

*Civil Engineering Articles*  
/  
*İnşaat Mühendisliği Makaleleri*



**SULPHATE PERFORMANCE OF DIFFERENT TYPES OF FLY ASH  
CONCRETE**

**Veysel AKYÜNCÜ\*<sup>1</sup>, Hasan YILDIRIM<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu-TEKİRDAĞ

<sup>2</sup>Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Maslak-İSTANBUL

Received/Geliş: 22.07.2014 Revised/Düzeltilme: 28.08.2014 Accepted/Kabul: 20.09.2014

---

**ABSTRACT**

Fly ash is the waste product of the thermal power plants, where coal is burned for generating electricity. Using fly ash in concrete production is one of the important ways of reducing its negative effects. When fly ash is used alone, it doesn't show binder property. However, if it is added to concrete mixture with cement, it improves the mechanical and durability properties of concrete. In this study, F and C type fly ashes efficiencies and their effects on the mechanical properties and durability of concrete are compared. For this study, 39 different mixtures were produced. Çatalağzı Thermal Plant fly ash (F type), Çayırhan Thermal Plant fly ash (C Type) and CEM I 42,5 R type cement were used as binder. When exposed to magnesium sulphate, control specimens showed higher deteriorations when compared with concretes with fly ash. This also confirmed that fly ash improved the durability properties.

**Keywords:** Fly ash, mechanical properties, strength, flexural strength, sulphate resistance.

**FARKLI TİPTE UÇUCU KÜL KATKILI BETONLARIN SÜLFAT PERFORMANSI**

**ÖZET**

Termik santrallerde elektrik üretiminde kömürün yakılmasıyla açığa çıkan uçucu küllerin olumsuz etkilerini azaltmanın önemli bir yolu da beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılmasıdır. Uçucu küller tek başlarına kullanıldıklarında bağlayıcılık özelliği göstermezler. Beton karışımına çimento ile birlikte eklendiklerinde betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerine olumlu etki ederler. Bu çalışmayla F ve C tipi uçucu küllerin çimentoya ikame edilmesiyle üretilen betonların mekanik özellikleri, etkinlikleri ve dayanıklılığa etkileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Toplamda 39 farklı karışım hazırlanmıştır. Üretimlerde Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü (F tipi), Çayırhan Termik Santrali uçucu külü (C tipi) ile CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Magnezyum sülfat etkisine maruz betonlardan, kontrol betonlarında bozulmalar meydana gelmiş uçucu kül ikameli betonlarda ise kontrol betonlarına göre daha az bozulma meydana gelmiştir. Bu da uçucu küllerin betondaki boşlukları iyi doldurduğunu ayrıca dayanıklılık özellikleri açısından da incelendiğinde olumlu katkılar yaptığını göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Uçucu kül, mekanik özellikler, dayanım, eğilme dayanımı, sülfat dayanımı.

---

**1. GİRİŞ**

Kömürle çalışan termik santrallerden yan ürün olarak uçucu küller ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte günümüzde gerek miktarları gerekse kullanım olanakları bakımından önemli yer tutan atık ürünlerin başında gelmektedirler [1-3].

---

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: vakyuncu@nku.edu.tr, tel: (282) 250 23 89

Kömürün içinde bulunan bazı inorganik maddeler yanma sırasında oluşan yüksek sıcaklıklarla ayrışmakta ve bacadan atılırken soğuyarak küresel tanecikler oluşturmaktadır. Uçucu kül adı verilen bu tanecikler elektrofiltrelerle ve siklonlarla yakalanmaktadır. Bununla birlikte doğrudan atmosfere karışmaları engellenmektedir. Böylece çevre ve hava kirliliği de mümkün olduğunca önlenmiş olmaktadır [4-8].

