



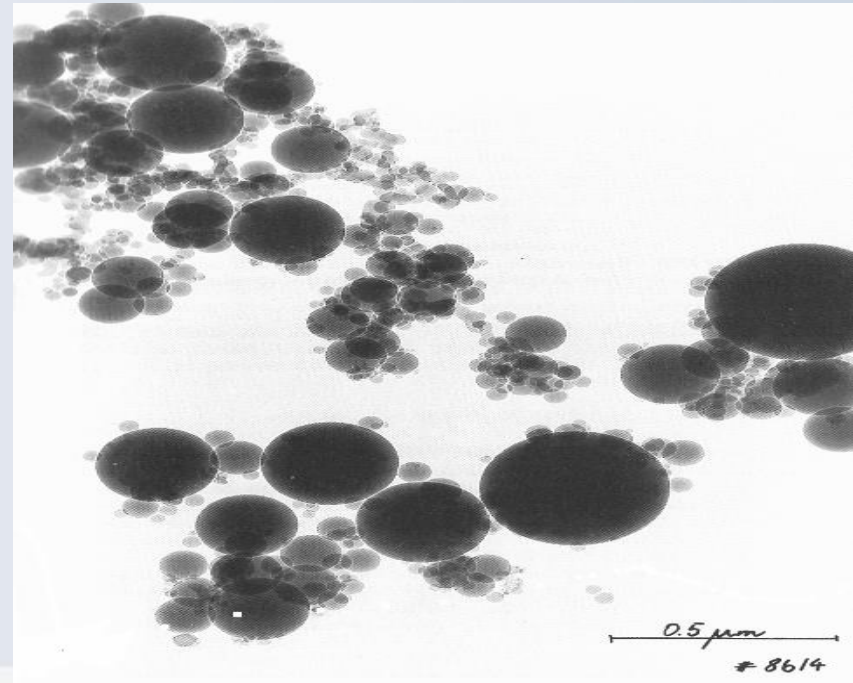
Beton Tasarımında Silis Dumanı Kullanımı

Çimento Araştırma ve Uygulama Merkezi



Silis Dumanı (Silika Füme-Mikro Silika)

- Silis dumanı silikon metal veya ferrosilikon alaşım endüstrisinin yan ürünü olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Elektrik ark fırınlarında kuvarzın silikona indirgenmesi sırasında oluşan, ortalama tane boyutu $0.1 \mu\text{m}$ olan malzeme torba filtreler aracılığıyla toplanır.
- Türkiye'de Antalya Ferrokrom tesislerinde yılda ortalama 500-1000 ton civarında üretilmektedir.



Silis Dumanı (Silika Füme-Mikro Silika)

- Silis dumanının incelik değeri çok yüksek olduğu için incelik ölçümünün elek analizi ve blaine değeri ile yapılması uygun değildir. Silis dumanının tane boyu azot absorpsiyonu (BET) analiziyle tespit edilir.
- BET kullanımıyla ortaya çıkan özgül yüzey 14000 ila 25000 m² olmaktadır. Malzeme çok ince olduğu için tozuma yapabilmektedir. Bu yüzden kullanımı sırasında gerekli koruyucu önlemlerin alınması gerekir. Taşınması sırasında beletleme veya bulamaç haline getirme yöntemleri kullanılabilir.
- Malzemenin yoğunluğu 2,2 g/cm³, birim hacim ağırlığı ise 200-250 kg/cm³ mertebesindedir.

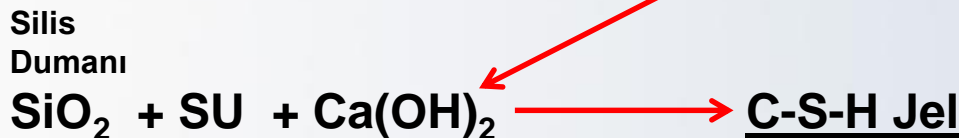
Silis Dumanının Betonda kullanımı

- Silis dumanı çimentonun suyla olan reaksiyonunun ürünü olan kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)_2) tepkimeye girerek C-S-H Jeli oluşturur.
- C-S-H Jeli betonda dayanımı sağlar, oluşması istenen üründür.
- Ca(OH)_2 Dayanıma katkısı olmayan, suda çözünen ve betonun boşluklu yapısından sorumlu fazdır. Betonun içerisinde minimum miktarda olması tercih edilir.

