkisinde kalanların toplam değeri -30, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise -156 tam sayıdır. Laboratuvar ortamında % 9 cürüflü ASF2 harcı hariç, bütün eskitme süreçlerinde harçların hepsi hasar görmüştür.

Çizelge 5.11'de boy değişimi değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 9, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise 16 olmuştur. Laboratuvar ortamında; A grubunda % 14 cürüflü ASF3 harcı, B grubunda % 5 ve % 14 cürüflü BSF1 ile BSF3 harcı, D grubunda şahit DS harcı, E grubunda % 5 cürüflü ESF1 ve % 9 cürüflü ESF2 harçları hariç diğerleri hasar görmüştür. Donma-çözülme etkisinde ise % 5 ve % 14 cürüflü ASF1 ile ASF3, Şahit BS, DS ve % 9 cürüflü ESF2 harçları hariç diğerlerinde hasar oluşmuştur.

Çizelge 5.12'de ultrases hız değişimi değer analizi incelendiğinde laboratuvar ortamında bekletilen harçların toplam değeri 44, ıslanma-kuruma etkisinde kalanların toplam değeri 34, donma-çözülme etkisindeki toplam değer ise -38 olmuştur. Donma-çözülme etkisindeki bütün harçlar hasar görmüştür.

Çizelge 5.10 Kimyasal katkılı harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre ağırlık değişimi değer analizi

Ağırlık Değişimi														
Numune Kodu	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Eskitme Süreçleri			28. Güne Göre Değişim %			28. Güne Göre Değer Analizi				
	28 Gün	28 Gün	28 Gün	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te		
Kimyasal Katkılı	AS	556.67	545.50	593.83	556.17	539.00	553.50	-0.09	-1.19	-6.79	0	-1	-8	-9
	ASF1	564.17	547.00	583.50	563.33	540.83	543.17	-0.15	-1.13	-6.91	0	-1	-9	-10
	ASF2	568.83	540.83	553.17	572.50	534.67	514.50	0.65	-1.14	-6.99	1	-1	-9	-10
	ASF3	554.67	534.33	557.83	554.83	528.17	519.17	0.03	-1.15	-6.93	0	-1	-9	-10
	BS	556.83	554.00	549.67	555.33	547.17	512.67	-0.27	-1.23	-6.73	0	-2	-8	-10
	BSF1	564.33	547.00	547.17	563.67	539.67	509.33	-0.12	-1.34	-6.91	0	-2	-9	-11
	BSF2	562.00	556.17	547.50	562.00	549.17	510.00	0.00	-1.26	-6.85	0	-2	-9	-11
	BSF3	559.67	552.00	536.33	559.83	544.83	499.50	0.03	-1.30	-6.87	0	-2	-9	-11
	CS	551.00	545.83	557.83	551.00	540.17	519.00	0.00	-1.04	-6.96	0	-1	-9	-10
	CSF1	547.67	550.50	554.50	547.33	543.83	515.50	-0.06	-1.21	-7.03	0	-2	-9	-11
	CSF2	544.83	548.33	519.67	544.83	542.00	552.83	0.00	-1.16	6.38	0	-1	8	7
	CSF3	537.50	554.67	540.00	536.67	548.33	504.00	-0.16	-1.14	-6.67	0	-1	-8	-9
	DS	549.50	533.50	549.67	549.67	527.00	513.17	0.03	-1.22	-6.64	0	-2	-8	-10
	DSF1	542.67	546.50	560.33	542.83	541.50	524.00	0.03	-0.91	-6.48	0	-1	-8	-9
	DSF2	544.83	567.17	563.17	545.17	561.83	525.00	0.06	-0.94	-6.78	0	-1	-8	-9
	DSF3	566.83	551.33	571.50	567.33	546.50	534.83	0.09	-0.88	-6.42	0	-1	-8	-9
	ES	541.33	548.50	567.33	541.00	541.00	526.83	-0.06	-1.37	-7.14	0	-2	-9	-11
	ESF1	563.50	542.17	577.33	565.00	534.00	534.83	0.27	-1.51	-7.36	0	-2	-9	-11
ESF2	560.17	542.50	568.67	562.00	533.17	527.00	0.33	-1.72	-7.33	0	-2	-9	-11	
ESF3	561.00	545.00	558.00	562.00	535.33	519.50	0.18	-1.77	-6.90	0	-2	-9	-11	
Değer analizi sonuçları											1	-30	-156	-186

Çizelge 5.11 Kimyasal katkı harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre boy değişimi değer analizi

Boy Değişimi										
Numune Kodu	Wc	Fn-Te	Eskitme Süreçleri		28. Güne Göre Değişim %		28. Güne Göre Değer Analizi			
	28 Gün	28 Gün	Wc	Fn-Te	Wc	Fn-Te	Wc	Fn-Te		
Kimyasal Katkı	AS	1.17	3.03	1.32	2.28	12.82	-24.75	0	0	0
	ASF1	0.97	0.51	1.21	3.22	24.74	531.37	0	9	9
	ASF2	2.36	1.73	1.76	0.85	-25.42	-50.87	0	-1	-1
	ASF3	0.65	1.77	0.96	2.44	48.20	37.85	1	1	2
	BS	2.57	1.84	1.99	2.59	-22.57	40.76	0	1	1
	BSF1	0.82	1.96	2.86	2.54	248.78	29.59	4	0	4
	BSF2	4.78	0.82	3.38	0.88	-29.29	7.32	0	0	0
	BSF3	1.06	1.73	2.34	1.97	120.75	13.87	2	0	2
	CS	0.76	2.85	0.94	2.10	23.68	-26.32	0	0	0
	CSF1	1.95	1.85	1.05	1.19	-46.15	-35.68	-1	-1	-2
	CSF2	2.25	2.37	1.86	1.71	-17.33	-27.85	0	0	0
	CSF3	2.52	2.24	2.70	1.59	7.14	-29.02	0	0	0
	DS	1.55	1.06	3.23	4.14	108.39	290.57	2	5	7
	DSF1	3.78	1.32	1.30	1.22	-65.61	-7.58	-1	0	-1
	DSF2	1.62	1.82	1.85	0.81	14.20	-55.49	0	-1	-1
	DSF3	1.72	2.24	2.10	0.99	22.09	-55.80	0	-1	-1
	ES	1.72	3.08	0.65	2.99	-62.21	-2.92	-1	0	-1
	ESF1	1.05	2.77	2.03	1.51	93.33	-45.49	2	-1	1
ESF2	1.76	0.66	2.61	3.08	48.30	366.67	1	6	7	
ESF3	2.03	2.92	1.71	1.67	-15.76	-42.81	0	-1	-1	
Değer Analizi Sonuçları							9	16	25	



Çizelge 5.12 Kimyasal katkıli harçların eskitme süreçleri sonunda 28. güne göre ultrases hız değişimi değer analizi

Ultrases Hız Değişimi														
Numune Kodu	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Eskitme Süreçleri			28. Güne Göre Değişim %			28. Güne Göre Değer Analizi				
	28 Gün	28 Gün	28 Gün	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te	Wc	Ws-Dh	Fn-Te		
Kimyasal Katkılı	AS	3.64	3.59	3.71	4.11	4.03	3.55	12.91	12.26	-4.31	3	3	-1	5
	ASF1	3.60	3.74	3.82	4.11	4.03	3.48	14.17	7.75	-8.90	4	2	-2	4
	ASF2	3.64	3.60	3.94	4.03	4.03	3.61	10.71	11.94	-8.38	3	3	-2	4
	ASF3	3.70	3.71	3.91	4.15	4.03	3.59	12.16	8.57	-8.18	3	2	-2	3
	BS	3.70	3.82	3.82	4.06	4.00	3.57	9.73	4.71	-6.54	2	1	-2	1
	BSF1	3.53	3.82	3.68	4.06	4.03	3.52	15.01	5.50	-4.35	4	1	-1	4
	BSF2	3.81	3.80	3.65	4.14	4.04	3.52	8.66	6.32	-3.45	2	2	-1	3
	BSF3	3.95	3.77	3.75	4.16	4.07	3.60	5.32	7.96	-4.00	1	2	-1	2
	CS	3.94	3.91	3.69	4.10	4.01	3.57	4.06	2.56	-3.25	1	1	-1	1
	CSF1	3.89	3.93	4.00	4.11	4.08	3.63	5.66	3.82	-9.25	1	1	-2	0
	CSF2	3.72	3.79	3.79	4.06	4.04	2.88	9.14	6.60	-24.01	2	2	-6	-2
	CSF3	3.80	3.94	3.72	4.05	4.02	3.46	6.58	2.03	-6.99	2	1	-2	1
	DS	3.86	3.81	3.91	4.11	4.01	3.56	6.48	5.25	-8.95	2	1	-2	1
	DSF1	3.82	3.89	3.70	4.12	4.03	3.52	7.85	3.60	-4.86	2	1	-1	2
	DSF2	3.80	3.63	3.82	4.15	3.92	3.57	9.21	7.99	-6.54	2	2	-2	2
	DSF3	3.66	3.89	3.80	4.08	4.04	3.55	11.48	3.86	-6.58	3	1	-2	2
	ES	3.77	3.61	3.90	4.08	3.92	3.52	8.22	8.59	-9.74	2	2	-2	2
	ESF1	3.95	3.73	3.75	4.14	4.00	3.47	4.81	7.24	-7.47	1	2	-2	1
ESF2	3.86	3.55	3.77	4.14	3.97	3.52	7.25	11.83	-6.63	2	3	-2	3	
ESF3	3.91	3.71	3.86	4.14	3.91	3.49	5.88	5.39	-9.59	2	1	-2	1	
Değer Analizi Sonuçları										44	34	-38	40	

### 5.3 Çimento Özelliklerinin ve Eskitme Süreçlerinin İrdelenmesi

Kimyasal katkısız ve katkılı harç grupları için belirlenen özelliklerin değer analizi sonuçları, A, B, C, D ve E çimentoları için, süreçlere göre Çizelge 5.13-5.14’de topluca verilmiştir.