Uçucu küller TS EN 450'ye göre, pulverize kömürün yakılmasından elde edilen, puzolanik özelliklere sahip, önemli bir kısmı  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'den oluşan, reaktif  $\text{SiO}_2$  içeriği kütlece en az % 25 olan, küresel ve camsı taneciklerin ince tozudur. Ayrıca TS EN 450'ye göre uçucu küller, pulverize edilmiş antrasit, linyit veya bitümlü kömürün yakıldığı fırınların baca gazlarındaki toz benzeri taneciklerin elektrostatik veya mekanik çöktürülmesi ile elde edilir [9-11].

ASTM C 618 standardına göre, uçucu küller C ve F sınıflarına ayrılırlar. F sınıfı uçucu küller, bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi % 70'den fazla olan uçucu küllerdir. CaO yüzdesi % 10'un altında olduğu için düşük kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küllerin bağlayıcılık özellikleri yoktur, puzolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı uçucu küller, linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve toplam  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  yüzdesi % 50'den fazla olan küllerdir. CaO yüzdesi % 10'dan büyük olduğu için yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küllerin puzolanik özelliklerinin yanında bağlayıcılık özellikleri de söz konusu olmaktadır [12-13].

Sülfat, çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olan bir iyondur. Bu saldırı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi, etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünleri betonda genleşme meydana getirerek çatlaklara ve dağılmalara yol açar, agrega-çimento aderansının etkilenmesiyle betonun dayanımı düşer. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleyle yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Betonun kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülür [14-15].

Bu çalışmayla farklı çimento dozajlarında, farklı çimento çıkarım oranlarına ve uçucu kül eklenme oranlarına göre F ve C tipi uçucu küllerin çimentoya ikame edilmesinin mekanik özelliklerinin değişimi, kontrol numuneleriyle aynı basınç dayanımını veren seriler için  $\text{MgSO}_4$  etkisine maruz bırakılması sonucunda dayanıklılık bakımından ne gibi değişikliklerin meydana geldiğinin araştırılması ve çıkan sonuçların karşılaştırması amaçlanmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada agrega olarak doğal kum, kırma kum, kırmataş I ve kırmataş II kullanılmıştır. Doğal kum Kemerburgaz-Akpınar Köyü'nden, diğer agregalar ise İstanbul-Cebeci yöresi'nden temin edilmiştir. Agregaların birim ağırlıkları TS 3529'a, özgül ağırlıkları ise TS EN 1097-6'ya uygun olarak belirlenmiş, sonuçlar Çizelge 1'de gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan agregaların, TS 3530 EN 933-1'e göre yapılmış elek analizi sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Agregaların birim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri

Malzeme	Birim ağırlık ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )	Özgül ağırlık
Doğal kum	1.45	2.66
Kırma kum	1.56	2.69
Kırmataş I	1.45	2.69
Kırmataş II	1.39	2.71

**Çizelge 2.** Agregaların elek analizi sonuçları

Agrega Cinsi	Elek Açıklığı (mm)								İncelik Modülü
	Elekten Geçen Malzeme Yüzdesi (%)								
	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25	
Doğal Kum (% 25)	100	100	100	100	99	99	98	11.6	0.92
Kırma Kum (% 19)	100	100	100	79	47	31	21	10.2	3.12
Kırmaş I (% 29)	100	100	61	11	4	3.4	0.5	0	5.20
Kırmaş II (% 27)	100	49	0.3	0	0	0	0	0	6.51

Beton serilerinin tamamında, Akçansa Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun ve uçucu küllerin kimyasal özelliklerini gösteren deneyler Akçansa Çimento Fabrikasında yaptırılmış olup, sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Çalışmada kullanılan uçucu küller, Çayırhan Termik Santralinden elde edilen C tipi uçucu kül ve Çatalağzı Termik Santralinden elde edilen F tipi uçucu küllerdir. Kullanılan Uçucu küller ASTM C 618'e göre incelendiğinde Çayırhan Termik Santrali C sınıfı puzolan ve Çatalağzı Termik Santrali F sınıfı puzolan olarak kabul edilmektedir. Uçucu küllerin kimyasal, fiziksel ve puzolanik özelliklerini gösteren deneyler Akçansa Çimento fabrikasında yapılmıştır. Bu deneylere ait veriler, Çizelge 3, 4 ve 5'de görülmektedir.

