

## **SİLİS DUMANININ BETON TEKNOLOJİSİNDE KULLANIMI**

<sup>a</sup>Ahmet BEYÇİOĞLU, <sup>a</sup>Dilek DOĞAN <sup>a</sup>Canan ÇAKIR, <sup>b</sup>Serkan SUBAŞI, <sup>c</sup>Celalettin BAŞYİĞİT

<sup>a</sup>Düzce Üniversitesi Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu, Yapı Ressamlığı Programı

<sup>b</sup>Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

<sup>c</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

[abeycioglu@gmail.com](mailto:abeycioglu@gmail.com) [fizikci\\_canan@hotmail.com](mailto:fizikci_canan@hotmail.com) [serkansubasi@düzce.edu.tr](mailto:serkansubasi@düzce.edu.tr) [cbasyigit@tef.sdu.edu.tr](mailto:cbasyigit@tef.sdu.edu.tr)

### **ÖZET**

Betona optimum miktarda silis dumanı eklenmesi hidrasyon ısısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite sağlaması, alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi birçok yararlar sağlamaktadır. Silis dumanı katkısı agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılaştırarak daha boşluksuz ve daha mukavemeti yüksek betonlar elde edilmesini sağlar. Buna karşın silis dumanının işlenebilirliği düşürmesi gibi olumsuz etkileri de vardır. Betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olarak belirlenir ve çimento, agrega, akışkanlaştırıcı katkı tip ve miktarları ile bakım koşulları gibi faktörlerden de etkilenir. Bu çalışmada endüstriyel bir atık malzeme olan silis dumanının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve betonda silis dumanı miktarının optimum kullanımı ile ilgili öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Beton teknolojisi, Endüstriyel Atık, Silis Dumanı

### **1.GİRİŞ**

Günümüzde insan nüfusunun hızla artması ve mevcut kaynakların tükenmeye başlamasıyla, meydana gelen atıkların azaltılması, mevcut atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, kullanılmış hammaddelerin yeniden kullanılması gibi atık yönetimi konuları giderek önem kazanmaya başlamıştır [1]. Doğal kaynakların daha az tüketilmesi, çevre kirliliğinin daha aza indirgenmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstriyel atık kullanımı gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken bir konu olmaktadır [2].

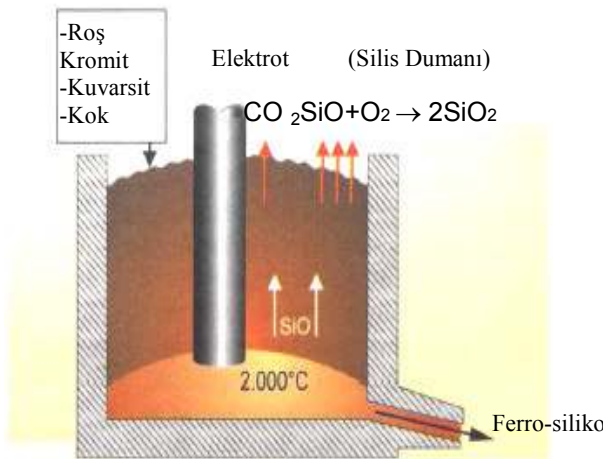
Son yıllarda beton teknolojisi uzmanları, kimyasal ve endüstriyel atık olan puzolanik katkıların özel ihtiyaçlara göre beton yapımında kullanımı konusunda birçok araştırma yapmışlardır. Puzolanik malzemeler arasında, betona yüksek dayanım veren başlıca katkı, silis dumanıdır. Uygulamaların verimli olabilmesi için silis dumanının %85 ve daha fazla SiO<sub>2</sub> içermesi, partiküllerinin oldukça ince olması ve az miktarda yanmamış karbon içermesi gerekmektedir.

## 2.SİLİS DUMANIN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

### 2.1.Silis Dumanının Tanımı

Silis dumanı, silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşeni 1 µm' den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO<sub>2</sub>) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür.[3]

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85 - %98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye “yoğunlaştırılmış silis dumanı” veya kısaca “silis dumanı” adı verilmektedir. Bu malzeme, “mikrosilis”, veya “silis tozu”, veya “silika fme” gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıda ve çok ince taneli malzeme olmasından dolayı ve yüksek miktarda SiO<sub>2</sub> içermesi sebebiyle, mükemmelen bir puzolanik malzemedir.[4]