Çizelge 5.13 ve 5.14 deki değer analizinde ara işlemlerle 20 grup harç, 5 gruba indirilmiştir. Bu tablolardaki boyutsuz sayılarla, ıslanma-kuruma ve donma-çözülme etkisini, mekanik özellikler ve fiziksel özelliklerle irdelemek mümkün olmuştur.

Çimento tipleri Çizelge 3.8’ de incelendiğinde kimyasal katkının C çimentosu hariç yayılmayı dolayısıyla işlenebilmeyi artırdığı görülmüştür. Ancak işlenebilirliğin artması, sertleşmiş harçlarda performans artışını sağlamamıştır. Örneğin Çizelge 5.13 ve 5.14 incelendiğinde, kimyasal katkısız harçların performansının, kimyasal katkılı harçlardan daha iyi olduğu görülmektedir. Çizelge 5.13 de, su içinde bekletilen 5 grup harcın değer analizi ile elde edilen boyutsuz sayıların toplamı kimyasal katkısızlar için 108 iken, kimyasal katkılılar için 60 dır. Diğer ıslanma-kuruma, donma-çözülme etkisinde eğilme ve basınç dayanımında benzer sonuç görülmüştür. Ağırlık değişiminde de, kimyasal katkılılarda performans kaybının daha fazla olduğu açıktır. Bu sonuçtan, işlenebilmeyi artıran her kimyasal katkının, sertleşmiş beton özelliklerinde performansı artıracığı söylenemez; katkı seçiminde bu durumun göz önüne alınması gerekir.

Yapılan değer analizi sonuçlarına göre Çizelge 5.13 ve 5.14 dikkate alındığında, donma-çözülme etkisindeki ultrases geçiş hızının azalması, toplamda performans kaybı olduğu, bu kaybın kimyasal katkılı harçlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç, 5 farklı çimentoda da benzerlik göstermiştir. Performans kaybı, donma-çözülme etkisi ile harçlarda çatlak oluşumunu işaret etmektedir. Çatlak oluşumunun, eğilme dayanımında da etkili olduğu göz önüne alınarak Çizelge 5.13 deki donma-çözülme etkisi incelenmiştir. Bu çizelgedeki eğilme dayanımlarının mutlak değerlerin kimyasal katkılı harçlarda(44), katkısız harçlardan(144) çok düşük olduğu, bu grup harçlarda performansın düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.13 Kimyasal katkısız ve katkılı çimentoların mekanik özelliklerinin değer analizi sonuçları

Çimento Kodu	Eğilme Dayanımı								Basınç Dayanımı							
	W <sub>c</sub>		W <sub>s</sub> -D <sub>h</sub>		F <sub>n</sub> -T <sub>h</sub>		Toplam		W <sub>c</sub>		W <sub>s</sub> -D <sub>h</sub>		F <sub>n</sub> -T <sub>h</sub>		Toplam	
	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı
<b>A</b>	22	12	19	15	24	11	<b>65</b>	<b>38</b>	14	5	16	14	13	14	<b>43</b>	<b>33</b>
<b>B</b>	23	11	30	17	28	8	<b>81</b>	<b>36</b>	19	12	23	16	15	17	<b>57</b>	<b>45</b>
<b>C</b>	16	11	22	20	30	6	<b>68</b>	<b>37</b>	9	9	17	12	13	6	<b>39</b>	<b>27</b>
<b>D</b>	26	14	27	20	36	11	<b>89</b>	<b>45</b>	15	19	16	15	16	19	<b>47</b>	<b>53</b>
<b>E</b>	21	12	27	15	26	8	<b>74</b>	<b>35</b>	16	15	14	16	7	14	<b>37</b>	<b>45</b>
<b>Toplam</b>	<b>108</b>	<b>60</b>	<b>125</b>	<b>87</b>	<b>144</b>	<b>44</b>	<b>377</b>	<b>191</b>	<b>73</b>	<b>60</b>	<b>86</b>	<b>74</b>	<b>64</b>	<b>70</b>	<b>223</b>	<b>203</b>

Çizelge 5.14 Kimyasal katkıli ve katkısiz çimentolara göre ağırlık, boy ve ultrases hız değışimi değeri analizi sonuçları

Çimento Kodu	Ağırlık Değişimi								Boy Değişimi						Ultrases Hız Değişimi							
	W <sub>c</sub>		W <sub>s</sub> -D <sub>h</sub>		F <sub>n</sub> -T <sub>h</sub>		Toplam		W <sub>c</sub>		F <sub>n</sub> -T <sub>h</sub>		Toplam		W <sub>c</sub>		W <sub>s</sub> -D <sub>h</sub>		F <sub>n</sub> -T <sub>h</sub>		Toplam	
	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı
<b>A</b>	-5	1	-4	-4	-26	-35	<b>-35</b>	<b>-38</b>	-2	1	2	9	<b>0</b>	<b>10</b>	26	13	3	10	-7	-7	<b>22</b>	<b>16</b>
<b>B</b>	1	0	-4	-8	-24	-35	<b>-27</b>	<b>-43</b>	7	6	2	1	<b>9</b>	<b>7</b>	16	9	8	6	-4	-5	<b>20</b>	<b>10</b>
<b>C</b>	-8	0	-4	-5	-25	-18	<b>-37</b>	<b>-23</b>	10	-1	3	-1	<b>13</b>	<b>-2</b>	11	6	3	5	-5	-11	<b>9</b>	<b>0</b>
<b>D</b>	7	0	-4	-5	-24	-32	<b>-21</b>	<b>-37</b>	1	-1	8	3	<b>9</b>	<b>2</b>	4	9	4	5	-4	-7	<b>4</b>	<b>7</b>
<b>E</b>	4	0	-4	-8	-23	-36	<b>-23</b>	<b>-31</b>	3	2	1	4	<b>4</b>	<b>6</b>	6	7	5	8	-6	-8	<b>5</b>	<b>7</b>
<b>Toplam</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>-20</b>	<b>-30</b>	<b>-122</b>	<b>-156</b>	<b>-143</b>	<b>-172</b>	<b>19</b>	<b>7</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>63</b>	<b>44</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>-26</b>	<b>-38</b>	<b>60</b>	<b>40</b>

Çizelge 5.15 Çimentoların mekanik ve fiziksel özelliklerinin katkısız ve katkılı harçlara göre toplam değer analizi sonuçları

Çimento Kodu	Mekanik Özellikler						Fiziksel Özellikler								Genel Toplam	
	Eğilme Dayanımı		Basınç Dayanımı		Toplam		Ağırlık Değişimi		Boy Değişimi		Ultrases Hız Değişimi		Toplam		Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı
	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı	Kimyasal Katkısız	Kimyasal Katkılı		
<b>A</b>	65	38	43	33	<b>108</b>	<b>71</b>	-35	-38	0	10	22	16	-13	-12	<b>95</b>	<b>59</b>
<b>B</b>	81	36	57	45	<b>138</b>	<b>81</b>	-27	-43	9	7	20	10	2	-26	<b>140</b>	<b>55</b>
<b>C</b>	68	37	39	27	<b>107</b>	<b>64</b>	-37	-23	13	-2	9	0	-15	-25	<b>92</b>	<b>39</b>
<b>D</b>	89	45	47	53	<b>136</b>	<b>98</b>	-21	-37	9	2	4	7	-8	-28	<b>128</b>	<b>70</b>
<b>E</b>	74	35	37	45	<b>111</b>	<b>80</b>	-23	-31	4	6	5	7	-14	-18	<b>97</b>	<b>62</b>
<b>Toplam</b>	<b>377</b>	<b>191</b>	<b>223</b>	<b>203</b>	<b>600</b>	<b>394</b>	<b>-143</b>	<b>-172</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>-48</b>	<b>-109</b>	<b>552</b>	<b>285</b>

Çizelge 5.15’de Çimentoların mekanik ve fiziksel özellikleri kimyasal katkısız ve kimyasal katkılı harçlar olmak üzere boyutsuz sayılar şeklinde toplu olarak gösterilmiş ve çizelgenin en sonunda toplam değerlerin katkısız ve katkılı olarak sayıları gösterilmiştir.

Bu çizelgede, eskitme süreçlerinde mekanik özelliklerde katkısızlarda B çimentosu, katkılılarda ise D çimentosu, fiziksel özelliklerde ise katkısızlarda B çimentosu, katkılılarda A çimentosu en yüksek bulunmuştur. Tüm eskitme süreçleri ve özelliklerin hepsi birlikte değerlendirildiğinde ise katkısızlarda B çimentosu, katkılılarda D çimentosu en yüksek değerdedir. Bu Çizelgede B çimentosu sonuç olarak ve fiziksel, mekanik özelliklere göre en iyi performans göstermiştir. Bu sonuç bu çimentonun özgül yüzeyinin ( $4084 \text{ cm}^2/\text{g}$  Blaine) en büyük değere sahip olması ile açıklanabilir.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı çimentoların harcın dayanım ve dayanıklılığına etkisi araştırılmıştır. Harç numunelerinde, farklı çimento fabrikalarının üretimi olan CEM I 42.5 portland çimentosuna, mineral katkı olarak yüksek fırın cürufu % 5, %9 ve % 14 oranlarında ikame edilerek elde edilen katkılı çimentolar kullanılmıştır. Bir grup mineral katkılı, diğer grup mineral katkı ve % 0.4 oranında süper akışkanlaştırıcı katkılı harçlar üretilmiştir. Taze harçlarda yayılma ve birim ağırlık deneyleri, sertleşmiş harçlarda 7., 28., 56. ve 210. günlerde eğilme ve basınç dayanımı, hacimce su emme, özgül ağırlık ve eskitme deneyleri yapılmıştır. Eskitme deneyleri olarak donma-çözülme, ıslanma-kuruma deneyleri ve eskitme deneylerinin sonunda da ağırlık, boy değişimi ve ultrases hızı değişimi ile dayanıklılık kontrol deneyleri yapılmıştır.