**Çizelge 3.** CEM I 42.5 çimentosu ve uçucu küllerin kimyasal bileşimleri

Kimyasal Bileşimin Tanımı	CEM I 42.5	Uçucu kül	
		Çatalağzı	Çayırhan
SiO <sub>2</sub>	20.63	58.58	46.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.71	23.40	13.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.41	6.97	8.26
CaO	63.64	1.55	15.11
MgO	1.24	2.76	6.68
SO <sub>3</sub>	2.98	0.45	4.26
Cl	0.0357	0.0319	0.0638
Na <sub>2</sub> O	0.23	0.46	2.13
K <sub>2</sub> O	0.91	4.11	2.78

**Çizelge 4.** Çatalağzı ve Çayırhan uçucu külünün fiziksel özellikleri

Uçucu kül tipi		Çatalağzı	Çayırhan
Özgül Ağırlık		1.84	2.34
Hacim Sabitliği (Le Chatelier) Toplam (mm)		1	1
İncelik	Özgül Yüzey (Blaine) cm <sup>2</sup> /gr	2.165	2.100
	90 um elek üstünde kalan yüzde (%)	15.1	24.8
	45 um elek üstünde kalan yüzde (%)	41.4	42.3

**Çizelge 5.** Çatalağzı ve Çayırhan uçucu külünün puzolanik aktivitesi

Gün	Aktivite Endeksi (%)		TS EN 450
	Çatalağzı	Çayırhan	
28	78	83	> 75

## 2.2. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme deneyi 7/7/28 cm boyutundaki prizma numunelerde yapılmış, eğilmeye çekme dayanımı (fe, MPa) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$f_e = 1,5(P \cdot L)/b^3$$

**Çizelge 6.** C Tipi Uçucu Kül İkameli Betonların Kodlanması

BETON KODU	ÇİMENTO	EKSİLTİLEN	UÇUCU	EKLENEN
C260 (%0K0)	260	0	0	0
C234C39 (%10K1,5)	234	10	39	15
C234C52 (%10K2)	234	10	52	20
C234C65 (%10K2,5)	234	10	65	25
C216C44 (%17K1)	216	17	44	17
C216C66 (%17K1,5)	216	17	66	25.5
C21688 (%17K2)	216	17	88	34
C320 (%0K0)	320	0	0	0
C288C32 (%10K1)	288	10	32	10
C288C48 (%10K1,5)	288	10	48	15
C288C64 (%10K2)	288	10	64	20
C266C54 (%17K1)	266	17	54	17
C266C81 (%17K1,5)	266	17	81	25.5
C266C108 (%17K2)	266	17	108	34
C400 (%0K0)	400	0	0	0
C360C40 (%10K1)	360	10	40	10
C360C60 (%10K1,5)	360	10	60	15
C360C80 (%10K2)	360	10	80	20
C332C68 (%17K1)	332	17	68	17
C332C102(%17K1,5)	332	17	102	25.5
C332C136 (%17K2)	332	17	136	34

(C234C52) ; 260 dozajlı karışımdan % 10 oranında çimento çıkarılmış, yerine % 20 oranında C tipi uçucu kül eklenmiş demektir.

### **2.3. Basınç Dayanımı Deneyi**

Küp numunelerde 28. ve 90. günlerde TS EN 12390-3'a uygun olarak basınç deneyi yapılmış, kırma yükü belirlenmiştir. Basınç dayanımı, kırma yükünün basınç yükünün uygulandığı kesit alanına oranlanması ile hesaplanmıştır.