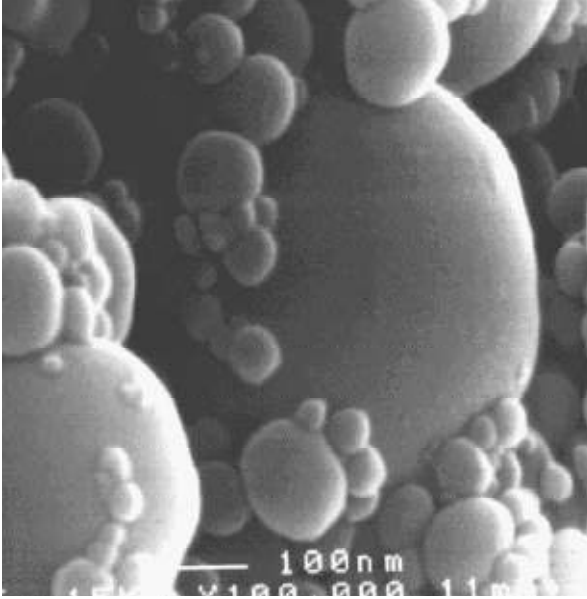
şekil 1. Elektrik-ark fırınında silis dumanı oluşumu[5]

### 2.2.Silis Dumanının Özellikleri

#### 2.2.1.Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

##### 2.2.1.1.Renk

Silis dumanının rengi açık griden koyu griye değişen renkte olabilir. Koyuluk, içeriğindeki karbonun artmasıyla artmaktadır. Silis dumanı su ile karıştırıldığında rengi koyulaşmakta hatta siyaha dönüşmektedir.[6]



Şekil 2. Silis dumanının SEM görüntüsü [17]

#### 2.2.1.2.İncelik

Silis dumanı çok ince öğütölmüş parçalar içermektedir. Parçaların büyük çoğunluğunun boyu 0.1-0.2  $\mu\text{m}$  arasındadır. Bu boyut, bir Portland imentosunun taneciklerinin ortalama boyutundan 100 kat daha küçüktür. Genelde 45  $\mu\text{m}$  eleğinin üzerinde kalan malzeme boyut üstü (kalın) olarak kabul edilmektedir.[4]

Kalın malzemenin silis dumanı içindeki yeri genellikle %6'nın altındadır. Silis dumanının öđđöl alanı Blaine aleti ile ölçülememektedir. Nitrojen emme yöntemi ile ölçölen öđđöl yüzeyi çoğunlukla 130.000-280.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$  arasında değişmektedir. Betonda kullanılan silis dumanı öđđöl yüzeyi 200.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$  civarındadır.

Silis dumanının inceliği diğer malzemelerle karşılaştırdığında daha iyi görölmektedir:

Silis: ~ 200.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$

Tütün Külü: ~ 100.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$

Uçucu Köl: 4.000~7.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$

Normal Portland imentosu: 3.000  $\text{cm}^2/\text{gr}$

#### 2.2.1.3.Öđđöl Ağırlık

Beton için uygun olan silis dumanlarının öđđöl ağırlıkları 2.2-2.3 arasındadır.(Portland imentosunun öđđöl ağırlığı 3.1 civarındadır).

#### 2.2.1.4.Gevşek Halde Birim Ağırlık

Silis dumanının üretildiği gevşek haldeki birim ağırlığı genelde 200~300  $\text{kg}/\text{m}^3$  arasındadır. Gevşek haldeki Portland imentosunun birim ağırlığı ise 1500  $\text{kg}/\text{m}^3$ 'tür.

### 2.2.1.5.Puzolanik Aktiflik ve Su İhtiyacı

Silis dumanı, çok ince olması ve yüksek silis içeriğinden dolayı genel olarak oldukça yüksek puzolanik aktiviteye sahiptir. Çimentolu ortamda bulunduğunda en önemli görevi,  $C_2S$  ve  $C_3S$  hidrasyonları sonucu oluşan  $Ca(OH)_2$ 'i bağlamak ve yeni bir CSH jeli meydana getirmektir. Bu jel imento hamurunda normal olarak oluşan CSH jellerinden biraz farklıdır, yoğunluğu daha azdır ancak geirirmliliği daha fazladır. Böylece silis dumanı taneleri, büyük kristaller yerine çok sayıda daha küçük ve daha sağlam  $Ca(OH)_2$  kristallerinin oluşmasına yardımcı olmaktadırlar. Küçük kürecikler halindeki silis dumanı tanecikleri, uygun oranda akışkanlaştırıcı katkı kullanılması halinde, imento taneleri arasındaki boşluklarda suyun yerini alarak daha yoğun bir imento hamuru meydana getirebilmektedirler.[7]