Harçlar A, AF1, AF2, AF3, ...EF3; AS, ASF1, ASF2, .....ESF3 şeklinde kodlanmıştır, A, B, C, D, E; çimentoları, F:mineral katkı'yı (furnace slag), S:akışkanlaştırıcı'yı (süperplasticizer), 1: % 5, 2: % 9, 3: % 14 mineral katkı oranını belirtmiştir.

Bu çalışma sonunda aşağıda özetlenen sonuçlara varılmıştır.

- Cüruf miktarının artması ve kimyasal katkı taze harç özeliğini olumlu yönde değiştirmiş, sertleşmiş harçların ise eğilme ve basınç dayanımını değiştirmemiş, dayanımda belirgin bir etki görülmemiştir.
- Bu çalışmada uygulanan koşullar ve çevrim sayısına göre eskitme süreçlerinden donma-çözülme, ıslanma-kurumaya kıyasla daha etkili olmuştur.
- Harçların fiziksel özelliklerindeki performans kaybı, mekanik özelliklere göre daha belirgindir.
- Beş çimentonun karmaşık bileşiklerinin, eskitme süreçlerine ve harçların performansına etkisi kesin olmamıştır.
- Çimentoların özellikle özgül yüzeyi (Blaine) , harçların performanslarında belirgin bir özellik olarak görülmüştür. Özgül yüzeyi en yüksek olan çimento değer analizi sonunda en dayanıklı harç, özgül yüzeyi düşük olan çimento ise en az dayanıklı harç olarak bulunmuştur.

Bu çalışma sonunda Őu önerilere yer verilmiştir:

- Harçların dayanıklılık deneylerinde çevrim sayısını arttırılması,
- Eskitme süreçlerinden sonra kontrol deneyi olarak mekanik deneylerden çok fiziksel deneyler ve/veya ileri yöntemlerle mikro düzeyde yapı analizi yapılması,
- Karmaşık bileşenleri birbirinden çok farklı çimentolarla konunun araştırılmasıdır.



EK A

Çizelge A.1 Kimyasal katkısız ve katkılı numunelerin su emme ve birim ağırlık sonuçları

Numune Kodu	Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )			Hacimce Su emme %			Numune Kodu	Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )			Hacimce Su emme %				
	7 gün	28 gün	56 gün	7 gün	28 gün	56 gün		7 gün	28 gün	56 gün	7 gün	28 gün	56 gün		
Kimyasal Katkısız	A	2.37	2.26	2.19	20.35	20.18	8.13	Kimyasal Katkılı	AS	2.49	2.28	2.20	2.49	2.28	2.20
	AF1	2.35	2.31	2.20	21.78	19.73	7.71		ASF1	2.26	2.28	2.19	2.26	2.28	2.19
	AF2	2.35	2.25	2.18	20.96	19.85	7.54		ASF2	2.27	2.29	2.16	2.27	2.29	2.16
	AF3	2.34	2.24	2.19	20.52	19.32	8.44		ASF3	2.22	2.25	2.17	2.22	2.25	2.17
	B	2.11	2.36	2.15	17.66	21.39	7.85		BS	2.21	2.30	2.20	2.21	2.30	2.20
	BF1	2.37	2.33	2.21	21.08	21.23	7.97		BSF1	2.26	2.30	2.20	2.26	2.30	2.20
	BF2	2.39	2.36	2.21	22.16	21.99	8.80		BSF2	2.32	2.28	2.20	2.32	2.28	2.20
	BF3	2.38	2.24	2.21	21.43	19.63	9.44		BSF3	2.23	2.30	2.18	2.23	2.30	2.18
	C	2.36	2.31	2.27	20.91	20.18	12.04		CS	2.20	2.32	2.19	2.20	2.32	2.19
	CF1	2.38	2.35	2.24	21.57	21.35	10.22		CSF1	2.27	2.32	2.19	2.27	2.32	2.19
	CF2	2.36	2.33	2.24	21.74	21.55	10.36		CSF2	2.26	2.33	2.19	2.26	2.33	2.19
	CF3	2.36	2.30	2.26	20.42	20.94	10.49		CSF3	2.24	2.33	2.21	2.24	2.33	2.21
	D	2.36	2.26	2.19	21.15	18.93	8.73		DS	2.22	2.35	2.26	2.22	2.35	2.26
	DF1	2.37	2.32	2.22	22.81	20.24	8.76		DSF1	2.25	2.28	2.22	2.25	2.28	2.22
	DF2	2.40	2.29	2.22	22.42	20.68	8.27		DSF2	2.24	2.28	2.23	2.24	2.28	2.23
	DF3	2.35	2.26	2.18	21.64	20.38	6.17		DSF3	2.20	2.25	2.21	2.20	2.25	2.21
	E	2.38	2.24	2.27	21.86	20.05	12.60		ES	2.19	2.24	2.23	2.19	2.24	2.23
	EF1	2.41	2.28	2.25	22.99	19.95	10.81		ESF1	2.22	2.25	2.19	2.22	2.25	2.19
	EF2	2.39	2.29	2.24	22.77	20.62	10.88		ESF2	2.31	2.24	2.22	2.31	2.24	2.22
	EF3	2.38	2.24	2.22	22.41	20.03	8.82		ESF3	2.15	2.24	2.20	2.15	2.24	2.20

A2. Kimyasal katkısız ve katkılı harçlarda özgül ağırlık sonuçları

Numune Kodu	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )			Numune Kodu	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )				
	7 gün	28 gün	56 gün		7 gün	28 gün	56 gün		
<b>Kimyasal Katkısız</b>	<b>A</b>	2.52	2.58	2.56	<b>Kimyasal Katkılı</b>	<b>AS</b>	2.52	2.54	2,55
	<b>AF1</b>	2.50	2.56	2.55		<b>ASF1</b>	2.53	2.53	2.54
	<b>AF2</b>	2.50	2.58	2.52		<b>ASF2</b>	2.51	2.49	2.54
	<b>AF3</b>	2.53	2.56	2.52		<b>ASF3</b>	2.53	2.56	2.52
	<b>B</b>	2.59	2.56	2.54		<b>BS</b>	2.52	2.57	2.56
	<b>BF1</b>	2.56	2.59	2.56		<b>BSF1</b>	2.53	2.59	2.55
	<b>BF2</b>	2.56	2.56	2.55		<b>BSF2</b>	2.52	2.59	2.58
	<b>BF3</b>	2.58	2.59	2.54		<b>BSF3</b>	2.56	2.55	2.56
	<b>C</b>	2.59	2.56	2.56		<b>CS</b>	2.56	2.53	2.52
	<b>CF1</b>	2.56	2.57	2.56		<b>CSF1</b>	2.57	2.54	2.52
	<b>CF2</b>	2.56	2.56	2.54		<b>CSF2</b>	2.55	2.54	2.53
	<b>CF3</b>	2.56	2.52	2.53		<b>CSF3</b>	2.56	2.57	2.53
	<b>D</b>	2.58	2.60	2.57		<b>DS</b>	2.57	2.58	2.57
	<b>DF1</b>	2.55	2.60	2.54		<b>DSF1</b>	2.54	2.58	2.56
	<b>DF2</b>	2.55	2.57	2.54		<b>DSF2</b>	2.53	2.56	2.55
	<b>DF3</b>	2.54	2.58	2.54		<b>DSF3</b>	2.55	2.56	2.52
	<b>E</b>	2.56	2.57	2.53		<b>ES</b>	2.55	2.55	2.55
	<b>EF1</b>	2.53	2.55	2.54		<b>ESF1</b>	2.55	2.55	2.52
	<b>EF2</b>	2.55	2.57	2.50		<b>ESF2</b>	2.55	2.53	2.53
	<b>EF3</b>	2.51	2.55	2.48		<b>ESF3</b>	2.55	2.54	2.51