### **2.4. Sülfat Etkisi Deneyi**

Farklı bileşimlerdeki F ve C Tipi uçucu küllü betonlar ile uçucu külsüz kontrol betonların basınç dayanımlarının karşılaştırılması sonucu yaklaşık aynı basınç dayanımını veren seriler için deney numunelerinin sülfat dirençlerini belirlemek amacıyla 7/7/28 cm'lik prizma numuneler, sülfat etkisi deneyleri için % 15 MgSO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde 1 yıl boyunca bekletilmiştir. Zamanla deney numunelerinin bünyesinde bulunan kirecin çözünmesi nedeniyle çözeltilerin pH değerleri yükselmiştir. Bu yüzden çözeltiler 30 günde bir yenilenmiştir. Her seri için 3 adet numuneye boy değişimlerinin ölçülmesi için 2 adet pim yerleştirilmiş, bu numuneler MgSO<sub>4</sub> çözeltisine maruz bırakılmış, ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla 3 adet numune de 23±2 °C sıcaklıkta kirece doymuş su içerisinde bekletilerek 1 yıl boyunca standart küre tabii tutulmuştur. Deney numuneleri üretim tarihinden itibaren 90. günde sülfat etkisine maruz bırakılmıştır. Numunelerin sülfat etkisine maruz bırakılmadan önce ölçülmüş ve ayda bir MgSO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde çıkarılarak pimler arası boy değişimleri takip edilmiştir. Numuneler 1 yıl boyunca MgSO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde bekletildikten sonra, boy değişimi ve eğilme dayanımı değişimleri belirlenmiş, bu değerler normal su içerisinde bekletilen numunelerden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda farklı bileşimlerde üretilen deney numunelerinin sülfatlı ortamlara maruz bırakıldıklarında nasıl bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

## **3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME**

### **3.1. Basınç Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Çizelge 7'de verilmiş olan basınç dayanımı deney sonuçlarından, 28 günlük F tipi ve C tipi uçucu kül ikameli serilerin beton basınç dayanımları kendi içlerinde karşılaştırıldığında 28 günlük C tipi uçucu kül ikameli olanlar kontrollere yakın veya üzerinde değerler verirken 28 günlük F tipi uçucu kül ikameli betonlar C tipi uçucu kül ikameli olanlarla karşılaştırıldığında daha düşük basınç dayanımı sonuçları vermiştir. 90 günlük beton basınç dayanımlarına bakıldığında hem F tipi uçucu kül ikameli hem de C tipi uçucu kül ikameli serilerin kontrol numuneleri yakalayıp geçtiği görülmüştür. Özellikle F tipi uçucu kül ikameli betonların 90 günlük basınç dayanımı performanslarının 28 günlük performanslarına oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca uçucu küllü betonların 28. günden 90. güne basınç dayanımı gelişim hızları kontrol betonunkinden daha yüksektir.

Çizelge 7. C ve F tipi uçucu kül ikameli ve kontrol betonların en yakın basınç dayanımını veren değerler

No	Beton Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)		No	Beton Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Küp				Küp	
		28. Gün	90. Gün			28. Gün	90. Gün
1	C260	40.2	46.2	1	C260	40.20	46.20
2	C234UKC39	40.5	47.00	2	C234F39	38.75	44.45
3	C234UKC52	41.30	49.50	3	C234F52	40.25	47.87
4	C234UKC65	42.5	50.10	4	C234F65	39.25	46.93
5	C216UKC44	38.70	45.20	5	C216F44	36.49	44.55
6	C216UKC66	39.80	46.40	6	C216F66	38.14	46.21
7	C216UKC88	41.20	48.70	7	C216F88	40.06	48.39
8	C320	47.81	54.8	8	C320	47.81	54.8
9	C288UKC32	48.60	55.9	9	C288F32	46.81	55.02
10	C288UKC48	50.80	57.50	10	C288F48	48.23	57.31
11	C288UKC64	50.50	56.90	11	C288F64	46.69	54.76
12	C266UKC54	48.20	55.5	12	C266F54	45.90	52.33
13	C266UKC81	50.50	57.40	13	C266F81	46.23	53.95
14	C266UKC108	51.20	59.80	14	C266F108	47.52	55.76
15	C400	60.5	72.3	15	C400	60.50	72.30
16	C360UKC40	57.9	68.9	16	C360F40	57.76	71.65
17	C360UKC60	60.8	72.8	17	C360F60	61.10	75.06
18	C360UKC80	63.2	73.8	18	C360F80	63.31	73.42
19	C332UKC68	58.8	68.6	19	C332F68	55.27	69.79
20	C332UKC102	60.10	72.00	20	C332F102	58.44	71.72
21	C332UKC136	62.90	73.10	21	C332F136	61.12	74.94