Ařırđı ince olmasından dolayı, silis dumanının su ihtiyacı oldukça fazladır. Bu su ihtiyacı, uçucu kül ve doğal puzolanlar için verilen st sınırların çok üzerindedir. Tablo 1'de silis dumanının puzolanik aktivitesi ve su ihtiyacı için bulunan sonuçlar, uçucu kül ve doğal puzolanlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

ASTM C618'in sınırları				
	Doğal puzolan	F sınıfı uçucu kül	C sınıfı uçucu kül	Silis dumanı
Dayanım aktivite indisi 28 günde kontrol numunesine oranla % min.	75	75	75	110
Su ihtiyacı Kontrol numunesinin % max.	115	105	105	134

**Tablo 1.** Silis dumanının puzolanik aktivitesinin ve su ihtiyacının uçucu kül ve doğal puzolan ile karşılaştırılması.[4]

Silis dumanının beton ve harç için etkili bir puzolanik malzeme olduğu ve elde edilen betonların düz imento hamuruna göre, daha süreksiz ve su geçirimsiz boşluk yapısına sahip olduğu belirtilmektedir.[8]

### 2.2.2. Silis Dumanın Kimyasal zellikleri ve Kompozisyonu

Silis dumanının esas bileşeni kristalize olmayan amorf haldeki silistir. Genelde, beton içinde katkı olarak kullanılan silis dumanının  $SiO_2$  içeriği %85'in üzerindedir. İkinci esas bileşeni ise yanmamış karbon kalıntılarıdır.  $Fe_2O_3$  içeriği ise %1 ile %2 civarındadır.  $Al_2O_3$ ,  $SO_3$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$  ve  $K_2O$  gibi oksitler ise genelde %1'den az miktarda bulunur. Silis dumanının kimyasal özelliği, üretilen metalin ya da alaşımın tipine göre değişebilir. Demir silikon üretiminden elde edilen silis dumanının, demir ve magnezyum içeriği diğer silikon metal üretilen fırınlardan elde edilen silis dumanının demir ve magnezyum içeriğinden daha fazladır. Tablo 2'de bazı tipik silis dumanlarının kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

<b>Bileşen</b>	<b>USA</b>	<b>Norveç</b>	<b>Kanada</b>	<b>Türkiye</b>
SiO <sub>2</sub>	90-93	90-96	89.0-95.0	93-95
C	1.3-2.6	0.5-1.4	2.1-4.2	0.8-1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4-0.7	0.2-0.8	0.1-3.1	0.4-1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-1.6	0.5-3	0.1-0.7	0.4-1.4
MgO	0.3-0.5	0.5-1.5	0.3-1.0	1-1.5
CaO	0.5-0.8	0.1-0.5	0.1-1.0	0.6-1
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1-0.3	0.2-0.7	0.1-0.2	0.1-0.4
K <sub>2</sub> O	1-1.2	0.4-1	0.5-1.4	0.5-1
S	0.1-0.2	0.1-0.4	0.1-0.2	0.1-0.3
Kızdırma Kaybı	1.4-2.8	0.7-2.5	2.3-4.4	0.5-1

**Tablo 2.** Silis dumanının kimyasal kompozisyonu (% olarak) [9]

### **3.SİLİS DUMANININ TAZE ve SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

Silis dumanının beton üretiminde kullanılmasıyla elde edilen olumlu özellikler ve potansiyel zararlı etkiler maddeler halinde özetlenmiştir:[4]

#### Olumlu Etkileri

- Betonda yüksek basınç dayanımı elde edilmesini sağlamaktadır.
- Taze betondaki terlemeyi ve ayrışmayı azaltmaktadır.
- Betonun hidrasyon ısısını azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını artırmaktadır.

#### Potansiyel Zararlı Etkileri

- Silis dumanı kullanarak üretilen betonların yüksek miktarda karışım suyu ihtiyacı vardır. Bunu telafi edebilmek için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir.
- Silis dumanı çok ince taneli olduğundan ve terlemeyi azalttığından, betonun yüzeyinin düzeltilmesi işlemi daha zor olabilmektedir.
- Silis dumanı kullanılması durumunda, daha çok miktarda plastik büzülme çatlağına yol açabilmektedir.
- Silis dumanı, nispeten daha koyu renkli beton elde edilmesine neden olmaktadır.