Çizelge A.3 Su içinde kimyasal katkısız harçların ağırlık değişimi %

Numune Kodu		Ağırlık Değişimi %						
		2. Hafta	4. Hafta	6. Hafta	8. Hafta	10. Hafta	12. Hafta	14. Hafta
Kimyasal Katkısız	A	-0.78	-0.87	-0.84	-0.84	-0.84	-0.90	-0.96
	AF1	-1.52	-1.61	-1.61	-1.61	-1.61	-1.64	-1.70
	AF2	0.50	0.40	0.46	0.43	0.43	0.46	0.37
	AF3	-2.64	-2.52	-2.52	-2.40	-2.36	-2.40	-2.45
	B	2.42	2.33	2.39	2.42	2.33	2.24	2.27
	BF1	-1.02	-1.17	-1.17	-1.14	-1.17	-1.29	-1.32
	BF2	0.25	0.22	0.19	0.19	0.25	0.16	0.16
	BF3	0.15	0.21	0.30	0.27	0.36	0.27	0.27
	C	-4.04	-4.10	-4.07	-4.10	-4.10	-4.22	-4.25
	CF1	-3.69	-3.86	-3.89	-3.86	-3.89	-4.01	-3.98
	CF2	0.18	0.39	0.33	0.30	0.30	0.24	0.18
	CF3	0.23	0.32	0.16	0.20	0.26	0.23	0.23
	D	3.29	3.33	3.29	3.29	3.39	3.23	3.17
	DF1	3.05	2.96	2.89	2.89	2.96	2.80	2.77
	DF2	2.56	2.71	2.59	2.71	2.71	2.62	2.52
	DF3	0.17	0.42	0.20	0.29	0.35	0.26	0.20
	E	1.35	1.23	1.32	1.35	1.35	1.32	1.29
	EF1	-0.16	-0.24	-0.19	-0.19	-0.10	-0.19	-0.19
	EF2	1.19	1.28	1.25	1.31	0.86	1.40	1.40
	EF3	1.72	1.94	1.88	2.03	2.09	2.03	2.03

Çizelge A.4 Su içinde kimyasal katkı harçların ağırlık değişimi %

Numune Kodu	Ağırlık Değişimi %							
	2. Hafta	4. Hafta	6. Hafta	8. Hafta	10. Hafta	12. Hafta	14. Hafta	
Kimyasal Katkılı	AS	0.15	-0.78	0.12	0.09	0.03	-0.03	0.06
	ASF1	0.03	-0.09	0.15	0.09	0.03	0.00	0.03
	ASF2	0.09	0.00	0.12	0.15	0.15	-0.03	0.69
	ASF3	0.09	-0.24	0.12	0.12	0.09	0.18	0.09
	BS	0.09	-0.18	0.09	0.09	-0.09	-0.48	-0.15
	BSF1	0.12	-0.15	0.09	0.06	0.00	0.50	-0.09
	BSF2	0.06	-0.21	0.09	0.00	0.03	0.33	0.06
	BSF3	0.15	-0.06	0.18	0.15	0.09	0.54	0.18
	CS	0.18	0.00	0.27	0.15	0.09	-0.24	0.09
	CSF1	0.06	0.03	0.18	0.21	0.15	-0.73	0.00
	CSF2	0.12	0.03	-5.97	0.09	0.09	-0.06	0.06
	CSF3	0.09	-0.22	0.19	0.00	0.09	0.25	-0.03
	DS	0.21	-0.06	0.21	0.18	0.09	-0.67	0.06
	DSF1	0.12	-0.06	0.25	0.15	0.12	0.00	0.12
	DSF2	0.12	-0.83	0.24	0.21	0.21	0.31	0.15
	DSF3	0.18	-0.06	0.21	0.12	0.12	0.00	0.18
	ES	0.22	-0.18	0.18	0.00	0.18	0.18	0.06
	ESF1	0.24	0.12	0.30	0.27	0.21	-0.65	0.30
	ESF2	0.27	0.15	0.30	0.27	0.36	0.09	0.33
	ESF3	0.18	-0.12	0.09	0.06	0.06	-0.86	0.15

Çizelge A.5 Islanma-kuruma etkisindeki kimyasal katkı harçların  
ağırlık değişimi %

Numune Kodu	Ağırlık Değişimi %									
	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim	7. Çevrim	8. Çevrim	9. Çevrim	
Kimyasal Katkı	AS	0.15	-0.61	-0.64	-0.37	-0.67	-0.58	-0.52	-1.99	-0.23
	ASF1	0.15	-0.27	-0.52	-0.21	-0.43	-0.24	-0.49	-1.37	-1.46
	ASF2	0.18	-0.25	-0.31	-0.28	-0.43	-0.22	-0.68	-1.63	-0.89
	ASF3	0.12	-0.75	-0.81	-0.44	-0.66	-0.53	-0.59	-1.62	-0.72
	BS	0.12	-0.96	-0.96	-0.87	-0.81	-0.75	-0.99	-2.11	-2.17
	BSF1	0.06	-0.52	-0.55	-0.52	-0.55	-0.58	-0.91	-1.58	-0.43
	BSF2	0.09	-0.18	-0.45	-0.36	-0.45	-0.36	-0.69	-1.44	-1.80
	BSF3	0.00	-0.36	-0.48	-0.42	-0.48	-0.39	-0.82	-1.60	-1.51
	CS	0.06	-0.27	-0.43	-0.24	-0.37	-0.49	-0.67	-1.71	0.06
	CSF1	0.15	-0.39	-0.39	-0.42	-0.45	-0.48	-0.82	-1.63	-1.60
	CSF2	0.12	-0.30	-0.30	-0.27	-0.33	-0.36	-0.67	-1.40	-0.52
	CSF3	0.09	-0.42	-0.54	-0.18	-0.30	-0.36	-0.66	-1.47	-1.17
	DS	0.09	-0.53	-0.53	-0.25	-0.28	-0.41	-0.53	-1.78	0.09
	DSF1	0.09	-0.06	-0.30	-0.09	-0.24	-0.24	-0.55	-1.43	-1.52
	DSF2	0.09	-0.21	-0.32	-0.18	-0.26	-0.32	-0.68	-1.35	-1.50
	DSF3	0.12	-0.33	-0.45	-0.12	-0.33	-0.30	-0.70	-1.36	0.30
	ES	-0.06	-0.36	-0.73	-0.49	-0.61	-0.73	-1.15	-1.79	-1.37
	ESF1	0.25	-0.22	-0.37	-0.15	-0.40	-0.40	-1.23	-2.09	-1.41
	ESF2	0.09	-0.12	-0.52	-0.28	-0.52	-0.49	-1.17	-2.18	-1.44
	ESF3	0.06	-0.61	-0.80	-0.52	-0.95	-0.95	-1.35	-2.51	-1.35

Çizelge A.6 Islanma-kuruma etkisindeki kimyasal katkısız harçların  
ağırlık değişimi %

Numune Kodu	Ağırlık Değişimi %									
	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim	7. Çevrim	8. Çevrim	9. Çevrim	
Kimyasal Katkısız	A	0.02	0.03	-0.30	-0.21	-0.33	-0.36	-0.30	-0.73	-0.94
	AF1	-0.15	0.03	-0.12	-0.06	-0.12	-0.21	-0.21	-0.70	-0.80
	AF2	-0.54	-0.12	-0.15	-0.15	-0.21	-0.30	-0.60	-0.87	-2.16
	AF3	0.71	-0.18	-0.57	-0.24	-0.36	-0.36	-0.39	-0.69	-0.81
	B	0.54	-0.18	-0.48	-0.27	-0.39	0.39	-0.57	-0.66	-0.90
	BF1	-0.30	-0.09	-0.18	-0.12	-0.24	-0.81	-0.57	-0.63	-0.84
	BF2	-0.21	0.09	-0.06	-0.09	-0.12	0.51	-0.54	-0.69	-0.78
	BF3	-0.22	-0.15	-0.39	-0.21	-0.33	-0.98	-0.57	-0.63	-0.78
	C	0.33	-0.24	-0.49	-0.30	-0.52	-0.36	-0.67	-0.82	-1.00
	CF1	-0.32	-0.03	-0.06	0.00	-0.12	-0.03	-0.39	-0.60	-0.57
	CF2	-0.09	0.00	-0.06	0.09	-0.18	-0.03	-0.21	-0.51	-0.81
	CF3	0.71	-0.12	-0.27	-0.15	-0.21	-0.09	-0.45	-0.66	-0.69
	D	-0.32	-0.06	-0.21	-0.12	-0.24	-0.28	-0.58	-0.73	-0.92
	DF1	0.40	0.03	3.02	-0.12	-0.19	-0.19	-0.40	-0.56	-0.68
	DF2	-0.07	0.03	-3.08	0.09	0.00	0.03	-0.24	-0.42	-0.57
	DF3	-0.19	-0.06	-0.24	0.06	0.00	-0.15	-0.36	-0.48	-0.51
	E	-0.06	-0.18	-0.30	-0.09	-0.18	-0.27	-0.57	-0.86	-0.83
	EF1	-0.24	0.06	0.00	0.06	-0.03	-0.06	-0.53	-0.74	-0.80
	EF2	-0.56	0.15	-0.03	0.03	-0.03	-0.15	-0.56	-0.77	-0.95
	EF3	0.79	-0.06	-0.21	-0.09	-0.24	-0.30	-0.75	-0.84	-0.84

Çizelge A.7 Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkı harçların  
ağırlık değişimi %