Çimento Reaksiyonu:



Silis Dumanı Reaksiyonu



Silis Dumanının Betonda Kullanımı

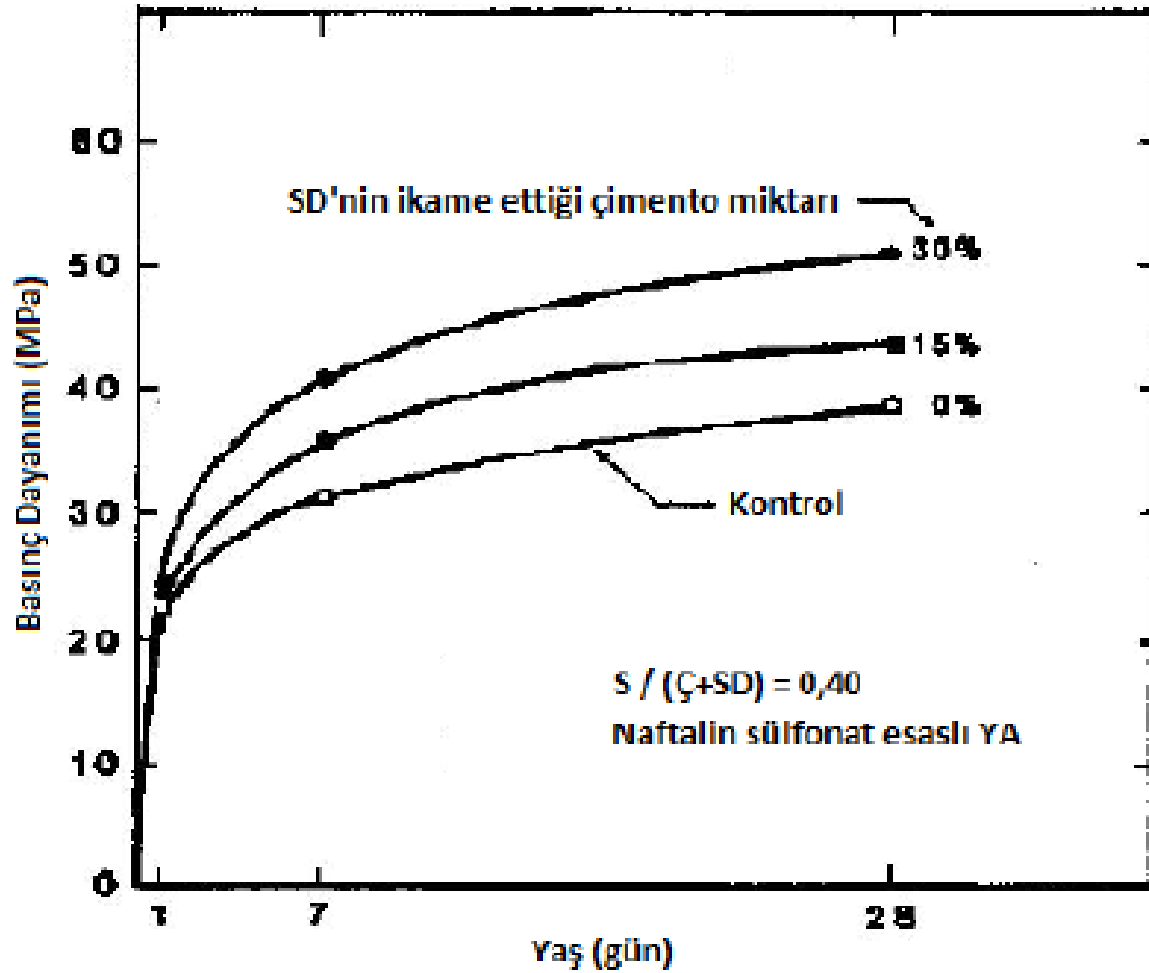
- Silis dumanı, suyun çimento ile reaksiyonunun ürünü olan $(Ca(OH)_2)$ ile uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufu gibi diğer puzolanik malzemelere göre daha erken ve hızlı tepkimeye girer.
- Silis dumanının çimentonun suyla olan reaksiyonuna kimyasal etkisinin yanında fiziksel etkisi de bulunmaktadır. Silis dumanı, ince olması ve mineral yapısı sayesinde çimentonun su ile olan reaksiyonunu hızlandırarak betonun dayanım kazanma sürecini hızlandırmış olur.

