

# Aynı Oranlarda İkame Edilen Silis Dumanı ve Uçucu Külün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi

İlhami Demir

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 71451 Türkiye.  
Telefon: +90 (318) 357-3571; Fax: +90 (318) 357-2459, ildemir@kku.edu.tr

**Özet—** Bu çalışmada Çimento yerine aynı oranlarda Silis dumanı (SD) ve Uçucu kül (UK) ikameli betonun basınç ve yarmada – çekme dayanımlarına etkisi araştırılmıştır.

Bu amaçla çalışmada Ankara Hasanoğlandan elde edilen kırmataş agrega ve CEM I 42,5 sınıfı çimento kullanılmıştır. Pozolonik katkı olarak %5,10,15,20 ve 25 oranlarında SD ve UK çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmiştir. Hazırlanan 7, 28 ve 90 günlük beton örneklerine basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre SD katkılı betonların her yaşta referans ve UK ikameli betonlara göre daha iyi basınç ve yarmada çekme dayanıma sahip oldukları görülmüştür. En iyi basınç ve yarmada çekme dayanımı ise her yaşta %20 SD ikameli betonlardan elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler— Silis Dumanı, Uçucu Kül, Beton, Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı**

**Abstract —** In this study, the effects of using the same amount of silica fume and fly ash instead of cement on splitting tensile strength of concrete.

In order to achieve this, ballast aggregates obtained from Ankara Hasanoğlan and CEM I 42.5 class cement was used. As pozzolonic admixture 5,10,15,20 and 25% silica fume and fly ash cement were replaced based on their weights. Compression and splitting tensile strength test were conducted on 7, 28 and 90 daily concrete samples.

According to the results, it was observed that silica fume added concretes have better compression and splitting tensile strength than reference and fly ash added concretes. The best compression and splitting tensile strength were obtained from 20% silica fume added concretes at every age.

**Key Words — Silica Fume, Fly Ash, Concrete, Compressive Strength, Splitting tensile strength**

## I. GİRİŞ

Beton ülkemizde ve dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Dünyada her yıl yaklaşık olarak 10 milyar ton beton kullanılmaktadır [1]. Beton; agrega (kum ve çakıl), çimento, su ve gerektiğinde katkı malzemelerinin bileşiminden oluşan başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun

hidratasyonu sonucu katılaşmış sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [2]. Betonun meydana getiren bileşenlerin özellikleri ile karışım içindeki oranları betonun kalitesine etki etmektedir. Günümüzde beton üretiminde yaygın olarak doğal dere agregası yerine kırmataş agrega, üretimi pahalı olan Portland çimentosu (PÇ) yerine katkılı veya kompoze çimentolar, karışımındaki çimento miktarını azaltmak amacıyla mineral katkılar (puzolanlar), karma suyunu azaltmak amacıyla kimyasal katkılar (süper akışkanlaştırıcılar, hiper akışkanlaştırıcılar) ve su kullanılmaktadır.

Bilindiği gibi puzolanlar, kendi başına bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan fakat öğütüldüklerinde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) ile kimyasal reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşikler oluşturan silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir [3]. Bu tanıma uyan birçok doğal malzeme bulunduğu gibi, birçok endüstri atığı mineral madde de puzolanik özellik göstermektedir [4–6].

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 [7]. Çevreyi olumsuz olarak 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 çevre için bir problem olur [8].

Uçucu Küllerin özellikleri genel itibarıyla 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 külden kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik, yani bağlayıcılık özelliği gösterirler [8]. Çimento içerisindeki boşlukları doldurur ve hidratasyon ısını düşürüp, betonda erken yaşlardaki çatlaklarının oluşumunun engellenmesi için kullanılır. Bu şekilde beton yapıların uzun süre kalıcılığı ve dayanıklılığı

sağlanmış olur [9]. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{CaO}$  olup bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ , alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden  $\text{SiO}_2$  %25 – 60,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  % 10 – 30,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  %1 – 15 ve  $\text{CaO}$  % 1- 40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir [10–13].

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. [13]. Uçucu kül kullanımı en düşük su/bağlayıcı oranında kullanıldığında dayanım ve durabilite açısından daha iyi sonuçlar vermektedir [9]. Aynı şekilde C sınıfı uçucu kül kullanılan başka bir çalışmada 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 [14]. Ayrıca uçucu küllü beton puzolanik reaksiyonlar sonucu beton zamanla daha geçirimsiz bir yapı kazanır [15]. 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 [16]. 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 [17]. Bu sonuçlardan gördüğümüz kadarıyla uçucu külün betonda kullanımıyla ilgili zaman zaman çelişkili sonuçlar elde edilmiştir.