Numune Kodu	Ağırlık Değişimi %									
	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim	7. Çevrim	8. Çevrim	9. Çevrim	
Kimyasal Katkılı	AS	-0.53	-5.08	-6.34	-6.88	-7.04	-7.27	-7.30	-7.24	-6.79
	ASF1	-0.40	-4.46	-6.37	-7.00	-7.11	-7.37	-7.46	-7.28	-6.91
	ASF2	-0.36	-5.18	-6.63	-6.90	-7.20	-7.50	-7.50	-7.47	-6.99
	ASF3	-0.18	-5.02	-6.33	-6.90	-7.05	-7.29	-7.26	-7.35	-6.93
	BS	-0.18	-5.15	-6.55	-7.00	-7.03	-7.25	-7.28	-7.19	-6.73
	BSF1	-0.12	-5.09	-6.61	-7.07	-7.25	-7.37	-7.46	-7.46	-6.91
	BSF2	-0.24	-4.02	-6.03	-6.88	-7.12	-7.31	-7.31	-7.43	-6.85
	BSF3	-0.25	-4.35	-6.40	-7.09	-7.27	-7.33	-7.40	-7.33	-6.87
	CS	-0.39	-4.33	-6.33	-7.05	-7.20	-7.32	-7.44	-7.29	-6.96
	CSF1	-0.36	-5.62	-6.76	-7.15	-7.30	-7.33	-7.48	-7.42	-7.03
	CSF2	-0.16	-0.67	-0.29	0.26	1.22	1.64	3.43	4.97	6.38
	CSF3	-0.28	-3.12	-5.59	-6.73	-6.91	-7.16	-7.01	-7.10	-6.67
	DS	-0.58	-3.18	-5.73	-6.76	-6.94	-7.10	-7.06	-7.16	-6.64
	DSF1	-0.42	-3.00	-5.68	-6.42	-6.75	-6.87	-6.84	-6.99	-6.48
	DSF2	-0.41	-2.78	-5.59	-6.72	-6.24	-7.13	-7.07	-7.13	-6.78
	DSF3	-0.41	-2.95	-5.72	-6.71	-7.87	-7.17	-7.09	-7.26	-6.42
	ES	-0.41	-5.52	-6.70	-7.31	-7.52	-7.67	-7.58	-7.64	-7.14
	ESF1	-0.40	-5.86	-6.96	-7.53	-7.68	-7.77	-7.77	-7.88	-7.36
ESF2	-0.62	-5.33	-8.38	-7.44	-7.71	-7.74	-8.03	-7.85	-7.33	
ESF3	0.72	-5.05	-5.29	-7.11	-7.29	-7.38	-7.08	-7.47	-6.90	

Çizelge A.8 Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkısız harçların  
ağırlık değişimi %

Numune Kodu	Ağırlık Değişimi %									
	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim	7. Çevrim	8. Çevrim	9. Çevrim	
Kimyasal Katkısız	A	-0.55	-4.71	-5.89	-6.66	-6.66	-6.93	-6.75	-6.87	-6.41
	AF1	-0.48	-5.89	-6.97	-7.32	-7.29	-7.35	-7.29	-7.41	-7.86
	AF2	-0.52	-5.88	-7.04	-7.23	-7.38	-7.38	-7.11	-7.32	-6.80
	AF3	-0.55	-6.39	-7.46	-7.70	-7.70	-7.80	-7.49	-7.58	-7.31
	B	-0.51	-5.31	-6.51	-6.87	-7.02	-7.15	-6.93	-7.05	-6.60
	BF1	-0.42	-4.76	-6.43	-6.99	-6.99	-7.20	-7.02	-7.17	-6.64
	BF2	-0.60	-4.52	-6.21	-6.78	-6.81	-6.99	-6.81	-6.99	-6.39
	BF3	-0.51	-5.19	-6.57	-7.19	-7.16	-7.34	-7.07	-7.25	-6.71
	C	-0.68	-2.56	-5.95	-6.66	-6.75	-6.87	-6.75	-6.75	-6.45
	CF1	-0.65	-2.65	-6.10	-6.69	-6.83	-6.83	-6.77	-6.77	-6.36
	CF2	-0.38	-4.45	-6.92	-7.38	-7.53	-7.50	-7.44	-7.56	-7.21
	CF3	-0.68	-3.51	-6.58	-6.90	-6.93	-6.96	-6.84	-6.78	-6.31
	D	-0.63	-3.11	-4.96	-6.18	-6.54	-6.78	-6.63	-6.66	-6.33
	DF1	-0.54	-2.16	-5.29	-6.37	-6.34	-6.70	-6.58	-6.61	-5.98
	DF2	-0.40	-1.96	-5.63	-6.58	-6.69	-7.00	-6.82	-6.87	-6.48
	DF3	-0.36	-4.06	-5.73	-6.59	-6.50	-6.85	-6.70	-6.76	-6.29
	E	-0.61	-5.91	-6.88	-7.34	-7.22	-7.34	-7.34	-7.31	-6.70
	EF1	-0.52	-4.76	-6.03	-6.82	-6.79	-6.85	-6.76	-6.73	-5.91
	EF2	-0.36	-6.00	-7.05	-7.44	-7.29	-7.38	-7.17	-7.17	-6.63
	EF3	-0.43	-6.42	-7.55	-7.49	-7.43	-7.40	-7.18	-7.18	-6.51



## EK B

Çizelge B.1 Su içindeki kimyasal katkısız harçların boy değişimi

Numune Kodu		Boy Değişimi						
		2. Hafta	4. Hafta	6. Hafta	8. Hafta	10. Hafta	12. Hafta	14. Hafta
Kimyasal Katkısız	A	0.35	-2.90	-3.06	-4.85	-4.86	-5.68	-5.05
	AF1	0.54	3.02	-24.25	-25.03	-11.24	-11.27	-14.67
	AF2	-0.20	6.14	6.95	6.09	3.96	6.86	7.50
	AF3	-1.39	-10.11	-9.70	-11.30	-11.36	-11.47	-9.46
	B	2.02	-0.83	2.90	1.90	0.59	1.19	3.34
	BF1	4.71	-5.52	-5.54	-7.89	-6.79	-7.65	-6.91
	BF2	0.43	5.38	6.73	6.86	4.91	10.89	9.90
	BF3	6.84	9.33	11.00	7.37	6.83	8.51	5.67
	C	12.50	11.03	11.92	8.69	9.94	9.29	8.57
	CF1	5.91	3.42	2.62	1.71	1.32	0.48	1.43
	CF2	3.00	2.59	3.83	3.31	1.80	1.59	3.82
	CF3	12.63	12.41	12.65	8.98	10.78	12.60	9.22
	D	-2.04	3.20	2.48	1.30	-0.45	0.68	2.14
	DF1	-3.21	0.63	2.97	3.15	0.52	2.93	5.72
	DF2	4.56	-9.12	-7.06	-10.23	-9.68	-10.13	-9.23
	DF3	2.06	-0.43	-1.63	-2.89	-3.00	-4.68	-2.63
	E	8.95	7.01	9.11	6.38	7.47	6.60	6.30
	EF1	7.37	6.33	6.17	3.15	3.72	3.08	3.71
	EF2	1.84	1.30	1.93	1.90	0.05	0.01	1.81
	EF3	2.72	3.63	3.25	2.71	1.76	1.67	6.63

Çizelge B.2 Su içindeki kimyasal katkı harçların boy değişimi

Numune Kodu	Boy Değişimi							
	2. Hafta	4. Hafta	6. Hafta	8. Hafta	10. Hafta	12. Hafta	14. Hafta	
Kimyasal Katkılı	AS	1.17	-2.79	-3.28	-4.42	-1.45	-4.18	0.99
	ASF1	0.43	1.62	-0.22	-0.20	1.39	-1.60	1.54
	ASF2	0.09	-3.83	-4.45	-5.21	-2.79	-5.39	-3.70
	ASF3	1.21	3.67	-0.07	-0.18	1.90	-1.66	1.88
	BS	1.20	-3.28	-3.81	-5.10	-2.81	-5.19	-3.62
	BSF1	0.13	12.14	11.43	11.30	11.41	10.44	12.74
	BSF2	0.63	-9.51	-6.88	-8.48	-9.41	-9.88	-8.72
	BSF3	1.76	13.07	12.64	12.22	13.22	12.30	7.98
	CS	-0.53	1.68	-1.15	-0.58	0.38	-2.04	1.12
	CSF1	3.14	-6.18	-5.77	-8.15	-4.05	-5.71	-5.62
	CSF2	1.98	-4.43	-1.76	-4.12	-1.95	-1.13	-2.42
	CSF3	0.23	1.38	4.64	0.78	0.33	0.04	1.07
	DS	7.30	9.53	10.17	8.21	10.28	10.23	10.49
	DSF1	-4.65	-9.45	-14.53	-16.97	-13.31	-18.22	-15.46
	DSF2	1.43	2.07	-0.02	0.11	1.19	-1.70	1.45
	DSF3	0.72	2.69	0.97	0.34	1.01	2.92	2.34
	ES	2.80	-6.63	-6.62	-9.11	-4.45	-7.06	-6.69
	ESF1	2.33	-1.90	5.93	3.76	7.76	6.06	6.07
	ESF2	0.63	-3.23	4.97	3.19	6.49	5.24	5.33
ESF3	1.39	-1.69	-3.03	-2.78	-1.39	-3.69	-2.02	

Çizelge B.3 Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkıli harçların boy değışimi

Numune Kodu		Boy Değişimi					
		1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim
Kimyasal Katkılı	AS	-3.11	-0.26	-3.41	-4.66	-3.12	-4.68
	ASF1	-0.87	-1.53	-0.76	13.88	18.18	16.97
	ASF2	0.07	-6.26	-6.16	-7.37	-4.20	-5.52
	ASF3	-1.37	-6.39	-5.57	1.57	4.14	4.19
	BS	0.21	1.95	2.39	0.54	4.14	4.69
	BSF1	-0.61	1.29	1.39	-0.10	3.88	3.58
	BSF2	0.27	-2.77	-0.80	-2.17	-2.42	0.34
	BSF3	-3.00	1.21	6.04	0.39	2.68	1.50
	CS	-0.01	-3.74	-1.91	-0.38	-2.32	-4.65
	CSF1	-0.54	-3.55	-2.64	-3.71	-2.25	-4.08
	CSF2	0.06	-3.22	-1.77	-4.43	-2.30	-4.04
	CSF3	0.17	-1.94	-1.28	-4.32	-2.56	-4.05
	DS	0.16	8.91	9.27	17.37	18.72	19.26
	DSF1	-0.39	-1.58	-3.04	-1.05	-1.07	-0.58
	DSF2	0.12	-7.98	-3.64	-7.93	-4.91	-6.29
	DSF3	0.04	-10.58	-10.00	-11.26	-7.34	-7.80
	ES	-0.27	6.42	-0.84	-1.25	-1.06	-0.60
	ESF1	-2.76	-10.78	-10.78	-10.81	-7.66	-7.84
ESF2	-0.58	3.74	5.06	11.68	14.72	15.12	
ESF3	0.86	-9.92	-9.78	-10.44	-7.90	-7.86	