### **3.1.Taze Beton Özellikleri Üzerine Etkisi**

#### **3.1.1.Su İhtiyacı**

Silis dumanı tanelerinin çok ince olmasından dolayı, belirli bir çökme değeri için betonun su ihtiyacı artmaktadır. Bu yüzden, betonda daha az su kullanmak amacıyla, silis dumanlı katkılarla yapılan betonlarda su azaltıcı katkı malzemelerinin de kullanılması gerekmektedir.

Genel olarak, her 1 kg/m<sup>3</sup> silis dumanı katkısı için, taze betondaki su ihtiyacı yaklaşık olarak 1 lt/m<sup>3</sup> kadar artmaktadır. [18]

### 3.1.2.İşlenebilirlik

Silis dumanlı beton, sadece Portland çimentosu ile yapılmış olan betondan çok daha koheziftir. Gerek yüksek kohezyondan ve gerekse ince katı taneciklerin arasında daha çok temas olmasından, silis dumanlı betonların işlenebilmesi azdır. Betona katılan silis dumanının oranı çimento ağırlığının %5'inden daha yukarılara çıktıkça, beton daha yapışkan olmakta, yüzey düzeltme işlemlerinde kullanılan malzemelere yapışarak güçlük çıkarmaktadır. [18]

### 3.1.3.Kanama ve Ayırışma

Silis dumanı tanecikleri aşırı derecede ince olduklarından ve özgül yüzeyi artırdığından bir kısım su, taze beton halinde, bu tanecikler tarafından tutulmaktadır. Böylece taze beton içerisinde yükselecek olan su azaldığından bu durum terlemeyi de azaltmaktadır.

Silis dumanı tanelerinin büyük yüzey alanı taze beton içindeki serbest suyun büyük bir kısmını bağlamakta ve oldukça ince olan silis dumanı tanecikleri çimento tanelerinin aralarına girerek yüzeye sızıntı olabilecek kanalları azaltmaktadır. Böylece çok az suyun serbest kalmasına ve terlemenin azalmasına katkıda bulunmaktadır.[10]

Silis dumanlı beton vizkositeyi ve iç kohezyonu artırmaktadır. Bu nedenle normal betona göre ayırışmaya daha az eğilimlidir. Ancak silis dumanlı betona akışkanlaştırıcı ilave edildiğinde ve taze beton uzun süre vibrasyona maruz kaldığında, slump yüksek ise ayırışma meydana gelebilir.[11]

### 3.1.4.Rötre

Silis dumanı doldurucu özelliğinden dolayı betona yüksek kohezyon vermektedir. Bu nedenle taze betonda terlemenin çok azalması veya hiç meydana gelmemesi, özellikle beton yüzeyinde buharlaşmanın olduğu ortamlarda plastik büzülmeden dolayı çatlama riskini artırabilmektedir. Çatlakların oluşması priz başlangıcına kadar sürebilmektedir.

Mazloom'a göre, silis dumanı miktarının artması, toplam rötreyi önemli derecede etkilememektedir fakat karışımındaki silis dumanı oranı arttıkça, otojen rötre de artmaktadır.[12]

### 3.1.5.Priz Süresi

Silis dumanı katkılı çimento hamurları genellikle daha geç priz alırlar. Katkı miktarı çimento ağırlığının %10'unu geçmedikçe bu etki önemsenebilir. Betonda kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkıların da priz süreleri üzerinde etkileri mevcuttur. Örneğin, çimentoyla %15 oranında yer değiştirilen silis dumanı katkılı ve süper akışkanlaştırıcı betonlarda, priz başlangıç ve bitiş süresinde sırası ile 1 ve 2 saatlik uzamalar gözlenmiştir.[13]

### 3.1.6.Hidratasyon

#### Hidratasyon Isısı

Çimento ağırlığının %7-%10'u kadar silis dumanı kullanılarak yapılan betonların ilk 72 saat içerisindeki hidratasyon ısısı, silis dumanı kullanılmayan betonlardan biraz daha fazla olabilmektedir. Ancak, silis dumanlı betonlarda, silis dumanı kullanılmayan betonlarınkine göre, yaklaşık %8-%10 kadar daha az hidratasyon ısısı çıkmaktadır.[4]

Silis dumanı katkısının hidratasyon ısısı üzerindeki etkileri değişebilmektedir. Bazı araştırmacılar, silis dumanı ilavesiyle hidratasyon ısısının ilk günlerde arttığını, sonraları ise azaldığını belirtmekte iken; bazı araştırmacılar ise silis dumanlı betonlarda ileri yaşlarda toplam ısının arttığını belirtmektedir.