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 ihtiyacını artırmaları 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. Diğer taraftan en önemli faktörün daha sıkı ve kaliteli bir çimento hamuru oluşması olduğu da öne sürülmektedir [18]. 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 [19]. 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. [20]. 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 [21].

Bu çalışmanın amacı; Beton üretiminde puzolanik aktivitesi olduğundan dolayı çimentodan tasarruf edebilmek için beton içerisine ikame edilerek kullanılan silis dumanı ve uçucu külün beton karışımları içerisinde aynı oranlarda kullanılarak sertleşmiş betonun mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi gerekir. Bu amaç doğrultusunda beton karışımlar üzerinde SD ve UK'nın beton karışımlar üzerinde ne şekilde etkili olduğu ortaya konmaya çalışılmıştır.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### A. Malzemeler

Çalışmada kullanılan CEM I 42,5 çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1 de verilmiştir.

TABLO 1. CEM I 42,5 ÇİMENTOSU UK VE SD'NİN KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Kimyasal Özellikleri			
Oksit (%)	CEM I 42,5 R	SD	UK
$\text{SiO}_2$	20.37	93.65	56.8
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4.45	0.28	24.1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.79	0.58	6.8
$\text{CaO}$	63.45	0.27	1.4
$\text{MgO}$	1.05	0,25	2.4
$\text{SO}_3$	2.26	0.38	2.9
$\text{K}_2\text{O}$	-	0.87	
S.kireç	1.31		
K.K.	2.66		0.80
Ç.K.	0.69		
Toplam alkali ( $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$ )	0.65		
Bilinmeyen	-		
Fiziksel Özellikleri			
90 $\mu\text{m}$ elek üstü (%)	1.72		
Priz başlangıcı (dk)	195		
Priz sonu (dk)	309		
Özgül yüzey (Blaine) ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	3092	20.000	3800
Özgül ağırlık ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	3.15	2.37	2.06
Hacim genleşmesi (mm)	3.0		

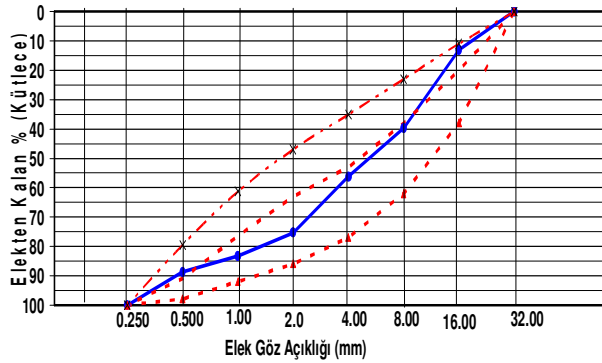
Aregalarda deney numunesi hazırlama ve tane büyüklüğü dağılımı deneyleri sırasıyla TS 707 ve TS 3530 EN 933-1'e uygun olarak yapılmıştır. Tane büyüklüğü dağılımı deney sonuçları Tablo 2' de verilmiştir.

Aregaların özgül ağırlıkları, su emme miktarları ve nem oranları TS EN 1097-6 ya göre tespit edilmiş ve değerler 0–4 için  $2,65 \text{ gr}/\text{cm}^3$ , 8–16 ve 16–32 içinse  $2,69 \text{ gr}/\text{cm}^3$  olarak

bulunmuştur. Yine aynı standarda göre su emme değerleri 0–4 için %1,7, 8–16 için % 1,0 ve 16–32 için % 0,50 bulunmuştur. Tabii nem oranları ise 0–4, 8–16 ve 16-32’de %0,5 olarak bulunmuştur

TABLO 2. KULLANILAN AGREGALARIN TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI SONUÇLARI

Elek Göz Açıklığı (mm)	Geçen (%)		
	İnce kum (0–4)	İnce Çakıl (4–16)	İri Çakıl (16–32)
31.5	100	100	100
16.0	100	100	56,5
8.0	100	62	0,25
4.0	96	2,4	0
2.0	55	1,2	0
1.0	37	0	0
0.5	25	0	0
0.25	17	0	0



Şekil 1. Agregra Granülometrisi

Deneyde kullanılan uçucu kül Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali bacalarında, kuru olarak elektro filtrelerde toplanmıştır. Çatalağzı uçucu külünün kimyasal analizi Tablo 1’de verilmiştir. Uçucu külün kimyasal bileşimi olarak SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 küllerde SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 70’den fazla olması ve CaO oranının % 10’dan düşük olması gerekmektedir. Kimyasal kompozisyonuna göre Çatalağzı uçucu külü siliko alüminöz uçucu kül olarak tanımlanabilir [22].