Silis Dumanının Betonda Kullanımı

- Silis dumanının yüzey alanının çok yüksek olması, içerisinde bulunduğu yapının su ihtiyacını artırır. Silis dumanının ikame edildiği karışımlara süper akışkanlaştırıcı eklenmesi tavsiye edilir.
- Aynı miktarda su içeren silis dumanlı malzemelerin kıvamı daha yoğun olacağından silis dumanı ikamesiyle hazırlanan betonların 50 mm'ye kadar yüksek ilk çökme değerinde hazırlanmaları önerilir.

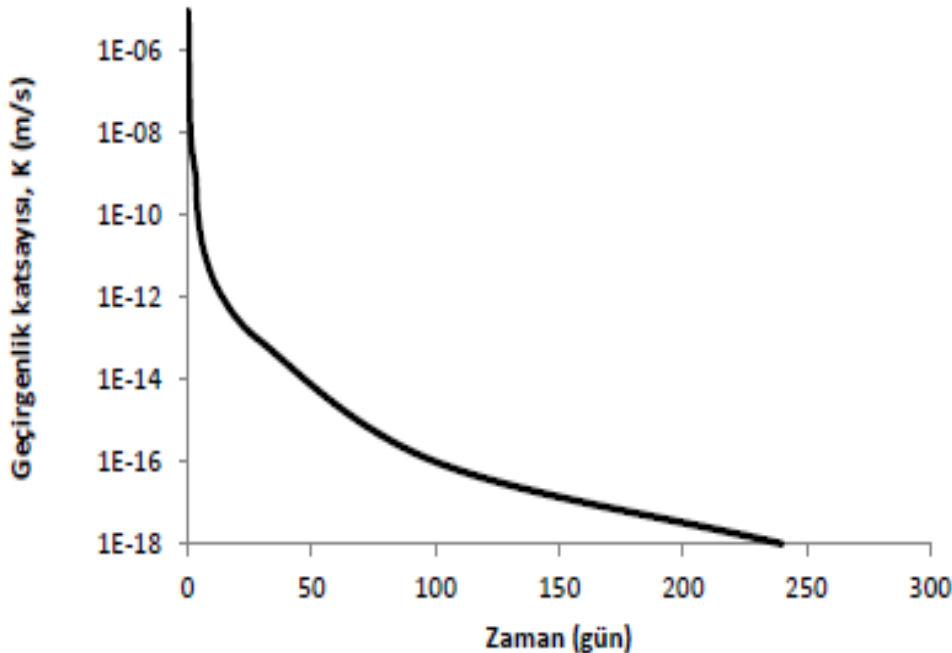
Silis Dumanının Basınç Dayanımına Etkisi

- Silis dumanı ikamesi karışım tasarımında tek farkın silis dumanı olması, kür şartlarının aynı olması halinde bütün yaşlarda betonun basınç dayanımını artırır.



Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkisi

- Silis dumanı kullanımı %10'un, su/çimento oranının 0.6 mertebelerinin altında olması halinde silis dumanının betonun kuruma rötresini azalttığı görülmüştür.
- Geçirgenlik betonun dayanıklılığı üzerinde etkili olan en önemli parametredir. Betonun geçirgenliği düştükçe dış etkenlere karşı dayanıklılığı artar.