Çizelge B.4 Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkısız harçların boy değişimi

Numune Kodu		Boy Değişimi					
		1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim
Kimyasal Katkısız	A	0.33	-0.97	-0.79	-4.23	0.66	-0.44
	AF1	0.26	-2.51	-8.00	-4.14	0.26	-0.89
	AF2	-0.14	3.34	2.46	-0.10	2.22	2.98
	AF3	4.20	3.72	3.76	1.42	3.54	4.78
	B	0.97	1.16	0.34	0.81	0.71	-15.81
	BF1	-0.33	-1.18	13.29	12.06	7.97	7.98
	BF2	0.85	-2.70	-1.84	-3.72	-0.41	-0.83
	BF3	-0.74	-3.40	-1.93	-4.75	-1.51	-1.59
	C	-2.46	-8.77	-7.91	-9.73	2.34	1.69
	CF1	-0.91	-7.38	-6.31	-8.78	-6.25	-7.16
	CF2	0.78	1.13	1.14	0.86	-0.24	2.96
	CF3	0.80	0.12	0.58	-1.17	3.76	7.62
	D	2.18	3.44	1.75	2.15	0.52	3.40
	DF1	3.54	4.15	3.50	2.84	2.71	8.62
	DF2	-1.08	-8.02	-7.40	-5.69	6.06	1.80
	DF3	0.10	-2.35	-4.56	-4.55	-1.14	-1.22
	E	-2.54	-7.67	-6.47	-8.98	-3.72	-7.07
	EF1	3.63	-2.65	-1.38	-4.76	1.14	-3.02
EF2	-4.60	6.69	5.20	19.43	15.00	16.59	
EF3	-1.86	-8.85	-7.50	-10.54	-4.49	-7.81	

Çizelge C.1 Su içindeki kimyasal katkısız harçların ultrases hızı %

Numune Kodu		Ultrases Geçiş Hızı %						
		2. Hafta	4. Hafta	6. Hafta	8. Hafta	10. Hafta	12. Hafta	14. Hafta
Kimyasal Katkısız	A	32.05	34.69	36.17	36.40	36.63	35.03	35.83
	AF1	30.16	35.73	37.90	37.67	38.01	38.02	37.90
	AF2	21.26	26.77	27.31	27.09	28.61	28.18	27.32
	AF3	27.32	38.45	39.28	39.40	40.07	39.52	38.98
	B	30.67	36.60	37.76	37.99	38.70	37.88	37.53
	BF1	10.76	19.13	18.63	19.94	20.95	20.84	19.93
	BF2	6.78	14.07	15.71	15.52	16.21	15.62	15.72
	BF3	9.08	12.12	13.99	12.97	13.99	14.85	13.52
	C	4.33	12.63	13.76	13.48	14.05	14.43	13.86
	CF1	2.10	13.11	13.69	14.17	14.55	14.84	13.58
	CF2	4.35	7.56	8.28	7.65	9.56	8.91	8.64
	CF3	13.10	14.69	15.75	15.75	15.75	16.83	15.56
	D	4.96	6.90	8.07	8.43	7.88	8.07	8.43
	DF1	3.04	-1.61	-0.49	-1.06	-0.33	-1.30	0.17
	DF2	6.30	3.38	4.82	4.56	4.65	4.82	4.99
	DF3	3.28	3.62	5.18	4.23	5.63	5.80	5.71
	E	6.06	5.27	6.41	6.15	6.50	6.41	6.61
	EF1	3.16	0.98	1.80	1.31	2.22	0.74	2.14
	EF2	1.99	-0.41	1.57	0.82	2.07	0.40	2.67
	EF3	15.61	16.76	17.74	17.84	18.84	16.24	18.24

Çizelge C.2 Su içindeki kimyasal katkılı harçların ultrases hızı %

Numune Kodu		Ultrases Geçiş Hızı %						
		2. Hafta	4. Hafta	6. Hafta	8. Hafta	10. Hafta	12. Hafta	14. Hafta
Kimyasal Katkılı	AS	7.75	9.81	11.11	10.73	10.37	11.03	10.64
	ASF1	5.39	10.44	12.78	12.02	12.58	12.49	11.83
	ASF2	6.55	7.76	9.90	8.49	9.81	9.99	7.98
	ASF3	2.37	9.80	10.84	9.53	10.83	11.50	10.65
	BS	4.32	6.38	7.52	7.61	8.06	7.43	8.15
	BSF1	5.63	10.39	12.40	12.86	12.30	13.25	12.40
	BSF2	-1.32	4.91	6.05	6.68	6.95	6.49	5.97
	BSF3	-2.97	2.94	3.21	3.83	4.44	4.54	3.83
	CS	-6.61	0.81	1.65	2.26	2.43	2.52	1.65
	CSF1	-6.75	2.96	3.14	3.65	3.92	3.65	3.31
	CSF2	4.29	5.15	7.76	7.32	8.22	7.85	6.87
	CSF3	3.52	2.27	4.38	4.05	4.82	4.82	3.95
	DS	1.80	1.80	3.41	3.85	4.11	3.93	3.33
	DSF1	6.25	3.96	5.00	5.27	5.00	5.27	3.63
	DSF2	4.71	5.50	6.75	6.39	7.11	6.39	6.57
	DSF3	7.54	7.02	8.70	8.08	9.16	9.07	9.17
	ES	5.64	5.03	6.08	5.91	6.79	6.62	5.74
	ESF1	1.08	2.36	2.88	3.31	3.67	2.79	3.41
	ESF2	3.21	3.46	4.77	3.98	5.22	4.95	5.49
	ESF3	1.23	3.27	4.15	3.97	4.95	4.68	3.53

Çizelge C.3 Islanma-kuruma etkisindeki kimyasal katkılı harçların  
ultrases geçiş hızı %

Numune Kodu	Ultrases Geçiş Hızı %									
	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim	7. Çevrim	8. Çevrim	9. Çevrim	
Kimyasal Katkı	AS	5.70	11.28	10.82	12.59	11.38	8.59	12.12	10.73	11.10
	ASF1	2.83	6.76	7.29	8.28	7.57	7.57	7.19	5.64	7.47
	ASF2	3.84	9.42	10.32	11.15	11.06	10.23	11.06	9.42	10.87
	ASF3	5.37	6.41	6.67	7.92	7.12	6.41	7.39	7.03	6.94
	BS	0.72	2.45	2.95	4.15	3.63	2.61	4.15	3.55	3.55
	BSF1	0.16	3.32	3.49	4.52	4.10	3.83	4.88	3.07	2.40
	BSF2	1.77	3.35	4.20	4.46	4.63	4.11	5.16	4.46	4.72
	BSF3	1.88	6.04	6.57	7.56	6.57	6.84	7.29	6.22	6.67
	CS	-1.27	1.07	0.74	1.74	1.91	1.99	1.57	0.66	0.42
	CSF1	0.08	2.08	1.66	3.03	3.38	3.56	2.86	2.34	2.00
	CSF2	0.39	3.58	4.18	5.74	5.13	5.48	5.57	4.78	5.13
	CSF3	0.49	0.66	1.50	1.25	1.75	2.01	1.33	0.99	1.67
	DS	1.34	2.25	3.50	4.62	4.62	4.88	4.89	4.71	3.59
	DSF1	1.33	1.66	2.52	2.34	3.54	3.11	2.36	2.78	2.94
	DSF2	1.41	4.93	4.44	7.23	4.19	8.11	7.15	4.86	6.20
	DSF3	1.62	1.71	2.21	2.46	2.81	3.32	2.98	2.46	2.21
	ES	7.05	8.00	7.30	9.51	9.06	9.24	9.24	8.44	7.14
	ESF1	3.38	5.06	5.41	6.63	6.20	6.46	6.29	6.03	6.11
ESF2	6.19	9.37	9.90	10.62	9.90	10.09	10.89	9.91	9.90	
ESF3	2.62	3.60	4.03	5.47	3.86	5.04	5.30	3.53	4.36	

Çizelge C.4 Islanma-kuruma etkisindeki kimyasal katkısız harçların  
ultrases geçiş hızı %

