

# İKİ FARKLI PUZOLANİK KATKININ SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

## COMPARISON THE EFFECTS OF TWO DIFFERENT POZZOLANS TO HARDENED CONCRETE

İlhami DEMİR<sup>a,\*</sup>, Muhammed Yasin DURGUN<sup>b</sup>, Demet KURT<sup>c</sup>

<sup>a,\*</sup> Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, E-Posta: ildemir@kku.edu.tr

<sup>b</sup> Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, E-Posta: mydurgun@yahoo.com

<sup>c</sup> Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye, E-Posta: demetkr@hotmail.com

### Özet

Günümüzde doğal kaynakların hızla tükenmesi engellenememektedir. Bu sebeple endüstriyel atıkların beton sektöründe kullanılması üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada iki farklı endüstriyel atık olan, aynı zamanda puzolanik özellikleriyle inşaat sektörüne yakın özellik gösteren uçucu kül ve silis dumanının sertleşmiş beton üzerine olan etkileri incelenmiştir. Betonda %5,10,15,20 ve 25 oranlarında bu malzemelerden çimento yerine ikame edilmiştir. 7. ve 28. günlerdeki dayanım özellikleri incelenmiş ve katkısız beton özelliklerine göre daha kaliteli sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Silis Dumanı, Uçucu Kül, Beton, Dayanım

### Abstract

At present days we are not able to avert the consuming of the naturel sources. For this reason, studies on using industrial wastes have been carried out. In this study, the effects on hardened concrete of fly ash and silica fume, which are two different industrial wastes, and at the same time showing similar properties to the concrete sector, have been examined. In concrete, 5%, 10%, 15%, 20% and 25% from these materials were replaced with cement. The strength properties on 7th and 28th days were examined and compare with pure concrete properties, more qualified results were obtained.

**Key Words:** Silica Fume, Fly Ash, Concrete, Strength

### 1. Giriş

Türkiye'de elektrik enerjisi, kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda bunlara üçüncü olarak doğalgaz santralleri de katılmıştır. Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere, uçucu kül (UK) adı verilmektedir [1]. Çevreyi olumsuz etkileyecekleri için, uçucu küllerin santral bacasından çıkarak havaya karışmaları önlenir. Bu amaçla, küller mekanik ve elektrostatik yöntemle toplanarak santral çevresinde veya başka uygun yerlerde depolanır. Zamanla biriken küller geniş alanları kapsamaya başlar ve santral idaresi için bir problem olur [2].

Uçucu Küllerin özellikleri genel itibariyle kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak değişiklik gösterir. Genelde silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı malzemesi olarak yararlı olur. İnce ve küresel tanecikleri dolayısı ile taze betonda işlenebilirliği artırır. Çimento hidratasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur, linyit kömürünün yakılması ile elde edilen uçucu külde kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik, yani bağlayıcılık özelliği gösterirler [2]. Çimento içerisindeki boşlukları doldurur ve hidratasyon ısısını düşürüp, betonda erken yaşlardaki çatlaklarının oluşumunun engellenmesi için kullanılır. Bu şekilde beton yapıların uzun süre kalıcılığı ve dayanıklılığı sağlanmış olur [3]. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CaO olup bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO, SO<sub>3</sub>, alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden SiO<sub>2</sub> %25 – 60, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 10 – 30, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %1 – 15 ve CaO % 1- 40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir [4–7].