Deneyde kullanılan silis dumanı ise Antalya’da Eti Elektrometalurji A.Ş tesislerinde Silskoferrokrom ve ferrosilisyum baca tozları olarak toplanmaktadır. Kullanılan silis dumanının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

Çalışmalarda yüksek performanslı hiperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Yoğunluğu 1,03 – 1,07 arasında olan malzemenin pH değeri 3 – 7 ve donma noktası – 4 C°’dir.

Hiperakışkanlaştırıcı katkı çimento kütlelerinin %0,5’i kadar kullanılmıştır

### B. Yöntem

TS 802 C 30 beton sınıfına göre hazırlan beton karışımı oranları göre Tablo 3 ve Tablo 4 de verilmiştir. Beton karışımlarına SD, çimento yerine ağırlıkça % 5, % 10, % 15 % 20 ve % 25 oranlarında ikame edilmiştir. Böylece KB, SDB5, SDB10, SDB15 SDB20 ve SDB25 olmak üzere 6 tip beton üretilmiştir. UK, çimento yerine ağırlıkça % 5, % 10, % 15 % 20 ve % 25 oranlarında ikame edilmiştir. Böylece KB, UKB5, UKB 10, UKB 15 UKB 20 ve UKB 25 olmak üzere toplam 11 tip beton üretilmiştir. Beton karışımlarında s/b oranı sabit alınmıştır. Deneylerde karışım ve bakım suyu olarak içme suyu kullanılmıştır. Beton karışımları, yatay eksenli 70 dm<sup>3</sup> hacimli betoniye içinde hazırlanmıştır. Üretilen taze betonlar üzerinde çökme, hava miktarı ve birim ağırlık deneyleri sırasıyla TS EN 12350–2, TS EN 12350–7 ve TS 2941’e göre yapılmıştır. Deney numunesi olarak 15x15x15 cm’lik küp numuneler kullanılmıştır. Her bir ikame miktarı için 3’ü basınç ve 3’ü yarmada çekme numunesi olmak üzere toplam 99 numune dökülmüştür. Numuneler 7, 28 ve 90 gün boyunca, su içerisinde 20 ± 2 °C’lik standart kür ortamında muhafaza edilmiş ve belirtilen süreler sonunda TS EN 12390–3’e göre basınç, TS EN 12390–6 yarmada çekme deneyi uygulanmıştır.

TABLO 3. 1 M<sup>3</sup> SD’LI BETON KARIŞIM ORANLARI

Beton Çeşidi	S/B	Su (lt)	CEM I 42,5 (kg)	SD (kg)	Agrega (kg)		
					0–4	8-16	16-32
KB	0,56	195	350	0	807	448	538
SDB5	0,56	195	332,5	17,5	807	448	538
SDB10	0,56	195	315	35	807	448	538
SDB15	0,56	195	297,5	52,5	807	448	538
SDB20	0,56	195	280	70	807	448	538
SDB25	0,56	195	262,5	87,5	807	448	538

TABLO 4. 1 M<sup>3</sup> UK’LI BETON KARIŞIM ORANLARI

Beton tipi	s/b	Su (lt)	CEM I 42,5 (kg)	UK (kg)	Agrega (kg)		
					0–4	8–16	16–32
KB	0,56	195	350	0	807	448	538
UKB5	0,56	195	332,5	17,5	807	448	538
UKB 10	0,56	195	315	35	807	448	538
UKB 15	0,56	195	297,5	52,5	807	448	538
UKB 20	0,56	195	280	70	807	448	538
UKB 25	0,56	195	262,5	87,5	807	448	538