Numune Kodu	Ultrases Geçiş Hızı %									
	1.Çevrim	2.Çevrim	3.Çevrim	4.Çevrim	5.Çevrim	6.Çevrim	7.Çevrim	8.Çevrim	9.Çevrim	
Kimyasal Katkısız	A	1.08	1.58	0.83	2.18	1.93	2.18	1.16	0.66	0.92
	AF1	0.39	3.09	3.09	4.37	4.54	4.12	3.10	2.60	3.69
	AF2	2.02	2.20	2.37	2.62	3.15	3.50	2.62	2.63	3.15
	AF3	3.46	4.32	4.58	5.72	5.98	5.28	5.37	4.15	5.63
	B	9.44	9.98	8.57	11.08	10.90	10.08	10.63	8.73	9.18
	BF1	4.77	7.33	6.53	8.32	8.41	8.14	8.05	7.42	7.88
	BF2	3.93	6.58	5.99	8.26	7.47	7.72	7.20	7.11	7.37
	BF3	4.08	9.34	9.62	10.27	10.00	9.25	9.75	9.36	10.38
	C	0.16	1.42	1.50	1.84	2.35	2.53	1.51	0.67	0.92
	CF1	6.75	6.19	5.75	7.32	7.59	6.19	6.10	5.93	6.54
	CF2	-1.48	4.17	3.92	5.44	5.27	3.20	4.59	4.26	4.52
	CF3	-0.16	3.34	3.42	5.18	5.01	4.42	4.84	4.17	4.25
	D	1.86	4.61	5.03	6.05	5.54	5.62	5.29	4.70	4.95
	DF1	1.01	1.80	1.97	2.47	2.81	2.98	2.05	1.98	2.05
	DF2	1.67	2.74	2.67	4.34	4.60	4.96	3.92	3.69	3.63
	DF3	1.76	2.55	2.08	3.23	3.83	2.89	3.40	3.06	3.24
	E	1.07	4.84	4.33	5.70	5.62	3.90	5.10	4.08	3.98
	EF1	3.27	8.79	6.46	8.80	8.29	7.30	9.09	7.74	8.40
	EF2	3.14	8.37	8.03	9.61	6.75	6.91	9.17	8.20	8.73
	EF3	0.70	5.00	4.65	6.48	5.00	5.51	5.51	5.17	6.39



Çizelge C.5 Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkı harçların  
ultrases geçiş hızı %

Numune Kodu	Ultrases Geçiş Hızı %									
	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim	7. Çevrim	8. Çevrim	9. Çevrim	
Kimyasal Katkılı	AS	6.07	-1.14	-2.78	-3.22	-3.00	-5.06	-6.33	-4.42	-4.42
	ASF1	4.44	-3.13	-5.67	-5.96	-6.99	-6.65	-8.08	-8.09	-8.81
	ASF2	2.08	-6.89	-6.82	-7.66	-8.76	-8.42	-9.92	-8.97	-8.50
	ASF3	3.45	-5.97	-6.55	-7.11	-7.75	-7.31	-8.70	-8.23	-8.21
	BS	2.13	-5.64	-7.31	-6.07	-6.20	-6.41	-7.79	-7.44	-6.41
	BSF1	7.28	-3.09	-3.46	-3.01	-3.09	-4.93	-5.00	-4.85	-4.37
	BSF2	7.19	0.41	-1.39	0.02	-0.73	-3.51	-2.58	-2.80	-3.44
	BSF3	6.07	-1.22	-3.02	-2.93	-3.00	-4.16	-3.59	-4.60	-4.15
	CS	6.24	0.17	-0.57	-0.82	-2.15	-1.79	-3.54	-3.24	-3.30
	CSF1	1.53	-4.83	-5.87	-6.69	-7.30	-7.41	-7.90	-7.83	-9.21
	CSF2	1.27	-2.62	-3.50	-7.72	-9.27	-13.73	-14.59	-16.19	-24.00
	CSF3	3.32	-1.42	-3.34	-5.88	-5.19	-6.06	-7.37	-7.22	-6.96
	DS	0.41	-5.40	-6.62	-7.11	-8.83	-7.39	-8.64	-8.50	-8.90
	DSF1	4.08	-1.52	-2.33	-3.56	-2.41	-4.78	-4.01	-4.29	-4.81
	DSF2	1.95	-3.53	-5.85	-4.63	-4.92	-6.83	-6.56	-5.84	-6.76
	DSF3	3.02	-3.74	-5.53	-6.02	-5.53	-6.70	-6.59	-6.32	-6.72
	ES	1.25	-6.37	-8.03	-7.91	-9.19	-8.73	-9.87	-10.23	-9.65
	ESF1	5.24	-2.45	-6.17	-6.57	-6.14	-7.17	-7.42	-8.23	-7.30
	ESF2	3.48	-2.09	-3.73	-5.30	-6.41	-7.84	-6.83	-6.63	-6.77
	ESF3	0.74	-4.31	-6.46	-8.05	-9.01	-9.05	-9.91	-9.64	-9.38

Çizelge C.6 Donma-çözülme etkisindeki kimyasal katkısız harçların  
ultrases geçiş hızı %

Numune Kodu	Ultrases Geçiş Hızı %									
	1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim	4. Çevrim	5. Çevrim	6. Çevrim	7. Çevrim	8. Çevrim	9. Çevrim	
Kimyasal Katkısız	A	-8.18	-16.81	-16.50	-17.25	-18.45	-19.22	-19.86	-19.75	-18.40
	AF1	2.51	-7.82	-7.88	-8.09	-9.32	-9.52	-10.84	-9.65	-9.59
	AF2	4.55	-4.88	-4.74	-4.67	-5.99	-7.28	-9.30	-6.67	-7.14
	AF3	4.35	-5.98	-6.25	-6.33	-6.99	-8.13	-8.25	-7.92	-7.85
	B	1.07	-9.14	-9.13	-9.54	-10.40	-11.18	-11.89	-10.60	-10.47
	BF1	2.11	-7.03	-7.58	-8.46	-9.12	-10.16	-9.90	-11.11	-7.36
	BF2	4.08	-4.96	-5.52	-6.06	-6.79	-7.66	-8.44	-7.73	-5.24
	BF3	11.78	0.98	1.30	1.43	0.11	-1.26	-1.55	-0.07	-1.43
	C	1.73	-5.46	-7.42	-8.98	-8.96	-10.79	-10.58	-9.63	-10.22
	CF1	5.73	-0.89	-3.54	-5.46	-5.45	-6.19	-6.10	-6.43	-3.05
	CF2	9.26	0.88	-0.33	-0.34	-1.41	-2.40	-4.16	-2.39	-4.76
	CF3	7.53	0.68	-2.73	-2.57	-3.55	-3.81	-4.57	-4.36	-4.91
	D	1.50	-5.13	-5.34	-6.53	-7.54	-7.29	-8.03	-7.62	-8.10
	DF1	4.57	-2.37	-3.68	-5.66	-5.65	-6.94	-6.54	-5.24	-7.34
	DF2	6.45	0.13	-2.62	-1.59	-2.07	-4.51	-4.11	-2.94	-5.13
	DF3	8.26	-1.04	-1.41	-1.70	-2.98	-3.54	-4.58	-4.93	-6.08
	E	6.27	-1.31	-3.88	-4.67	-6.26	-6.73	-6.88	-7.07	-4.86
	EF1	6.18	-3.66	-5.36	-7.13	-8.90	-8.51	-8.64	-9.53	-9.07
	EF2	8.41	-1.20	-3.57	-3.77	-5.28	-5.56	-5.72	-5.30	-5.03
	EF3	3.09	-7.73	-9.12	-9.00	-10.28	-10.29	-11.04	-10.73	-11.32

EK D



Şekil D.1 Magnezyum sülfat etkisinde hasar görmüş harçlar



Şekil D.2 Üretilmiş harç numuneleri



Şekil D.3 Terazi



Şekil D.4 Yayılma deneyi



Şekil D.5 Eğilme dayanımı deneyi



Şekil D.6 Basınç dayanımı deneyi



Şekil D.7 Arşimet terazisi



Şekil D.8 Magnezyum sülfat kür havuzu



Şekil D.9 Etüv



Şekil D.10 Boy ölçümü



Şekil D.11 Ultrases hız ölçümü



Şekil D.12 Özgöl ağırlık ölçümü

## KAYNAKLAR

- [1] Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N., Yerlikaya, M., “Betonun performansına göre tasarımında yeni gelişmeler”, İnternet, İstanbul, 2007.
- [2] Aköz, F., “Atmosfer olaylarının hasar etkeni olarak belirlenmesi”, Türkiye Mühendislik Haberleri, 427, (2003), 101.
- [3] Aitcin, P.C., “The durability chatacteristics of high performance concrete: review”, Cement and Concrete Composites, 25, (2003), 409-420.
- [4] Aitcin, P.C., Neville, A., “Su-çimento oranıtısı beton dayanımını nasıl etkiliyor”, Çimento ve Beton Dünyası, 8, 45, (Eylül-Ekim 2003), 45.
- [5] Tan, K., Pu, X., “Strengthening effects of finaly ground fly ash, granulated blast furnace slag, amd their combination” Cement and Concrete Research, 28, 12, (1998), 1819-1825.
- [6] Yörük, Ö., Katkılı ve katkısız çimentoların betonun durabilitesine etkisi, Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (Şubat 2001).
- [7] Fu, X., Hou, W., Zang, C., Li, D., Wu, X., ,“Studies on portland cement with large amount of slag”, Cement and Concrete Research, 30, (2000), 645.
- [8] Özkan, Ö., “Çelikhane ve yüksek fırın cürufu katkılı Portland çimentosunun özellikleri”, İMO Teknik dergi, (2006), 3893-3902.
- [9] Yaprak, H., Şimşek, O., Aruntaş,H.Y., “Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun süper akışkanlaştırıcı katkılı beton özelliklerine etkisi”, İnternet, İstanbul, 2007.
- [10] Li, Z., Ding, Z., “Property improvement of portland cement by incorporating with metakaolin and slag”, Cement and Concrete Research, 33, (2003), 579-584.
- [11] Özkan, Ö., “Atık cam ve yüksek fırın cürufu katkılı harçların özellikleri”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 27, 1, (2007), 87-94.
- [12] Aldea, C., Young, F., Wang, K., Shah, S., “Effects of curing conditions on properties of concrete using slag replacement”, Cement and Concrete Research, 30, (2000), 465.