Uçucu külün çimento ile birlikte inşaat sektöründe en çok kullanıldığı alan, beton üretimidir. Uçucu kül, hem normal ve hafif betonda hem de giderek kullanımı yaygınlaşan hazır beton üretiminde gerek katkı gerekse ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Betonda yüksek oranda uçucu kül ikamesi yapılan bir çalışmada basınç dayanımı artarken aşınma dayanımlarının da arttığı gözlenmiştir [1]. Uçucu kül kullanımı en düşük su/bağlayıcı oranında kullanıldığında dayanım ve durabilite açısından daha iyi sonuçlar vermektedir [3]. Aynı şekilde C sınıfı uçucu kül kullanılan başka bir araştırmada ise, erken basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği ancak 3 günden sonra yavaş yavaş olumlu özelliklerini gösterdiği saptanmıştır. Uçucu kül içeren numunelerle normal numunelerin kür şartlarına verdikleri tepkiler incelenmiş, uçucu kül içeren betonların kür koşullarına karşı daha çok hassasiyet gösterdiği ortaya konmuştur [8]. Ayrıca uçucu küllü beton puzolanik reaksiyonlar sonucu beton zamanla daha geçirimsiz bir yapı kazanır [9]. Uçucu kül süper akışkanlaştırıcılı beton üzerinde de denenmiştir. Yapılan deney sonuçlarında uçucu kül katkısının çökme değerini azalttığı görülmüştür. Uçucu kül ikamesi arttıkça bütün yaşlarda betonda basınç ve yarmada çekme dayanımları artmıştır [10]. Başka bir çalışma betonun mekanik özellikleri açısından değerlendirildiğinde; uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak basınç dayanımı değerleri azalmıştır. Uçucu kül ikamesi beton işlenebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir. Uçucu kül ikame miktarının çimentonun % 5'inden fazla olması sertleşme sürelerini arttırmaktadır. Uçucu kül çimento gibi bağlayıcılık özelliği

göstermesine rağmen tam olarak çimentonun bağlayıcılık özelliğini sergileyememekte ve basınç dayanımını düşürmektedir [11]. Bu sonuçlardan gördüğümüz kadarıyla uçucu külün betonda kullanımıyla ilgili zaman zaman çelişkili sonuçlar elde edilmiştir.

Silis dumanı; Silisyum metalinin veya ferrosilisyum alaşımlarının üretiminde yan ürün olarak elde edilen, endüstriyel bir atıktır. 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 tozdur. Silis dumanının değerlendirilmesi konusundaki ilk çalışmalar çevre koruması amacı ile 1950li yıllarda Norveç'te başlamıştır. Çok ince taneli ve yüksek oranda amorf silis içeriği nedeni ile etkili bir puzolan olan bu maddenin çimento katkısı olarak kullanımı gene Norveç'te 1969 yılında denendi. Bu konudaki uygulamalar ve silis dumanının beton içindeki davranışı ile ilgili araştırmalar daha ziyade İskandinav ülkelerinde olmak üzere 1980'li yılların başına kadar oldukça yavaş gelişti. Beton için akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanıma girmesi, silis dumanının birçok beton özelliği üzerinde olumlu etkilerinin ortaya çıkması ve çevre kirliliğine karşı endüstriyel atıkların daha sıkı kontrolü gibi faktörler silis dumanı konusundaki çalışmaların son yirmi yıl içerisinde hızla yaygınlaşmasına neden olmuştur [12].

Kaynakları ne olursa olsun puzolanların esas silistir. Doyurucu özelliklere sahip puzolanlar %40'dan %90'a kadar SiO<sub>2</sub> içerebilirler. Silis dumanı betonda kullanılış şekli kısmen çimento yerine veya ilave olarak katılması şeklindedir. Beton basınç dayanımını artırması nedeniyle yapılan araştırmalar sonucunda, çimento ağırlığının %20-25'i arasında bir miktarının çimento yerine konmasının optimizasyonu sağladığı belirtilmiştir [13]. Silis dumanı katkısı kılcal boşlukları küçülterek süreksiz hale getirdiği için betonda geçirgenliği azaltır. Örneğin çimento hamurunda  $3.8 \times 10^{-13}$  m/s olarak ölçülen su geçirgenliği %10 ve %20 miktarlarında silis dumanı katıldığında sırası ile  $0.9 \times 10^{-13}$  m/s ve  $< 0.1 \times 10^{-13}$  m/s gibi değerlere düşmektedir. Silis dumanı hamurlarda gözenek yapısını daha geçirimsiz hale getirmektedir. Arayüzey bölgesinin de sıkılanması sonucu silis dumanı katkılı betonlarda benzer bakım koşullarındaki normal betonlara göre geçirgenlik azalmaktadır [12].