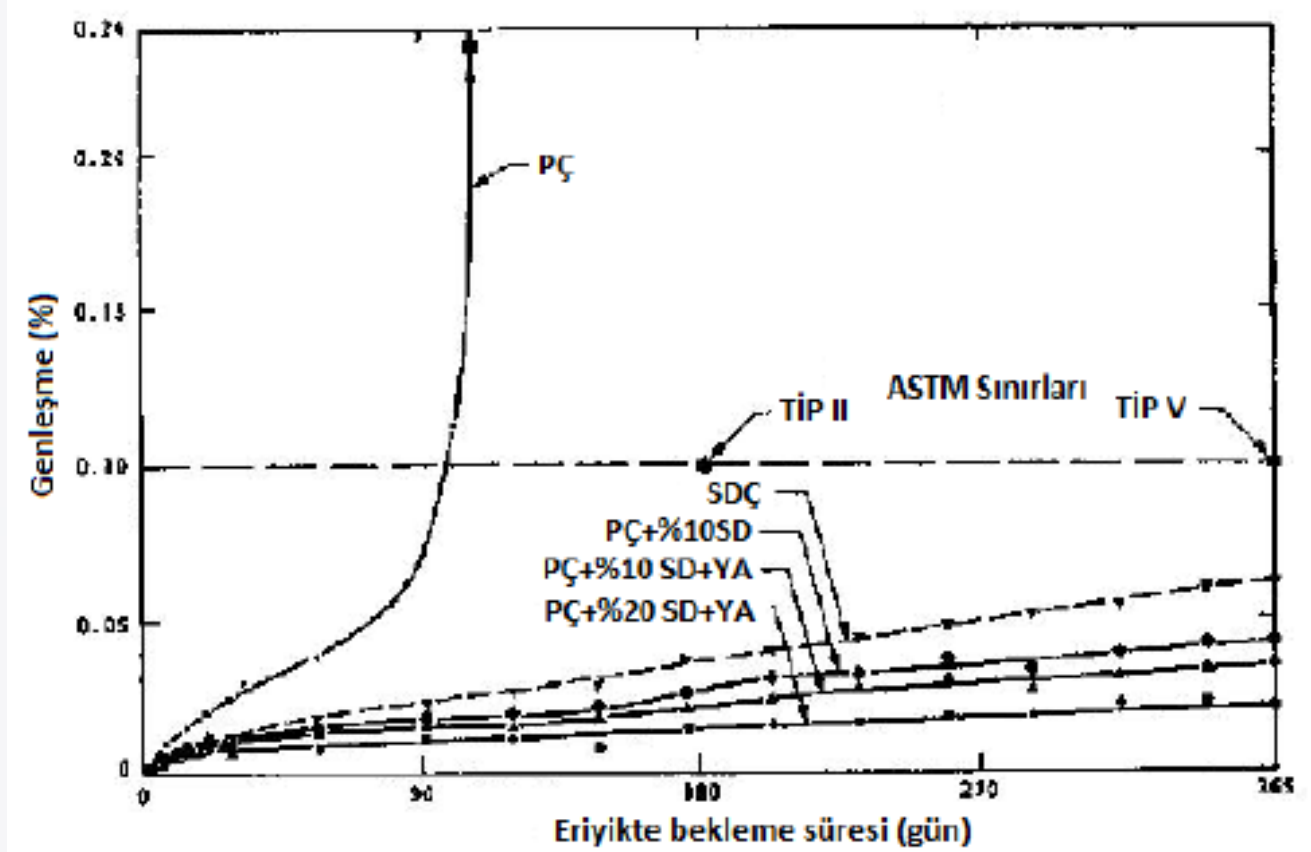


Betonda bulunan Ca(OH)_2 suda çözünebildiği için kılcal boşluklar oluşturur.

Silis dumanı ise Ca(OH)_2 ile tepkimeye girerek boşluklarda kararlı C-S-H jeli oluşturur ve geçirimsizliği azaltır.