### III. DENEYSEL SONUÇLAR

#### A. Taze beton deney sonuçları

Taze beton deneylerinde beton çökme değeri (slamp) SD ikame oranı arttıkça düşmüştür. Benzer durum UK ikameli betonlarda da görülmüştür. Beton karışımındaki SD ve UK oranı arttıkça işlenebilmede bir miktar düşme olduğu gözlenmektedir. Bu durum, üretilen bütün betonlarda s/b oranının sabit alınması ve UK özgül ağırlığının çimentodan az olması nedeniyle karışıma hacimce daha fazla SD ve UK girmesi dolayısıyla beton su ihtiyacının artması ile açıklanabilir. Taze betonların tamamının hava miktarı değerlerinin % 2.0 ile % 1.7 arasında olduğu ve SD ve UK ikamesi ile önemli bir değişikliğin oluşmadığı Tablo 5'de görülebilir. Benzer şekilde Taze betonlarda birim ağırlık SD ve UK oranının artması ile çok az oranda azalmıştır. Buna neden olarak betonlardaki SD ve UK ikame oranının düşük alınması gösterilebilir (Tablo 5).

TABLE 5. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI

Beton Çeşidi	Çökme (mm)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Hava Miktarı (%)
KB	190	2447	2.0
SDB5	180	2432	2.0
SDB10	170	2420	1.9
SDB15	160	2409	1.8
SDB20	150	2404	1.8
SDB25	140	2396	1.7
UKB5	190	2438	2.0
UKB 10	180	2420	1.9
UKB 15	180	2411	1.8
UKB 20	170	2397	1.8
UKB 25	170	2385	1.7

#### B. Beton basınç deney sonuçları

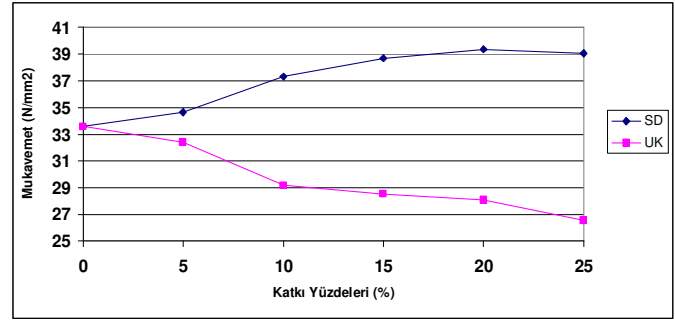
Üretilen beton numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları Tablo 6'da verildiği gibidir. Betonların yaşla arttıkça dayanımlarda da artış görülmektedir.

TABLE 6. SD VE UK NUMUNELERİNİN 7, 28 VE 90 GÜNLÜK BASINÇ DAYANIMI SONUÇLARI (N/mm<sup>2</sup>)

Katkı Miktarı	SD			UK		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
% 0	33.56	36.79	38.55	33.56	36.79	38.55
% 5	34.63	38.77	40.34	32.40	38.42	39.82
% 10	37.29	42.32	44.73	29.15	39.23	41.76
% 15	38.67	43.37	45.28	28.53	38.61	41.28
% 20	39.36	44.03	46.74	28.12	37.43	40.06
% 25	39.05	43.89	46.50	26.56	35.82	39.12

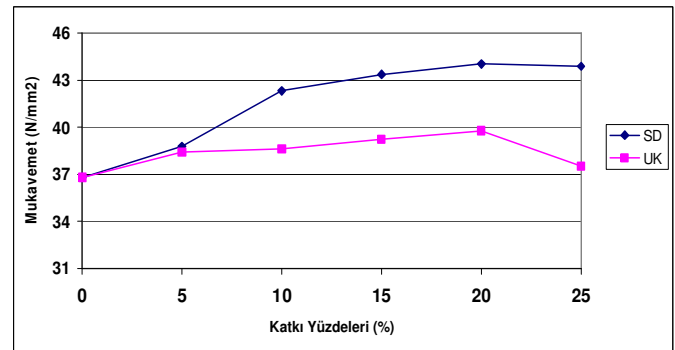
Tablo 6 ve Şekil 2'de görüldüğü gibi 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde; SD li betonlar UK lı ve kontrol betonuna göre (%0 ikameli beton) daha yüksek dayanımlar vermiştir. Bu grupta en yüksek basınç dayanımını SDB 20 (%20 SD ikameli beton) 39.36 N/mm<sup>2</sup> beton numunesi vermiştir. En düşük basınç dayanımlarını ise 26.56 N/mm<sup>2</sup> Kırkkale University-Faculty of Engineering

değeri ile UKB 25 vermiştir. SD oranı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Fakat UK lı betonlarda tam tersine UK oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. 28 günlük referans beton (KB) 36.79 N/mm<sup>2</sup>'ye göre SD ve UK ikameli betonların dayanım artışı karşılaştırıldığında; %20 SD ikameli betonlar %108 dayanım artışı sağlarken, % %20 UK ikameli betonlar %76 dayanım artışı sağlamıştır. Bu durumun SD nin UK ya göre daha ince oluşundan kaynaklandığını söyleyebiliriz. İlk 7 günde SD' lı betonlar UK' lı betonlara göre daha hızlı dayanım artışı göstermiştir.