Silis dumanı katkısı diğer puzolanlar gibi yeni C-S-H jelleri oluşmasını sağlamaları yanı sıra ince silis dumanı taneleri agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılayıp kuvvetlendirerek beton dayanımını artırırlar. Buna karşın belli bir işlenebilirlik için su ihtiyacı artmaları gibi olumsuz etkileri de vardır. Dolayısı ile betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olacak ve çimento, agrega, akışkanlaştırıcı katkı tip ve miktarları ile bakım koşulları gibi klasik faktörlerden de etkilenecektir. Bazı araştırmacılara göre silis dumanı katkısının beton dayanımına olan olumlu etkisi agrega hamur ara yüzeyini kuvvetlendirmesinden dolayıdır. Zira aynı çimento/ silis dumanı oranlarında silis dumanı katkılı ve katkısız çimento hamurlarının dayanımları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Diğer taraftan en önemli faktörün daha sıkı ve kaliteli bir çimento hamuru oluşması olduğu da öne sürülmektedir [12]. Çalışmalara göre silis

dumanı basınç dayanımını artırma etkisi 3 günde kendini göstermemekteyse de, 28 gün sonra belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Silis dumanı ikamesiyle 28 günlük basınç dayanımlarında, karışım oranlarına bağlı olmak üzere, %20 den başlayıp % 50 mertebesine kadar artış elde edilebilmektedir [14]. Silis dumanı ve Süper akışkanlaştırıcıların birlikte kullanıldığı tüm harçlar, kontrol harçlarına göre daha iyi basınç dayanımı göstermişlerdir. Silis dumanı ve Süper akışkanlaştırıcıların optimum oranlarda beraber kullanılması, yüksek dayanımlı beton üretmek için mümkün olabilir. [15]. Bir diğer çalışmada değişik silis dumanı ikamelerinde ve değişik su/bağlayıcı oranlarında yarmada çekme dayanımları incelenmiştir. Silis dumanı ikamesinin yarmada çekme dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. % 15'in üzerindeki yüksek oranda silis dumanı ikamesinin önemli bir ölçüde artırma yapmadığı tespit edilmiştir. Tüm su/bağlayıcı oranlarında % 5–10 kadar olan ikamelerde yarmada çekme dayanımı oldukça artış göstermiştir [16].

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1 Malzemeler

#### 2.1.1 Çimento

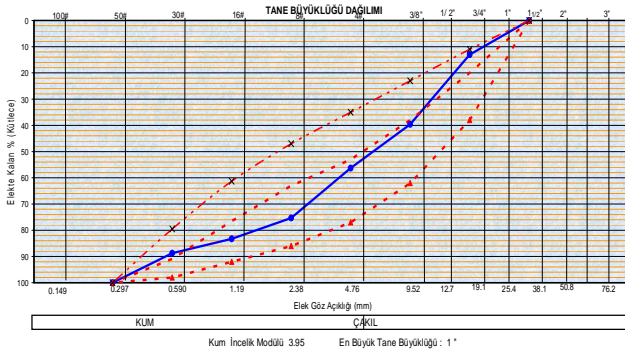
Çalışmada çimento olarak CEM I 42,5 kullanılmıştır. CEM I 42,5 kimyasal ve fiziksel özellikleri çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1 CEM I 42,5 Çimentosunun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal Özellikleri	
SiO <sub>2</sub>	20.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.79
CaO	63.45
MgO	1.05
SO <sub>3</sub>	2.26
K <sub>2</sub> O	-
S.kireç	1.31
K.K.	2.66
Ç.K.	0.69
Toplam alkali (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O)	0.65
Bilinmeyen	-
Fiziksel Özellikleri	
90 µm elek üstü (%)	1.72
Priz başlangıcı (dk)	195
Priz sonu (dk)	309
Özgül yüzey (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	3092
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.15
Hacim genişmesi (mm)	3.0

#### 2.1.2 Agrega

TS 706 EN 12620/AC'ye göre granülometrik analiz yapılmış ve Agrega granülometrisi şekildeki gibi çıkmıştır.



Şekil 1 Agreganın Granülometrisi

Agregaların özgül ağırlıkları, su emme miktarları ve nem oranları TS EN 3526 ya göre tespit edilmiş ve değerler 0-4 için  $2,65 \text{ gr/cm}^3$ , 7-15 ve 15-30 içinse  $2,69 \text{ gr/cm}^3$  olarak bulunmuştur. Yine aynı standarda göre su emme değerleri 0-4 için %2,7, 7-15 için %0,9 ve 15-30 için %0,49 bulunmuştur. Tabii nem oranları ise 0-4'de %0,5 oranındayken, diğerlerinde 0'a çok yakın bulunmuştur.