### 3.2. Boy Değişimi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

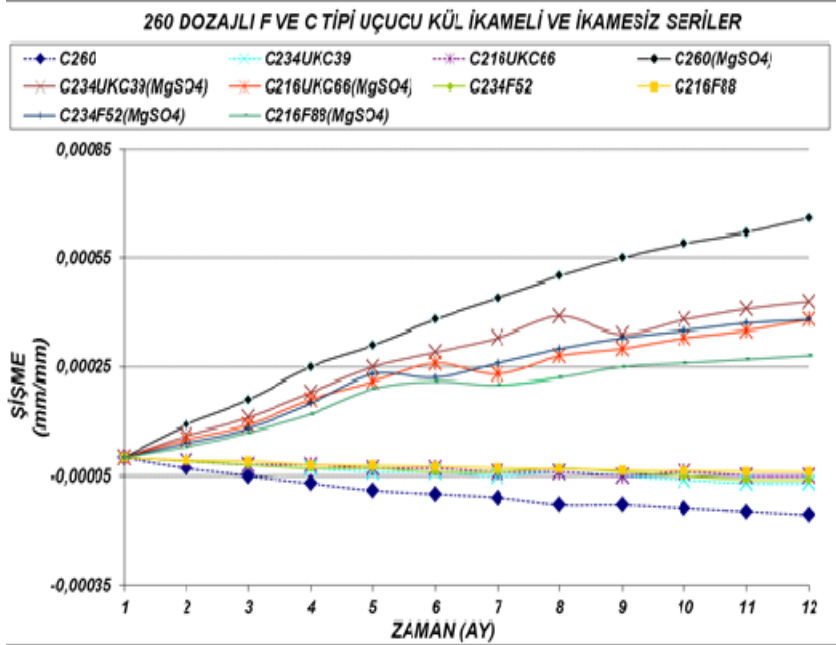
Şekil 1, 2 ve 3 incelendiğinde magnezyum sülfat çözeltisi içerisinde ve suda bekleyen karşılaştırma numunelerinin zamanla boy değişimi oranları gösterilmektedir. Boy değişim ölçümleri yapılmadan önce numuneler havuzlardan çıkartılarak kuru hale getirilmişlerdir.

Şekil 1'de 260 dozajlı betonlar (F ve C Tipi uçucu kül ikameli ve kontrol numuneler) F ve C tipi ikameli olanlar 0.00028-0.00043 aralığında boy değişimi artışı olurken kontrol numunede 0.00066 oranında artış meydana gelmiştir.

Kontrol numuneler kendi içinde karşılaştırılacak olursa 260 dozajlıda 0.00066 oranında, 320 dozajlıda 0.00092 oranında, 400 dozajlıda 0.0011 oranında artış meydana gelmiştir. Burada en fazla boy değişimi en yüksek dozajlıda meydana gelmiştir. 320 dozajlılara bakıldığında F ve C tipi ikameli betonlardan en düşük boy değişimi artışı 0,00048 ile C266F108 nolu F tipi ikameli seride meydana gelmiştir.