Şekil 2. SD ve UK Numunelerinin 7 Günlük Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması

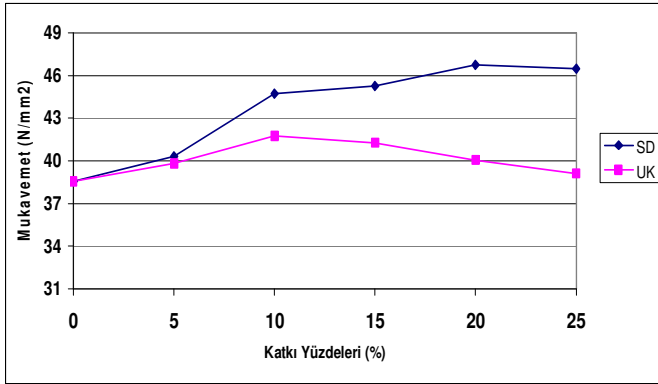
Tablo 6 ve Şekil 3'de görüldüğü gibi 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde SD oranı arttıkça basınç dayanımı artmaktadır. UK oranı %10 na kadar basınç dayanımında artış, %10 dan sonra ise basınç dayanımında düşme görülmektedir. En yüksek ve en düşük dayanımlar sırasıyla % 20 SD (SDB 20) ve % 25 UK (UKB25) kullanılan betonlardan elde edilmiştir. 28 günlük referans beton (KB) 36.79 N/mm<sup>2</sup>'ye göre SD ve UK ikameli betonların dayanım artışı karşılaştırıldığında; %20 SD ikameli betonlar %127 dayanım artışı sağlarken, % %20 UK ikameli betonlar %102 dayanım artışı sağlamıştır. UK oranı %10'da en yüksek dayanımı 39.23 N/mm<sup>2</sup>'yle sağlamıştır. Bu oranda da dayanım artışı %107 olmuştur. Bu durum SD nin UK ya göre daha büyük incelik değerine sahip olması ve SD nin kimyasal özelliklerinin farklı olması ile açıklanabilir.



Şekil 3. SD ve UK Numunelerinin 28 Günlük Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması

Tablo 6 ve Şekil 4'de görüldüğü gibi 90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde 28 günlük basınç dayanımlarına benzer bir durum ortaya çıkmıştır. SD oranı arttıkça basınç dayanımı artmaktadır. UK oranı %10 na kadar basınç

dayanımında artış, %10 dan sonra ise basınç dayanımında düşme görülmektedir. 28 günlük referans beton (KB) 36.79 N/mm<sup>2</sup>'ye göre UK oranı %10' basınç dayanımında artış, % 114 olmuştur. En yüksek ve en düşük dayanımlar sırasıyla % 20 SD (SDB 20) ve % 25 UK (UKB25) kullanılan betonlardan elde edilmiştir. 28 günlük 36.79 N/mm<sup>2</sup>'ye göre % 20 SD'li betonlar %127 dayanım artışı sağlarken aynı oranda UK ikameli betonlarda dayanım artışı %109 olmuştur. Bu sonuçlara göre 90 günlük betonlarda SD ile hazırlanan betonların UK hazırlanan betonlara göre basınç dayanımı sağladığı görülmektedir.



Şekil 4. SD ve UK Numunelerinin 90 Günlük Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması

Sonuç olarak Üretilen bütün betonlar arasında en yüksek basınç dayanımı, 90 günlük SD ile üretilen betonlardan elde edilmiştir. Bütün karışım serilerinde SD arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir.