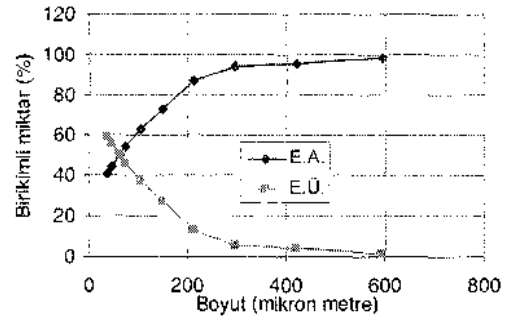
### 2.1.3 Uçucu Kül

Deneyde kullanılan uçucu kül Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali bacalarında, kuru olarak elektro filtrelerde toplanmıştır. Çatalağzı uçucu külünün kimyasal analizi çizelge 2'de verilmiştir [2]. Uçucu külün kimyasal bileşimi olarak  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  toplamı %87,7 olup TS 639'da öngörülen uçucu kül koşullarını sağlamaktadır. ASTM C 686'ya göre düşük kireçli uçucu kül (F) sınıfına girmektedir. Bu gruba giren uçucu külde  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  % 70'den fazla olması ve CaO oranının % 10'dan düşük olması gerekmektedir. Kimyasal kompozisyonuna göre Çatalağzı uçucu külü siliko alüminöz uçucu kül olarak tanımlanabilir [17].

Çizelge 2 Çatalağzı Uçucu Külü Kimyasal Bileşimi

Madde	Analiz (%)	TS 639'a Göre Sınırlar
$\text{SiO}_2$	56,8	
$\text{Al}_2\text{O}_3$	24,1	
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	6,8	
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	87,7	> 70
CaO	1,4	
MgO	2,4	< 5
$\text{SO}_3$	2,9	< 5
$\text{K}_2\text{O}_3$	-	
$\text{Na}_2\text{O}_3$	-	
$\text{TiO}_2$	1,1	
Kızdırma Kaybı	0,6	< 10
Diğer	3,9	

Uçucu külün tane boyut dağılımı ise Şekil 2'de verildiği gibidir [17].



Şekil 2 Uçucu Külün Tane Boyutu Dağılımı

### 2.1.4 Silis Dumanı

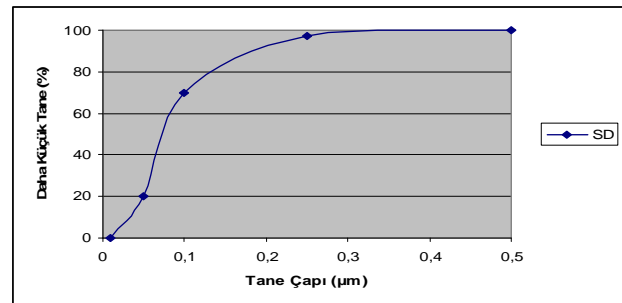
Deneyde kullanılan silis dumanı ise Antalya'da Eti Elektrometalurji A.Ş tesislerinde üretilmektedir. Silskoferrokrom ve ferrosilisyum baca tozları olarak toplanmaktadır. Kullanılan silis dumanının kimyasal bileşimi çizelge 3 de verilmiştir. Silisyum metali ile % 85 ferrosilisyum alaşımları veya bunların karışımlarından elde edilen silis dumanlarının bileşimlerinde  $\text{SiO}_2$  miktarı % 85'2i geçmemekte, genellikle % 90 civarında olmaktadır [12].

Çizelge 3 Silis Dumanının Kimyasal Bileşimi

Madde	Si	Fe-Si (%75)	SiFeCr
$\text{SiO}_2$	93,65	94,50	70 - 85
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,28	0,88	2-5
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,58	0,70	1-2,5
CaO	0,27	0,80	1-2
MgO	0,25	1,25	4-8
$\text{Na}_2\text{O}$	0,02	-	-
$\text{K}_2\text{O}$	0,49	-	-
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	-	-	1-4
S	0,20	0,23	0,5-1,3
C	3,62	0,90	1-1,5
Kızdırma Kaybı	4,36	0,75	1-3,5

Silis dumanının özgül ağırlığı ortalama 2,20 civarında olmaktadır. Gevşek birim ağırlığı ise  $130 - 430 \text{ kg/m}^3$  arasında değişir [12].