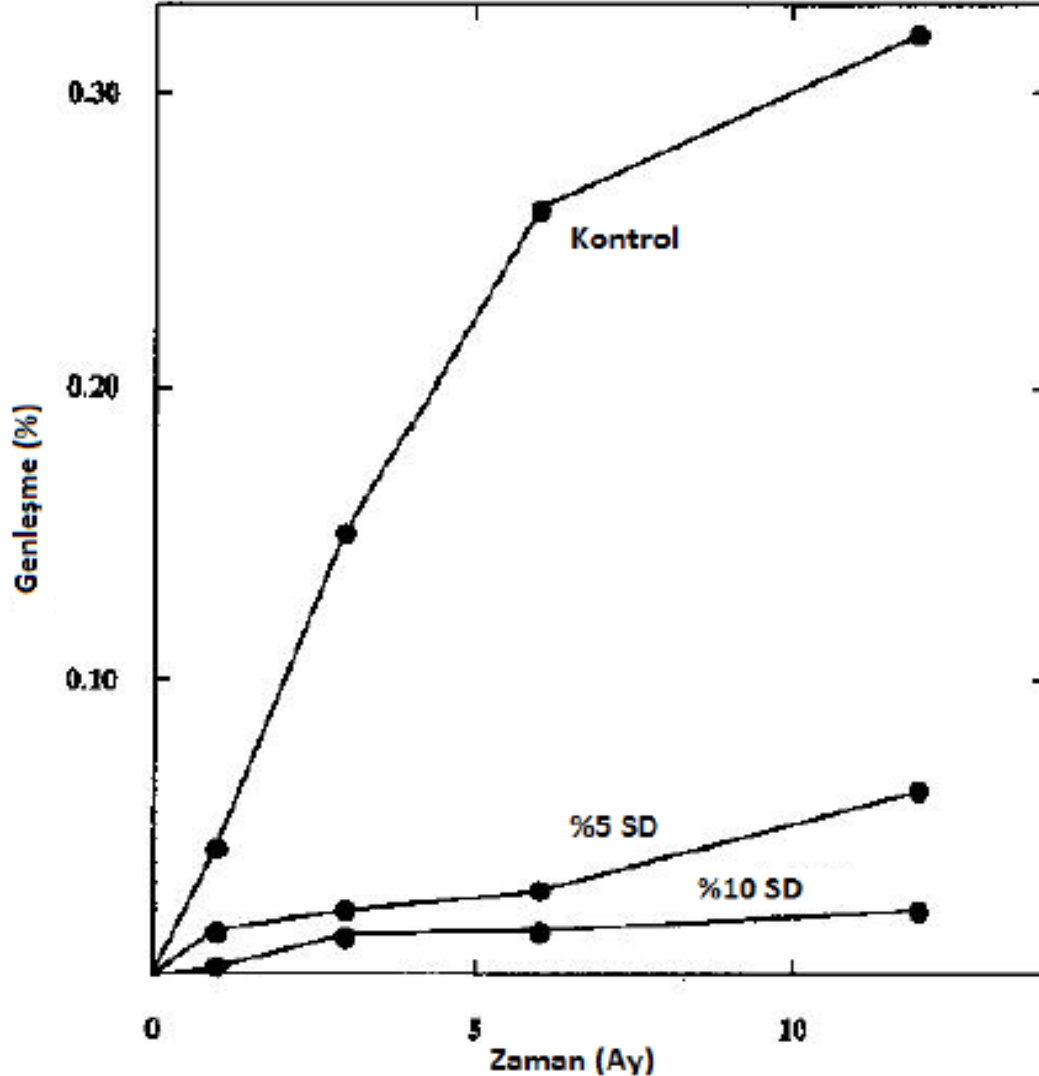
Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkisi

- Silis dumanı ikamesi betonda gerçekleşebilecek sülfat atağına karşı betonun dayanıklılığını artırır.



Farklı oranlarda silis dumanı içeren harç çubuklarının %5 Na₂SO₄ eriyiklerindeki genleşmelerinin ASTM Tip I ve ASTM Tip V çimentolarıyla karşılaştırılması

Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkisi



Silis dumanının çimentodaki alkaliyi, C-S-H jeli bünyesinde bulunan Ca iyonlarıyla değiştirmesi sayesinde silis dumanı ikamesinde zararlı alkali silika genişmesine karşı beton direnci artar.

Betondaki elektriksel direnci artırması sayesinde silis dumanı donatı korozyonuna karşı direnç oluşturur.