#### B. Yarmada çekme beton deney sonuçları

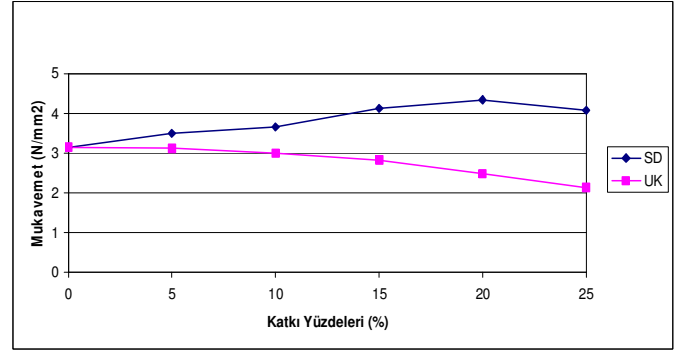
Üretilen beton numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük yarmada çekme dayanımları Tablo 7'de verildiği gibidir. Betonların yaşı arttıkça yarmada çekme dayanımlarda da artış görülmektedir.

TABLO 7. SD VE UK NUMUNELERİNİN 7, 28 VE 90 GÜNLÜK YARMADA ÇEKME DAYANIMI SONUÇLARI (N/mm<sup>2</sup>)

Katkı Miktarı	SD			UK		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
% 0	3.15	3.62	3.98	3.15	3.62	3.98
% 5	3.50	3.68	4.09	3.12	3.76	4.07
% 10	3.66	4.01	4.24	3.00	4.24	4.20
% 15	4.13	4.30	4.46	2.83	4.18	4.29
% 20	4.34	4.60	4.86	2.48	3.79	4.30
% 25	4.08	4.28	4.58	2.14	3.57	4.20

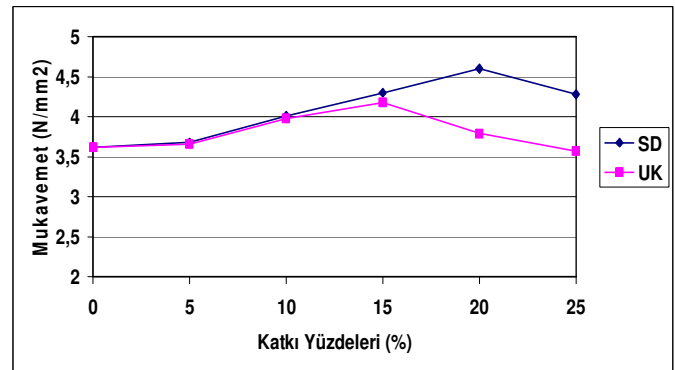
Tablo 7. ve Şekil 5'de görüldüğü gibi 7 günlük yarmada çekme dayanımları incelendiğinde; uçucu küllü betonlarda yarmada çekme dayanımında düşüşe sebep olurken silis dumanı ise yarmada çekme dayanımının artmasını sağlamıştır. %10'a kadar yapılan ikame miktarında uçucu kül ve silis dumanı arasında çok fazla bir fark oluşturmamış, genel olarak yarmada çekme dayanımları birbirine yakın çıkmıştır. Bu grupta en yüksek yarmada çekme dayanımını SDB 20 (%20 SD ikameli beton) 4.34 N/mm<sup>2</sup> beton numunesi vermiştir. En

düşük yarmada çekme dayanımını ise 2.14 N/mm<sup>2</sup> değeri ile UKB 25 vermiştir. SD oranı %20'ye kadar arttıkça yarmada çekme dayanımlarının arttığı görülmektedir. Fakat UK lı betonlarda tam tersine UK oranı arttıkça yarmada çekme dayanımlarının düştüğü belirlenmiştir. 28 günlük referans beton (KB) 3.62 N/mm<sup>2</sup>'ye göre SD ve UK ikameli betonların dayanım artışı karşılaştırıldığında; %20 SD ikameli betonlar %120 dayanım artışı sağlarken, %20 UK ikameli betonlar %69 dayanım artışı sağlamıştır. Bu durum iki mineral katkıdan açık bir şekilde SD'nin UK'ya göre 7 günlük sertleşmiş betonlarda daha iyi bir bağlayıcılık özelliği olduğunu göstermektedir.