[13] Demirboğa, R., Türkmen, İ., Karakoç, M.B., “Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral admixed concrete”, Cement and Concrete Research, 34, 12, (Aralık 2004), 2329.

[14] Çelik, K., Kılınçkale, F.M., “Katkı miktarı türünün ve öğütmenin çimentonun dayanım performansına etkileri”, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBAK 2005, (İstanbul 17-19 Kasım 2005).

[15] Akperov, A., Akyüz, S., “Betonun zamana bağlı deformasyonlarının tahmini”, İTÜ Dergisi, 5, 3, (Haziran 2006), 155-164.

[16] Li, Y., Chen, Y., Wei, J., He, X., Zhang, H., Zhang, W., A study on the relationship between porosity of the cement paste with mineral additives and compressive strength of mortar based on this paste”, Cement and Concrete Research, 36, (2006), 1740.

[17] Topçu, İ.B., Boğa, A.R., Demir, A., “Lastikli harç betonlarının dayanıklılık özellikleri”, 6. Ulusal Beton Kongresi, Maslak-İstanbul, (16-17-18 Kasım 2005), 359-368.

[18] Topçu, İ.B., Canbaz, M., “Silis dumanlı betonlarda donma-çözülme etkisinin incelenmesi”, Beton 2004, İstanbul, (10-12 Haziran 2004), 367-375.

[19] Özturan, T., Çeçen, C., “Polimer bazlı onarım harçlarının servis şartları altındaki mekanik davranışın ve dayanıklılığın incelenmesi”,Tübitak intag proje no.617 (193 I 016), 1-49.

[20] Özturan, T., Güneyisi, E., “Yeni tip çimentolar ile üretilen betonların değişik servis şartları altında klorür geçirimsizliğinin ve donatı korozyon aktivitesinin incelenmesi”, TÇMB çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü:8, İstanbul, (2002).

[21] Başkoca, A., Özkul, M.H., Artırma, S., “Effect of chemical admixtures on workability and strength properties of prolonged agitated concrete”, Cement and Concrete Research, 28, 5, (Mayıs 1998), 737.

[22] Yazıcı, H., “Yüksek fırın cürufu katkılı harçların sülfat dayanıklılığının incelenmesi”DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8, 1, (Ocak 2006), 51.

[23] Vuk,T., Gabrovsek, R., Kaugig, V., “The influence of mineral admixtures on sülfate resistance of limestone cement pastes aged in cold MgSO<sub>4</sub> solution”, Cement and Concrete Research, 32, 6, (Haziran 2002), 943-948.

[24] Hekal, E.E., Kishar, E., Mostafa, H., “Magnesium sulfate attack on hardened blended cement pastes under different circumstances”, Cement and Concrete Research, 32, 9, (Eylül 2002), 1421-1427.

[25] Kılınçkale, F.M., “The effect of MgSO<sub>4</sub> and HCL solutions on the strength and durability of pozzolan cement mortars”, Cement and Concrete Research, 27, 12, (1997), 1918.

[26] Hüsem, M., “Geleneksel ve yüksek performanslı betonların basınç ve çekme dayanımlarına donma-çözülmenin etkisi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16, 3, (2003), 503.

[27] Brown, P.W., Hooton, R.D., Clark, B.A., “The co-existence of thaumasite and ettringite in concrete exposed to magnesium sulfate at room temperature and the influence of blast-furnace slag substitution on sulfate resistance”, Cement and Concrete Research, 25, (2003), 939.

[28] Bellmann, F., “Betonda tomasit (CaSiO<sub>3</sub>. CaSO<sub>4</sub>. CaCO<sub>3</sub>. 15H<sub>2</sub>O) oluşumu”, ACResearch, 16, 3, (Temmuz 2004), 89.

[29] Batic, O.R., Milanese, A.C., Maiza, P., Marfil, S.A., “Secondary ettringite formation in concrete subjected to different curing conditions”, Cement and Concrete Research, 30, 9, (Eylül 2000), 1407.

[30] Siedel, H., Hempel, S., Hempel, R., “Secondary ettringite formation in heat treated portland cement concrete: Influence of different W/C ratios and heat treatment temperatures”, Cement and Concrete Research, 23, 2, (Mart 1993), 453.

[31] Chandra, S., Xu, A., “Influence of presaturation and freze-thaw test conditions on length changes of portland cement mortar”, Cement and Concrete Research, 22, 4, (Temmuz 1992), 515.

[32] Demirli, İ.H., Kırma taşla üretilen hazır betonların donma-çözölmeye karşı dayanıklılığının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, (2004).

[33] Tokyay, M., “Yüksek dayanımlı betonların malzeme özelliklerinin belirlenmesi”, Tübitak intag proje no.601, 1-116.

[34] Doğan, Ü.A., Özkul, M.H., “Uçucu küllü betonlarda geçirimsizlik ve basınç dayanımına bağlı optimum karışımların bulunması”, 6. Ulusal Beton Kongresi, Maslak-İstanbul, (16-17-18 Kasım 2005), 339-348.

[35] Smaoui, N. ve ark., “Betonun mekanik özellikleri ve dayanıklılığına alkali ilavesinin etkisi”, CCRResearch, 35, (Şubat 2005), 203.

[36] Güneyisi, E., Özturan, T., Gesoğlu, M., “Katkılı ve katkısız çimentolu betonların değişik kür koşulları altında mekanik özelliklerinin karşılaştırılması olarak incelenmesi”, Çimento ve Beton Dünyası, 8, 45, (Eylül-Ekim 2003), 56.

[37] Kurtz, M.A., Constantiner, D., “ Resistance to freezing and thawing cycles and scaling resistance of very high early strength concrete”, Cement, Concrete and Aggregates, 26, 2, (Dec.2004), 160-164.

[38] Erdoğan, T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Özkan Matbaacılık Gaz. San. Ve Tic. Ltd. Şti., Ankara, (2007).

[39] Özgür, S., Türkiye çimento sanayii ve üretilen çimento türleri, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir,, (1996).

[40] TS EN 197-1, Genel Çimentolar, Bileşim Özellikleri ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2002).

[41] Erdoğan, K., Tokyay, M., Türker., “Traslar ve Traslı Çimentolar”, TÇMB/AR-GE/Y99-2, (Ekim 2003).

[42] Yeğinobalı, A., “Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı”, TÇMB/AR-GE/Y01.01, (Ekim 2003).

[43] Tokyay, M., Erdoğan, K., “Cüruflar ve Cürüflü Çimentolar”, TÇMB/AR-GE/Y99-2, (Ekim 2003).

[44] Mazlum, F., Pirinç kabuğu külünün puzzolanik özellikleri ve külün çimento harcının dayanıklılığına etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (1989).

[45] Yeğinobalı, A., Betonda Kimyasal Katkı Maddeleri, TÇMB Seminer Notları,, Ankara, 1999.

[46] TS EN 934-2, Kimyasal Katkılar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

[47] ACI Committee 116, (116R-90), “Cement and Concrete Terminology”, ACI Manual of Concrete Practice, Part I, (1994).



- [48] Kılınçkale, F. M., Girginkardeşler, S., “Betonun dayanıklılığını etkileyen etkenler”, Hazır Beton, (Eylül-Ekim 2006), 48.
- [49] Yeğınobalı, A., “Betonun dayanıklılığı-I”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü, Ankara, (1999), 1-21.
- [50] Yeğınobalı, A., “Betonun dayanıklılığı-II”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü, Ankara, (1999), 1-17.
- [51] Kaufmann, J., “ Freezing and thawing hysterezis effects in experimental analysis of frost deicing salt resistance of cementitious materials”, Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Barcelona, Spain, (june 4-9, 2000), 678.
- [52] Zhang, m-H., “ The effect of portland cement type on performance”, Concrete international, 25, 1, (2003), 87-94.
- [53] Aitcin, P.C., “ The durability chatacteristics of high performance concrete: review”, Cement and Concrete Composites, 25, (2003), 409-420.
- [54] Kılınçkale, F.M., “ Betonda dayanıklılık”, Türkiye Mühendislik Haberleri, 427, (2003), 32.
- [55] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002 “ Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınlar, 298 no.lu yayın.
- [56] Akman, M.N., 1992, “Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi”, İTÜ Gemi İnşaat ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İTÜ 1481 no.lu yayın.
- [57] Taşdemir, M. A., İMO İnşaat Mühendisleri Odası, Eğitim Semineri.
- [58] Neville, A.M., Brooks, J.J., 1987, “Concrete Technology”, Longman Scientific&Technical.
- [59] Crammond, N.J., “ The thaumasite form of sulfate attack in the UK”, Cement and Concrete Composites, 25, (2003), 809-818.
- [60] French, W.J., “ Sub-aqueous carbonation and the formation of thaumasite in concrete”Proceedings of The Institute of Materials Cement and Concrete Science Conference, Sheffield University, September 2000.
- [61] TS EN 196-1 Çimento Deney Metotları-Bölüm 1:Dayanım

[62] TS EN 196-2 imentonun Kimyasal Analizi

[63] Sika Yapı Kimyasalları AŞ Ürün Kataloğu, (Teknik bilgi föyü 2002-11)

[64] TS EN 1367-2 Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi

[65] Akbulut Ekşi, D., Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine yönelik bir öneri, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).

[66] Gürsoy, M.G., Farklı akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin betonun özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2003).

[67] Tapan, M ., Mimarlıkta değerlendirme, İTÜ Yayınevi, İstanbul, 2004