Silis dumanının tane boyu dağılımı şekil 3'de verildiği gibidir [12].



Şekil 3 Silis Dumanının Tane Boyutu Dağılımı

### 2.1.5 Hiperakışkanlaştırıcı

Çalışmalarda yüksek performanslı hiperakışkanlaştırıcı beton katkıları kullanılmıştır. Yoğunluğu  $1,03 - 1,07$

arasında olan malzemenin pH değeri 3 – 7 ve donma noktası – 4 C°'dir

## 2.2 Yöntem

TS 802'ye göre yaptığımız karışım hesabında elde ettiğimiz, kullanılacak çimento miktarı yerine % 0, 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında, uçucu kül ve silis dumanı ikame edilmiştir. Deney numunesi olarak 15x15x15'lik küp numuneler kullanılmıştır. Her bir ikame miktarı için 3'ü basınç ve 3'ü yarmada çekme numunesi olmak üzere toplam 66 numune dökülmüştür. TS 3261'e göre taze betonun hava miktarı ve TS EN 206'ya göre çökme değerleri tayin edilmiştir. Numuneler 7 ve 28 gün boyunca, su içerisinde 20 ± 2 C°'lik standart kür ortamında muhafaza edilmiş ve belirtilen süreler sonunda tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Numune dökümünde kullanılan karışım oranları çizelge 4 de verilmiştir. Hiperakışkanlaştırıcı katkı çimento kütlesinin 0,005'i kadar kullanılmıştır. Çizelge 5'de dökülen numunelerin özellikleri sıralanmıştır.

Çizelge 4 Beton Karışım Oranları

Karışım Hacmi (m <sup>3</sup> )	Çim. Kütlesi (kg/m <sup>3</sup> )	Su Kütlesi (L/m <sup>3</sup> )	W/C	Katkı Kütlesi (kg/m <sup>3</sup> )	0-4 (kg)	7-15 (kg)	16-32 (kg)
1	350	195	0,56	1,75	807	448	538

Çizelge 5 Dökülen Numunelerin Özellikleri

Numune Adı	Çökme (cm)	Beton Birim Ağırlığı (kg/cm <sup>3</sup> )	Hava Miktarı (%)
Ref. (% 0)	19	2447	2,5
SD % 5	18	2432	2,5
SD % 10	17	2420	2,4
SD % 15	16	2409	2,4
SD % 20	15	2404	2,3
SD % 25	14	2396	2,2
UK % 5	19	2394	2,2
UK % 10	18	2368	2,1
UK % 15	18	2354	1,9
UK % 20	17	2321	1,9
UK % 25	17	2303	1,9

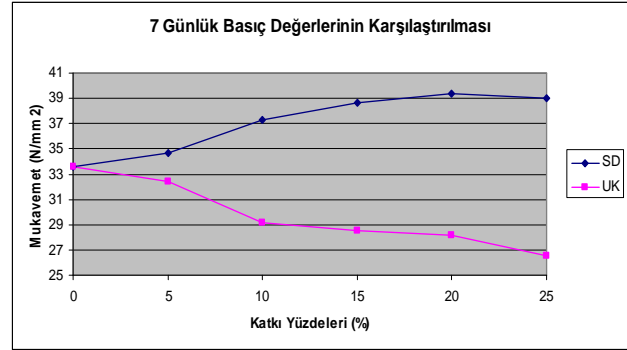
## 3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Yapılan beton basınç dayanımı testleri ve yarmada çekme dayanımı testleri sonucu için silis dumanı ve uçucu kül ikameli betonların 7 ve 28 günlük dayanımları aşağıdaki çizelgelerdeki gibi çıkmıştır. Basınç dayanım değerleri Çizelge 6'da verildiği gibidir.