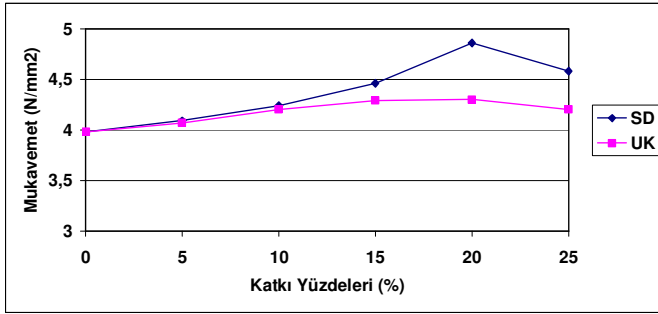
Şekil 5. SD ve UK Numunelerinin 7 Günlük Yarmada Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması

Tablo 7. ve Şekil 6'da görüldüğü gibi 28 günlük yarmada çekme dayanımları incelendiğinde; uçucu kül katkısının aynı basınç dayanımında olduğu gibi 28. gün yarmada çekme dayanımlarının %15'e kadar dayanım artışı sağladığı görülmüştür. Fakat %20'ye kadar olan UK ikameli betonlar referans betona göre daha iyi dayanım artışı sağladığı gözlenmiştir. Silis dumanı katkısı ise %20 lik katkı miktarında en yüksek yarmada çekme dayanımını verdiği belirlenmiştir. 28 günlük referans beton (KB) 3.62 N/mm<sup>2</sup>'ye göre SD ve UK ikameli betonların dayanım artışı karşılaştırıldığında; %20 SD ikameli betonlar %127 (4.60 N/mm<sup>2</sup>) dayanım artışı sağlarken, %20 UK ikameli betonlar %105 (3.79 N/mm<sup>2</sup>) dayanım artışı sağlamıştır. Bu durum iki mineral katkıdan SD' lı betonlar UK'ya göre %22 daha iyi yarmada çekme dayanımı vermiştir.



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

Tablo 7. ve Şekil 7’de görüldüğü gibi 90 günlük yarmada çekme dayanımları incelendiğinde; %20 kadar yapılan UK ikamesinde dayanım artışı sağlarken ( $4.30 \text{ N/mm}^2$ ) %20’den sonra düşme görülmüştür. Fakat %25’e kadar yapılan UK ikamesinde referans betonuna göre daha iyi yarmada çekme dayanım artışı sağladığı görülmüştür. SD li betonlarda ise %20’e yapılan SD ikamesi yarmada çekme dayanım en yüksek ( $4.86 \text{ N/mm}^2$ ) artışı sağlamıştır. 28 günlük referans beton (KB)  $3.62 \text{ N/mm}^2$ ’ye göre SD ve UK ikameli betonların dayanım artışı karşılaştırıldığında; %20 SD ikameli betonlar %134 dayanım artışı sağlarken, %20 UK ikameli betonlar %119 dayanım artışı sağlamıştır. %20 ikameli SD’ lı betonlar %20 ikameli UK’ya göre %15 daha iyi yarmada çekme dayanımı vermiştir.



Şekil 7. SD ve UK Numunelerinin 90 Günlük Yarmada Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması

#### IV. SONUÇLAR

Çimento yerine aynı oranlarda Silis dumanı (SD) ve Uçucu kül (UK) ikameli betonların basınç ve yarmada – çekme dayanımlarına etkisi yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara aşağıda özetlenmiştir:

1. Taze betonda çökme (slamp) SD ikame oranı arttıkça düşmüştür. Bezer durum UK ikameli betonlarda da görülmüştür. SD’li betonlarda UK’lı betonlara göre daha az çökme olmuştur buna neden olarak ise SD’nin UK’ya göre daha ince olması söylenebilir. Tablo 1’de görüldüğü gibi; SD nin özgül yüzey alanı  $20.000 \text{ cm}^2/\text{g}$ , UK nın ise  $3800 \text{ cm}^2/\text{g}$ ’dir.
2. Taze betonların tamamının hava miktarı değerlerinin % 2.0 ile % 1.7 arasında olduğu ve SD ve UK ikamesi ile önemli bir değişikliğin oluşmadığı belirlenmiştir.
3. Benzer şekilde taze betonlarda birim ağırlık SD ve UK oranının artması ile çok az oranda azalmıştır.
4. 7 günlük betonların basınç ve yarmada çekme dayanımları SD li betonlar UK lı ve referans betonuna göre daha yüksek dayanımlar vermiştir. Bu grupta en yüksek basınç dayanımını  $39.36 \text{ N/mm}^2$  ile SDB 20 (%20 SD ikameli beton) beton numuneleri vermiştir. Bu durumun SD nin UK ya göre daha ince oluşundan kaynaklandığını söyleyebiliriz.
5. 7 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımlarında uçucu kül dayanımlarında düşüşe sebep olurken silis dumanı ise dayanımının artmasına sebep olmuştur. %10’a kadar yapılan ikame miktarında uçucu kül ve silis dumanı arasında çok fazla bir fark oluşmadığı belirlenmiştir.
6. 28 günlük dayanımlarda SD oranı %20’ye kadar arttıkça basınç dayanımı artmaktadır (% 25 SD kadar ikame yapılmıştır). UK oranı %10 na kadar basınç dayanımında artış,