#### Hidratasyon Hızı

Silis dumanının çok etkin bir puzolan olarak hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırdığını ve daha yoğun olarak devam ettirdiğini belirtmektedir.[7]

Silis dumanı katkısı; OH- iyonlarının ve alkalilerin gözenekli sıvılarda serbest kalmasından dolayı, çimentonun erken yaştaki hidratasyon hızını artırmaktadır. Silis dumanı, ilk birkaç saat boyunca C<sub>3</sub>A ve C<sub>3</sub>S hidratasyonlarını hızlandırmaktadır. Bu kireç, CSH ve etrengit gibi hidratasyon ürünlerine çekirdekleşme alanları yapmayı sağlamaktadır.[14]

### 3.1.7.Hava Sürükleme

Silis dumanının beton karışımına ilavesi ile karışım için gerekli hava katkı maddesi ihtiyacı, portland çimentosuna göre daha fazla artmaktadır. Bunun sebebi, silis dumanın özgül yüzeyinin yüksek olmasına (ok ince taneli olmasına) ve içerdiği yanmamış karbona bağlanabilmektedir.[14]

## 3.2.Sertleşmiş Beton zellikleri zerine Etkisi

### 3.2.1.Dayanım

Silis dumanının betona ilavesi basınç dayanımını oldukça arttırmaktadır. Silis dumanının betondaki boşlukları doldurma ve puzolanik etki olmak üzere iki işlevi vardır. Bunlardan hangisinin belirleyici olduğu yönünde değişik görüşler vardır. Ancak silis dumanının puzolanik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-imento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu, mikro yapısal ve mekanik incelemelerle kanıtlanmıştır. [19]

Tanecik yapısının çok ince olması nedeniyle imento tanecikleri arasına girerek boşlukları doldurmakta ve agrega-imento hamuru ara yüzeyini geliştirmektedir.[20].Silis dumanının beton basınç dayanımına olumlu etkisi erken yaşlarda daha belirgindir. Betonun 28 günlük dayanımını artırmayı amaçlayan çalışmalarda silis dumanın genellikle çimentonun %10-20'si

oranında betona katıldığı ve gerekli işlenebilmeyi sağlamak için %10'dan yukarı miktarların süper akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte kullanıldığı görülmektedir.[7]

### **3.2.2.Permeabilite (Geçirimsizlik)**

Silis dumanı içeren betonların, portland çimentosuna göre daha az geçirimsiz olduğu bulunmuştur. Toplam porozitenin yaklaşık aynı kalmasına rağmen, çimento-silis dumanı hamuru içindeki büyük gözeneklerin azalması nedeniyle hamurun daha homojen olduğu ve geçirimsizliğin azaldığı düşünülmektedir.[7]

### **3.2.3.Aşınma Direnci**

Silis dumanlı betonun aşınma direncinin iyileştiği görülmektedir.[15] Bu durum yüksek dayanıma bağlanabilir. Silis dumanı betonu çelik paletli araçların kullanıldığı yollarda kaplama olarak başarı ile kullanılmıştır.[16] Düşük S/B oranlarında, silis dumanının aşınma direncini artırdığını; 0,50 ve 0,60 S/B oranlarında ise aşınmayı artırıcı yönde etkisi olduğunu belirtmektedir.

### **3.2.4.Kimyasal Direnc**

Betonun geçirgenliği ve  $Ca(OH)_2$  içeriği betonun birçok kimyasala karşı direncinde rol oynayan iki faktördür. Silis dumanı %12'den %20'ye kadar yüksek oranlarda kullanılarak  $Ca(OH)_2$  içeriği ve geçirgenliliğin azaltılması sağlanmaktadır. Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında, yüksek dozlu silis dumanının betonda kullanımının betonun direncini amonyum nitrat, sülfirik asit, hidroklorik asit, asetik asit, laktik asit, gibi birçok solüsyona karşı iyileştirdiği bulunmuştur.[6]

### **3.2.5.Sülfat Direnci**

Silis dumanı ile elde edilen betonun sülfata karşı direnci iyileşmektedir. Norveç'te yapılan araştırmalarda, silis dumanı katkılı betonların sülfata karşı gösterdiği direncin, Tip V- Sülfata Dayanıklı Portland Çimentosu ile yapılan betonlardaki kadar yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.[16]

### **3.2.6.Alkali-Silika Reaksiyonu**

Yüksek oranda alkali içeren çimento ve reaksiyona hazır agreganın mevcudiyetinde silis dumanı ilavesiyle üretilen (%5-%10) betonlarda alkali-silika reaksiyonunun bozuculuğu önlenmiş ya da geciktirilmiştir.