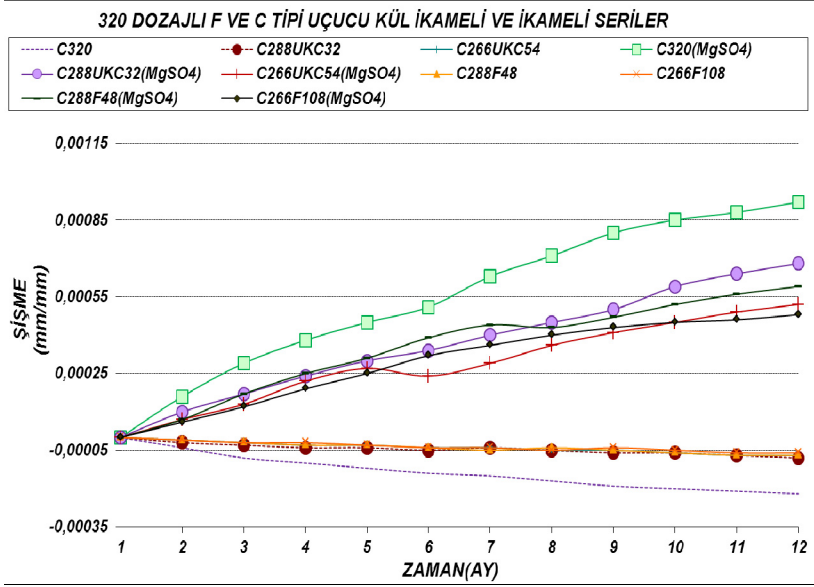
400 dozajlılara bakıldığında F ve C tipi ikameli betonlardan bütün serilerde en düşük boy değişimi artışı 0.00064 ile C332F136 nolu F tipi ikameli seride meydana gelmiştir. F Tipi uçucu külün hacmi C tipinden daha fazla olduğundan boşlukları daha iyi doldurmuştur.

Bir puzolanın bağladığı  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarı, puzolanın aktif fazlarının içerisindeki  $\text{SiO}_2$  miktarı ile ilişkilidir. Bir puzolandaki  $\text{CaO/SiO}_2$  oranı arttıkça C-S-H azaldığından dolayı bu oran C Tipi uçucu kül ikamelilerde 0.32 iken F tipi ikamelilerde 0.02 mertebesinde olduğundan F Tipi ikameli karışımlarda C-S-H oranı yüksek olduğundan sülfata karşı en iyi direnç gösteren kül olmuştur.

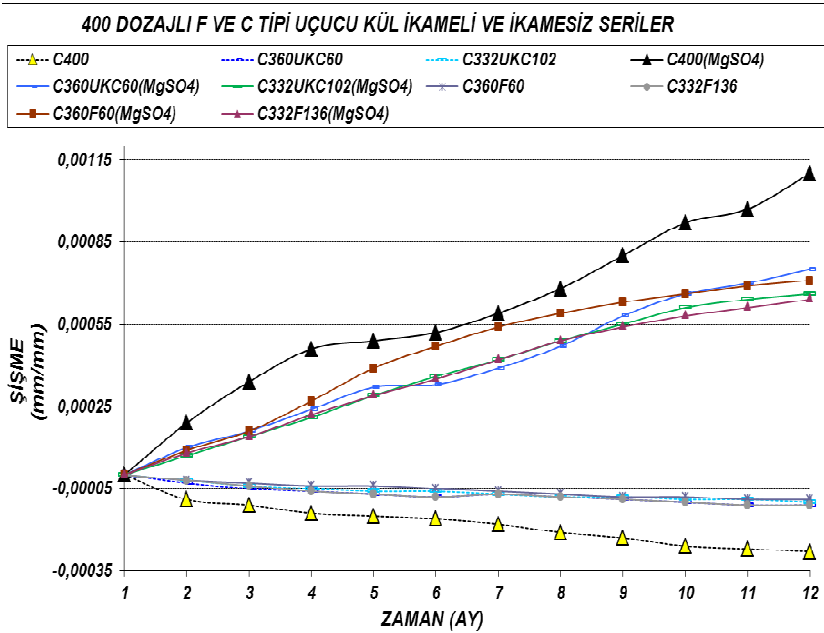


Şekil 1. Sülfat etkisi altında 260 dozajlı F ve C tipi boy değişimi – zaman grafiği [6]