Silis Dumanı - Standartlar

- Silis dumanı hem çimentoya hem de betona katkı malzemesi olarak eklenebilmektedir.
- Avrupa'da EN 13263-1, Amerika'da ASTM C 1240 Türkiye'de ise TS EN 13263-1 standartları silis dumanının betonda kullanımı için uygunluk gereklerini içermektedir.
- Silis dumanının çimentoda kullanımı için Avrupa'da kabul gören uygunluk standardı EN 197-1, Türkiye'de TS EN 197-1, Amerikada ise ASTM C 1240 olmuştur.

TS EN 197-1 Çimentoda kullanım için silis dumanı özellikleri

	Değer
Amorf SiO ₂ (%)	≥ 85
Elemental Si (%)	≤ 0,4
Kızdırma Kaybı (%)	≤ 4
BET Özgül Yüzey (m ² /g)	≥ 15

Silis Dumanı (Standartlar)

TS EN 13263-1'e göre betonda kullanım için silis dumanı gerekleri

	Kimyasal Gerekler (%)			Fiziksel Gerekler
Kızdırma Kaybı	Maks. 4		BET İnceliği (m²/g)	Min. 15,0-Maks. 35,0
Klorür	Maks. 0,3		Aktivite İndeksi (%)	Min. 100
Sülfat	Maks. 2			
Serbest CaO	Maks. 1			
Elemental Silisyum	Maks. 0,4			
SiO₂	Sınıf 1	Sınıf 2		
	Min. 85	Min. 80		

ASTM C 1240'a göre betonda kullanım için silis dumanı gerekleri

	Kimyasal Gerekler (%)			Fiziksel Gerekler
Kızdırma Kaybı	Maks. 4		BET İnceliği (m²/g)	Min. 15,0
SiO₂	Min. 85		Aktivite İndeksi 7 gün (%)	Min. 105
			45 µm elek bakiyesi (%)	Maks. 10,0
			Rutubet (%)	Maks. 3,0

Silis Dumanı Kullanımının Avantajları

1) Teknik Avantajlar:

- **Betonun dayanıklılığını artırması**
- **Betonun basınç dayanımını artırması**
- **Betonda kullanımı için öğütülmesine gerek olmaması**

Silis Dumanı Kullanımının Avantajları

2) Çevresel Faydalar:

Mineral Katkılar Çimento Klinkerinin daha az kullanılmasını sağlamakta, bu sebeple:

- Daha az sera gazı emisyonu salınımı,
- Atık ürün olduğu için doğanın daha az kirlenmesini,
- Atıkların saklanması için kullanılan enerjinin tasarrufu sağlanabilmektedir.

Referanslar

- BETONDA UK, GYFC VE SD'NİN ROLÜ: MEVCUT BİLGİ BİRİKİMİ
Mustafa Tokyay İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi
- Lewis, R., Sear, L., Wainwright, P. And Ryle, R., "Cementitious Additions", Advanced Concrete Technology Set, V.3, Butterworth & Heinemann, 2003.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M., Concrete Microstructure, Properties, and Materials, 3rd Ed., McGraw Hill, 2006.
- Sellevold, E.J., Badger, D.H., Klitgaard Jensen, K., and Knudsen, T., "Silica Fume-Cement Pastes: Hydration and Pore Structure", Condensed Silica Fume in Concrete (Ed. O. GjØrv and K.E. LØland) NIT Rept BML 82.610, 19-50, 1982.
- Jahren, P., "Use of Silica Fume in Concrete", Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete ACI SP-79, 625-642, 1983.

Referanslar

- ACI 234R-96 "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete", 51 pp, 1996.
- Sellevold, E.J., and Nilsen, T., "Condensed Silica Fume in Concrete: A World Review", Supplementary Cementing Materials for Concrete (Ed. V.M. Malhotra), CANMET, Ottawa, 165-243, 1987. ,
- Malhotra, V.M., Ramachandran, V.S., Feldman, R.F., and Aitcin, P.C., Condensed Silica Fume in Concrete, CRC Press, 221 pp, 1987.

TEŞEKKÜRLER...

Her türlü soru ve bilgi için..

Çimsa Çimento Araştırma ve Uygulama Merkezi

Toroslar Mah. Tekke Cad.

33013 Yenitaşkent/MERSİN

T: 00.90.324 241 23 37 / 241 23 44

C: 00.90.505 462 00 52

F: 00.90.324 454 00 52