Çizelge 6 SD ve UK Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları (N/mm<sup>2</sup>)

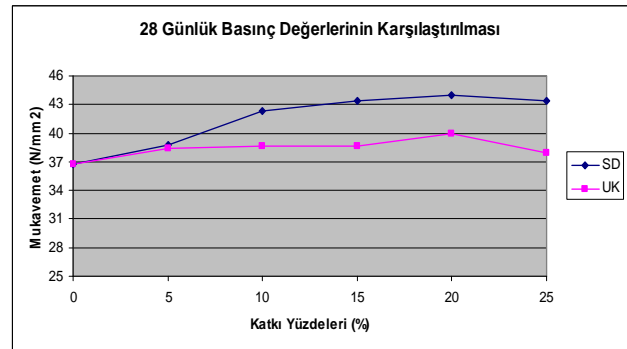
Katkı Miktarı	SD		UK	
	7 Gün	28 Gün	7 Gün	28 Gün
% 0	33,56	36,79	33,56	36,79
% 5	34,63	38,77	32,40	38,42
% 10	37,29	42,32	29,15	38,67
% 15	38,67	43,37	28,53	38,61
% 20	39,36	44,03	28,12	40
% 25	39,05	47,30	26,56	37,93

7 günlük basınç dayanımları karşılaştırması Şekil 3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3 SD ve UK Numunelerinin 7 Günlük Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması

28 günlük basınç dayanımları karşılaştırması Şekil 4 de gösterildiği gibidir.



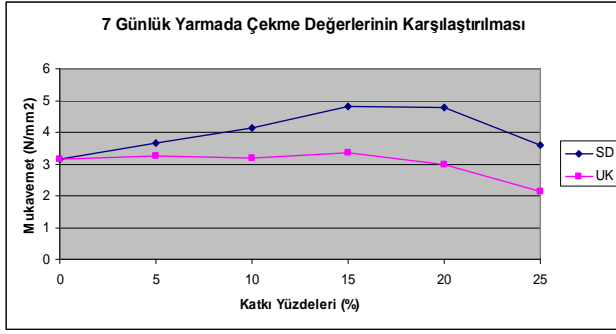
Şekil 4 SD ve UK Numunelerinin 28 Günlük Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

7 ve 28. günlerde yapılan yarmada çekme deneyi sonuçlarına göre elde edilen değerler Çizelge 7'de verildiği gibidir.

Çizelge 7 SD ve UK Numunelerinin 7 Günlük Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları (N/mm<sup>2</sup>)

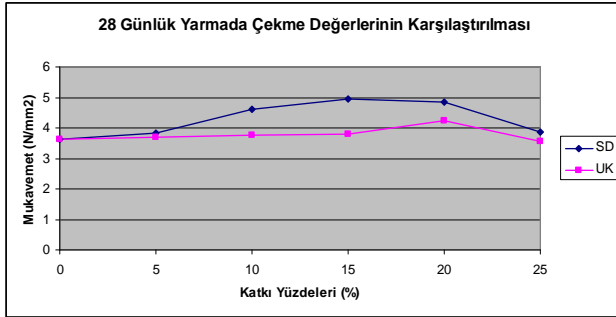
Katkı Miktarı	SD		UK	
	7 Gün	28 Gün	7 Gün	28 Gün
% 0	3,15	3,62	3,15	3,62
% 5	3,66	3,82	3,24	3,69
% 10	4,13	4,62	3,19	3,77
% 15	4,83	4,96	2,83	3,79
% 20	4,78	4,85	3,00	4,24
% 25	3,60	3,87	2,14	3,57

7. günün sonunda yapılan yarmada çekme deneylerinde elde edilen değerlerin karşılaştırılması Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5 SD ve UK Numunelerinin 7 Günlük Yarmada Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması

28. günün sonunda yapılan yarmada çekme deneylerinde elde edilen değerlerin karşılaştırılması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6 SD ve UK Numunelerinin 28 Günlük Yarmada Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması

Yukarıda verilen tablolara ve grafiklere göre silis dumanı ve uçucu kül katkısının beton dayanım özellikleri üzerine etkilerini inceleyecek olursak aşağıdaki sonuçlara varmamız mümkündür.