#### 4.SONUÇ

Çalışmada yapılan araştırmalar değerlendirilecek olursa, Silis dumanı tanelerinin çok ince olmasından dolayı, belirli bir okme değer için betonun su ihtiyacını arttırmaktadır. Betonda kullanılan silis dumanının oranı imento ağırlılığının %5'inden daha yukarılara çıktıkça, beton daha yapışkan olmakta, yüzey düzeltme işlemlerinde kullanılan malzemelere yapışarak güçlük çıkarmaktadır. İşlenebilirlik açısından silis dumanı içeren betonlar daha kohezif hale geldiğinden dolayı işlenebilirlik azalmaktadır. Silis dumanı içeren betonlar daha geç priz almaktadırlar.

Mekanik dayanım açısından değerlendirme yapılacak olursa silis dumanının puzolanik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-imento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu ve basınç dayanımı belirli bir ikame miktarına kadar arttırdığı söylenebilir. Ayrıca betonda mikro boşlukları doldurması nedeniyle dayanıklılığa (durabiliteye) olumsuz etki eden birçok dış faktöre karşıda direnç sağlamaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1]Akbulut, H., Grer, C., “Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega Olarak Değerlendirilmesi” *İmo Teknik Dergi*, 2006 3943-3960, Yazı 261.
- [2]elik, ., “Uçucu Kül, Silis Dumanı Ve Atık amur Katkılarının imento Dayanımlarına Etkileri” Beton 2004 Hazır Beton Kongresi Bildiriler Kitabı.
- [3]KOCA, C., 1996. Yüksek Performanslı Beton retiminde Mikrosilis, Curuf, Klinker Karışımı imento Kullanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnaşat Mühendisleri Odası, İstanbul, s.381-394.
- [4]ERDOĞAN, T.Y. 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.ř., Ankara, 741s.
- [5]Azevedo, C.S., “Contribuião das Adiões Minerais Para a Resistncia à Corrosão da Armadura do Concreto”, Goiania Disertation, Goias Federal University, Brezilya, 2001.
- [6]MALHOTRA, V.M., 1997. Mineral Admixtures. Concrete Construction Engineering Handbook, Nawy Edward G. CRC Press, New York, pp.27-36.
- [7]YEĞİNOBALI A, 1993. Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Endüstriyel Atıkların İnaşat Sektrnde Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, Ankara, s.149-167.

- [8]BAYASI, Z., ZHOU, J., 1993. Properties af Silica Fume Concrete and Mortar, ACI Materials Journal 90 (4) pp.349-356.
- [9]YAZICI, Ő., 1996. The Mechanical Properties and Durability of High Strength Concrete with Silica Fume and Fly Ash. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 115s.
- [10]ÖZBEK, R., 1998. Silis Dumanın Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 86s.
- [11]KHAYAT, K.H., VACHON, M., LANCTOT, M.-C., 1997. Use of Blendend Silica Fume Cement in Commercial Concrete Mixtures. ACI Material Journal, v.94, n.3, pp.183-192.
- [12]MAZLOOM, M., RAMEZANIANPOUR, A.A., BROOKS, J.J., 2004. Effect Of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. Cement & Concrete Composites, v. 26, pp.347-357.
- [13]KHAYAT, K.H., AITCIN, P.C., 1992. Silica Fume in Concrete: an Overview. ACI Sp Publication S132, Detroit, pp.835-872.
- [14]LARBI, J.A., FRAAY,A.L.A., BIJEN, J.M., 1990. The Chemistry of The Porefluid of Silica Fume-Blended Cement Systems. Cement and Concrete Research 20 (4), pp.506-516.
- [15]EKİNCİ, C.E., 1995. Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 204s.
- [16]ÖZCAN, F., 2005. Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 173s.
- [17] Papwort, H., F., 1997. “Production of Silica Fume”, M.I.E (Australia) Civil Engineering.
- [18] Erdoğan T.Y. 2007. ”BETON”. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim A.Ş. Genişletilmiş 2. Baskı. Ankara.
- [19] Akçaözöğlu, K., 2007. Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı Ve Birim Kısalma Üzerindeki Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- [20] Toutanji, H., Delatte, N., Aggoun, S., Duval, R., Danson, A., 2004. Effect Of Supplementary Cementitious Materials On The Compressive Strength And Durability Of Short-Term Cured Concrete, Cement And Concrete Research. 311-319.