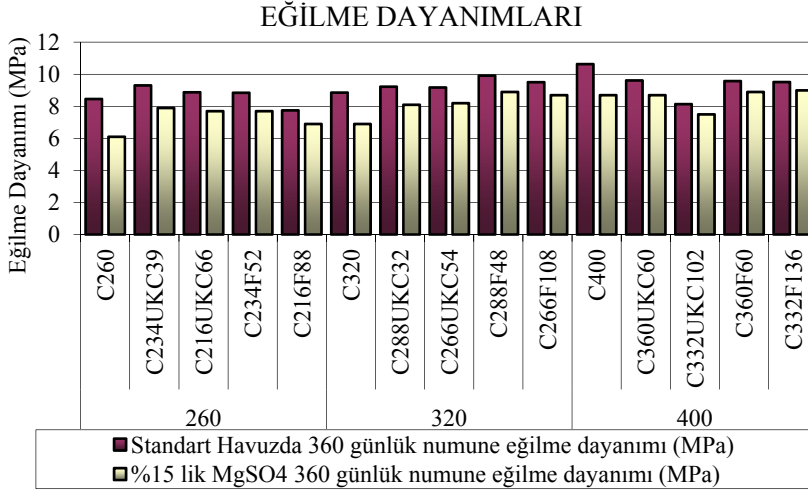
Şekil 2. Sülfat etkisi altında 320 dozajlı F ve C tipi boy değişimi – zaman grafiği[6]



Şekil 3. Sülfat etkisi altında 400 dozajlı F ve C tipi boy değişimi – zaman grafiği[6]

### 3.3. Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

En yüksek eğilme dayanımı kaybı  $MgSO_4$  çözeltilisinde bekleyen 260 dozajlı kontrol numunede meydana gelmiştir. 400 dozajlı C332F136 kodlu F tipi uçucu kül ikameli beton,  $MgSO_4$  etkisi altında standart havuzda bekleyen karşılaştırma numunesine göre % 5 eğilme dayanımı kaybıyla tüm serilerin içinde  $MgSO_4$  etkisi altında en iyi sonucu vermiştir. 260, 320, 400 dozajlı kontrol numunelerde en büyük eğilme dayanımı kaybı meydana gelmiştir. % 17 çimento çıkarım oranına sahip karışımlar % 10 çimento çıkarım oranlılara göre daha az eğilme dayanımı kaybına uğramıştır. 260, 320, 400 dozajlı betonları % 10 çimento çıkarımlı serilerin hem F tipi hem de C tipi uçucu kül ikameli betonlarda benzer eğilme dayanımı kaybına uğramışlardır. Çimento dozajı arttıkça eğilme dayanım kaybı azalmıştır.



Şekil 4. Sülfat etkisi altında kalmış ve standart havuzda bekleyen numunelerin eğilme dayanımı değerleri [6]

## 4. SONUÇLAR

1.  $MgSO_4$  çözeltilisi içinde 12 ay boyunca bekleyen 260 dozajlı F ve C tipi uçucu kül ikameli ve kontrol numunelerde sülfat etkisi direncinin 320 ve 400 dozajlılara göre daha az olduğu görülmüştür. Ancak aynı dozajda uçucu kül ikameli olanların kontrollere göre performansı daha iyi olmuştur. Özgül ağırlık farkından dolayı aynı ağırlıktaki F tipi uçucu kül, C tipine göre daha fazla hacimdedir. Bu nedenle incelikleri birbirine yakın olmasına rağmen F tipi uçucu kül daha fazla boşluk doldurabilmektedir. Bu da F tipi uçucu kül ikameli betonların boşluk miktarına bağlı olarak sülfat dayanıklılığı hususunda daha iyi sonuçlar vermesine neden olmuştur.