1. Çatalağzı uçucu külü erken yaşlar basınç dayanımında düşüşe sebep olurken silis dumanı ise bu değerlerin artmasına sebep olmuştur.
2. 28. gün basınç dayanımında uçucu kül 7. günde gösterdiği etkinin aksine, dayanımlarda yükselmeye sebep olmuştur. Ancak bu silis dumanının etkisine göre çok çok daha düşüktür. Silis dumanı yüzdesi arttıkça artan bir grafik oluşturmuştur.
3. %5'lik katkı miktarında uçucu kül ve silis dumanı arasında çok fazla bir fark oluşturmamış, genel olarak değerler birbirine yakın çıkmıştır.
4. Yarmada çekme dayanımları incelendiğinde uçucu kül katkısının aynı basınç dayanımında olduğu gibi 7. gün değerlerinde genel bir düşme oluşturduğu ancak 28. günde bu değerlerin normal değerlerin üstüne çıktığı gözlenmiştir. Silis dumanı katkısı ise %15 lik katkı miktarında en yüksek değeri vermek üzere normal mukavemet değerinin üzerinde değerler vermiştir.
5. Silis dumanı katkılı beton her iki dayanım özelliği için hem 7. hemde 28. günde uçucu küle açıkça üstünlük sağlamıştır.

## Teşekkür

Çalışmalarımızda kimyasal katkılar konusunda bizlere yardımcı olan SİKA Yapı Kimyasalları A.Ş.'ne, uçucu kül temin edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Çatalağzı

Termik Santrali'ne ve bizlere her türlü çalışma ortamını sağlayan Kırıkkale Fatih Hazır Beton Santrali'ne teşekkürler.

## Kaynaklar

- [1] Aruntaş, H.Y., Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Ün. Müh. Mim. Der. 21 (1): 193 – 203., 2006
- [2] Türker, P., Erdoğan, B., Kantaş, F. ve Yeğınobalı, A., Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar – Ge, Ankara, 2007.
- [3] Topçu, İ.B., and Sarıdemir, M., Prediction of Compressive Strength of Concrete Containing Fly Ash Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic”, Computational Materials Science, 41, 305 – 311, 2008.
- [4] TS EN 197 – 1, Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Birleşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [5] ASTM C 618, Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, American Society For Testing and Materials, 2008.
- [6] TS 639, Uçucu Küller – Çimentoda Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1975.
- [7] TS EN 450, Uçucu Küller – Betonda Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [8] Yiğiter, H., Aydın, S., Yazıcı, H. Ve Bardan, B., C Tipi Uçucu Kül Katkılı Betonların Bazı Fiziksel, Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Beton 2004, İstanbul, 2004.
- [9] Asan, A. ve Yalçın, H., Uçucu Küllerin Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine Etkisi, G.Ü Fen Bilimleri Dergisi, 16 (1): 47 – 54, 2003.
- [10] Yaprak, H., Şimşek, O. ve Aruntaş, H.Y., Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Üzerine Etkisi, Beton 2004, İstanbul, 2004.
- [11] Subaşı, S., Kap, T., Beycioğlu, A. ve Çullu, M., Uçucu Kül Katkı Miktarının Beton İşlenebilirliği ve Sertleşme Sürelerine Olan Etkisi, Düzce Üniversitesi, 2008.
- [12] Yeğınobalı, A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar – Ge, Ankara, 2007.
- [13] Çelik, Ö., Alp., Y.Z., Damcı, E., Elbeyli, İ.Y., Pişkin, S., Atık Çamur ve Silis Dumanının Çimentoların Basınç Dayanımları Üzerine Etkileri, Beton 2004, İstanbul, 2004.
- [14] Özcan, F., Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana, 2005.
- [15] Şimşek, O., Dur, A. ve Yaprak, H., Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Harçların Özellikleri, Politeknik Der. Cilt:7 Sayı:2, 169 – 178, 2004.
- [16] Bhanja, S. and Sengupta, B., Influence of Silica Fume on the Tensile Strength of Concrete, Cement and Concrete Research 35, 743 – 747, 2005.
- [17] Kızgut, S., Çuhadaroğlu, D. ve Çolak, K., Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması, TUMAKS 2001, ISBN 975 – 395 – 416 – 6, 2001