%10 dan sonra ise basınç dayanımında düşme görülmektedir. Bu durum SD nin UK ya göre daha büyük Blaine incelik değerine sahip olması ve SD nin kimyasal özelliklerinin farklı olması ile açıklanabilir.

7. 90 günlük dayanımlarda SD oranı arttıkça dayanım artışı sağlandığı belirlenmiştir. UK oranı %15’e kadar dayanımında artış, %15’den sonra ise basınç dayanımında düşme görülmektedir.

8. SD li betonlarda ise %20’e yapılan SD ikamesi dayanım artışı vermiştir.

Sonuç olarak Üretilen bütün betonlar arasında en yüksek dayanımlar, 90 günlük SD ile üretilen betonlardan elde edilmiştir. Bütün karışım serilerinde SD %20’ye kadar arttıkça basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir.

#### V. KAYNAKLAR

- [1] Nagaraj, T.S., Shashiprakash, S.G., Raghuprasad, B.K., (1993), “Reproportioning concrete mixes”, ACI Materials Journal, 90 (1) 50-58.
- [2] TS. 802/T2, (2002), “Beton Karışım Hesap Esasları”, T. S. E., Ankara.
- [3] ASTM C 618-78, (1978), “Specification for fly ash & raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete, American Society For Testing and Materials, USA.
- [4] Özturan, T., (1991), “Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddelerinin Etkinliği”, 2. Ulusal Beton Kongresi, s 280-290, İstanbul.
- [5] Aruntaş, H.Y., (1996), “Diatomit, Özellikleri, Kullanım Alanları ve İnşaat Sektöründeki Yeri”, Çimento ve Beton Dünyası, 1, 4, 27-32.
- [6] Biricik, H., Berktaş, İ., Aköz, F., Tulgar, A.N., (1996), “Buğday Sapı Külünün Pozolanik Özelliklerinin Araştırılması”, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.
- [7] Aruntaş, H.Y., Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Ün. Müh. Mim. Der. 21 (1): 193 – 203., 2006
- [8] Türker, P., Erdoğan, B., Kantaş, F. ve Yeğinoğlu, A., Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar – Ge, Ankara, 2007.
- [9] 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.
- [10] TS EN 197 – 1, Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Birleşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [11] 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.
- [12] TS 639, Uçucu Küller – Çimentoda Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1975.
- [13] TS EN 450-2, Uçucu Kül – Betonda Kullanılan-Bölüm 2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [14] 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.
- [15] Asan, A. ve Yaşın, H., Uçucu Küllerin Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine Etkisi, G.Ü Fen Bilimleri Dergisi, 16 (1): 47 – 54, 2003.
- [16] Yaprak, H., Şimşek, O. ve Aruntaş, H.Y., Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Üzerine Etkisi, Beton 2004, İstanbul, 2004.
- [17] Subaşı, S., Kap, T., Beycioğlu, A. ve Çullu, M., Uçucu Kül Katkı Miktarının Beton İşlenebilirliği ve Sertleşme Sürelerine Olan Etkisi, Beton 2008, İstanbul, 2008.
- [18] Yeğinoğlu, A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar – Ge, Ankara, 2007.

- [19] Özcan, F., Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana, 2005.
- [20] Şimşek, O., Dur, A. ve Yaprak, H., Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Harçların Özellikleri, Politeknik Der. Cilt:7 Sayı:2, 169 – 178, 2004.
- [21] Bhanja, S. and Sengupta, B., Influence of Silica Fume on the Tensile Strength of Concrete, Cement and Concrete Research 35, 743 – 747, 2005.
- [22] Kızgut, S., Çuhadaroğlu, D. ve Çolak, K., Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması, TUMAKS 2001, ISBN 975 – 395 – 416 – 6, 2001