2. Kontrol numuneler kendi içinde karşılaştırılacak olursa 260 dozajlıda 0.00066, 320 dozajlıda 0.00092, 400 dozajlıda 0.0011 oranında boy artışı meydana gelmiştir. Burada en fazla boy değişimi en yüksek dozajlıda meydana gelmiştir.  $Ca(OH)_2$  miktarı yüksek dozajlı beton serilerde daha fazla olduğu için meydana gelen genişleme de o derece büyük olmuştur.

3.  $MgSO_4$  çözeltilisi içinde 12 ay boyunca bekleyen 260, 320, 400 dozajlı kontrol numunelerde en büyük eğilme dayanımı kaybı meydana gelmiştir. En yüksek eğilme dayanımı kaybı magnezyum sülfat etkisindeki 260 dozajlı kontrol numunede meydana gelmiştir. 400 dozajlı C332F136 kodlu F tipi uçucu kül ikameli beton, magnezyum sülfat etkisi altında standart

havuzda bekleyen karşılaştırma numunesine göre % 5 kayıpla tüm serilerin içinde sülfat etkisi altında en iyi sonucu vermiştir.

4.  $MgSO_4$  çözeltisi içinde 12 ay boyunca bekleyen % 17 çimento çıkarım oranına sahip karışımlar % 10 çimento çıkarım oranlılara göre daha az eğilme dayanımı kaybına uğramıştır. 260, 320, 400 dozajlı betonları % 10 çimento çıkarımlı serilerin hem F tipi hem de C tipi uçucu kül ikemeli betonlarda benzer eğilme dayanımı kaybına uğramışlardır. Çimento dozajı arttıkça eğilme dayanım kaybı azalmıştır.

5. Uçucu küllerin betonda kullanılması mekanik ve dayanıklılık özellikleri açısından yararlı olmuştur. Özellikle F tipi uçucu külün C tipi uçucu küle oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş, bu konuda ileride farklı incelik veya puzolanik özelliklere sahip uçucu küller kullanılarak araştırmalar yapılmalıdır.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Anuk, O., Cem I 42.5 çimentolu düşük dozajlı betonlarda F tipi uçucu külün etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 2004.
- [2] Özturan, T., Yüksek mukavemetli beton üretiminde mineral katkı maddelerin etkinliği, 2. Ulusal Beton Kongresi, Ankara, Türkiye, pp. 280-291, 1991.
- [3] Postacioğlu, B., Bağlayıcı Maddeler Cilt-1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1986.
- [4] ASTM C 618, "Specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete" 1991.
- [5] Tokyay, M., Erdoğan, K., Türker, P., Traslara ve Traslı Çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, 63 s, 2005.
- [6] Akyuncu, V., F ve C tipi uçucu küllerin çimento ile ikame edilmesiyle üretilen betonların mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin karşılaştırılarak incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2012.
- [7] Baykal, G., Özturan T., Savaş M. ve Ramadan K., Uçucu Külün İnşaat Mühendisliğinde Bazı Kullanım Olanakları, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara, ss. 89-99, 1993.
- [8] Erdoğan, T., Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara, ss. 1-8, 1993.
- [9] TS EN 450, Uçucu kül, betonda kullanılan tarifler, özellikler ve kalite kontrolü, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1998.
- [10] Karayiğit, A. ve Onacak, T., Çayırhan Termik Santrali Uçucu Küllerinden Zeolit Elde Edilmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, YDAPÇAG-534 nolu proje, 188 s, 1999.
- [11] Berry, E. E. and Malhotra, V. M., Fly Ash in Concrete, Energy, Mines and Resources Canada: CANMET, Ottawa, pp. 223-229, 1986.
- [12] TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [13] ASTM C 618, Specification for fly ash & raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete, 1978.
- [14] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Betonarme yapılarda kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 282 s., 2002.
- [15] Neville, A.M., The confused world of sulfate attack on concrete, Cement and Concrete Research, Vol.34, pp.1275-1296, 2004.