

# İsparta Yöresi Amorf Silika Kayacının Katkı Maddesi Olarak Beton Dayanımına Etkisi

The effect of İsparta Region Amorphous Silica on Concrete Strength  
As An Additive Material

Metin DAVRAZ\*, Lütfullah GÜNDÜZ"

İSBAŞ İsparta Belediyesi Bims Yapı Elemanları San. Ve Tic. A.Ş., İsparta  
\*\*SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 32260, İsparta  
[lutfi@mmf.sdu.edu.tr](mailto:lutfi@mmf.sdu.edu.tr)

**ÖZET:** Amorf silika efektif doğal puzzolanik bir malzeme olup, doğal beyaz jeosilika yataklarından üretilmektedir. Agrega şeklinde veya silika tozu şeklinde, modern yapı endüstrisine özellikle uygun bir malzemedir. 1994 yılından günümüze kadar, Yeni Zelanda'da yapı sektöründe kullanılmış ve yıllar boyunca da kullanımı gelişmiştir. Dünya'da ekonomik olarak halen işletilen tek amorf silika ocağı, Yeni Zelanda Rotorua Bölgesindedir. Bu bölgeden üretilen kayaç, yüksek performanslı betonlar ve geleneksel betonların elde edilmesinde kullanılmıştır. Bu makalede, İsparta Keçiborlu Yöresi amorf silika oluşumlarından elde edilen mikronize silis tozlarının beton dayanım özelliklerini iyileştirici mineral katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılarak, elde edilen bulgular tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Amorf Silika, Doğal Puzolan, Mineral Katkı Maddesi, Beton Dayanımı

**ABSTRACT:** Amorphous silica is a very efficient natural pozzolanic material. It is processed from natural white geosilica deposits. As aggregates or as silica powder, it is particularly suitable to the modern construction industry. It has been used for construction since 1994 in New Zealand and its use has been improved along the years. The only amorphous silica quarry evaluated as economically has been known in New Zealand in the Rotorua region. This amorphous silica rock has been used in the traditional concretes and high performance concretes. In this paper, the formations of amorphous silica of İsparta-Keçiborlu Region are defined in a technical view and its use in the concrete manufacturing as a natural additive material was evaluated. To make a high strength concrete, the effectiveness of using amorphous silica material was analysed experimentally, and the research findings were discussed.

**Keywords :** Amorphous Silica, Natural Pozzolan, Additive Material, Concrete Strength

## 1. GİRİŞ

Amorf silika kayacı ülkemiz madencilik sektörü ve terminolojisi için yaygın olarak bilinen ve kullanılan bir endüstriyel hammadde değildir. Maden kanunu kapsamında da bu adlandırmayla maden tanımlaması bulunmamaktadır. Ülkemizde mevcut maden kanununa göre amorf silika, %90'dan fazla SiO<sub>2</sub> içeriğinden dolayı kuvars, kuvarsit veya kuvars kumu sınıfına dahil edilebilir [1].

Yapılan literatür araştırmalarında, ülkemizde maden ve endüstriyel hammadde resmi kayıt ve istatistiklerine geçmiş ya da incelemelere konu edilmiş, ekonomik nitelik taşıyan amorf silika yatağına rastlanmamıştır. Bu durumda önceleri kuvarsit ve daha sonraları diyatomit olarak tanımlanmış, zaman zaman işletilmiş Keçiborlu (İsparta) amorf silika oluşumları, ülkemizde ekonomik niteliğe ve işletilebilir rezervlere sahip, şu ana kadar bilinen tek amorf silika yatağı olarak tespit edilmiştir.

Dünya'da halen işletilmekte olan ve resmi kayıtlara geçen tek amorf silika yatağı, Yeni Zelanda Rotoura Bölgesi'nde yer alan Tikitere amorf silika ocağıdır. Tikitere doğal amorf silika açık ocağından üretilen hammadde, mikronize toz haline getirilerek, Yeni Zelanda'da inşaat endüstrisinde katkı maddesi olarak kullanılmakta ve ihraç edilmektedir [2,3].

Bu çalışmada, Keçiborlu Yöresi amorf silika oluşumlarının portland çimentosu ile birlikte kullanımı sonucunda elde edilen beton örnekleri üzerine dayanım etkileri, yapılan deneysel çalışmalarla analiz edilmiştir. Beton sektörü açısından son derece önemli olabilecek teknik bulgular elde edilmiş olup, amorf silikanın endüstriyel anlamda beton sektöründeki performans artırıcı mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilirlik kriterleri irdelenmiştir.

## 2. AMORF SİLİKA'NIN TANIMI

Amorf silika, volkanik-hidrotermal sistemler içinde; doymuş silikadan direkt çökelmeyle yeraltı damarları biçiminde, pH'ı nötr, kloritli sular yakınında ve yüzeyde ise silika tortuları olarak veya birincil kuvars hariç

bütün orijinal minerallerin yer aldığı amorf silika + kristobalit + doğal kükürt + alunit + kaolin + limonit gibi ikincil mineral topluluğunda ornatılan oluşum olarak, yüzey veya yan kayaçlarının asit alterasyonundan oluşan ve yataklan tortul bir kayadır.

Amorf silika, açık rengi, hafifliği (birim hacim ağırlığı <math><1\text{gr/cm}^3</math>), mikro gözenekli yapısına bağlı yüksek porozitesi ve su emme kabiliyeti, gevrek ve kolay kırılabilir oluşu ile diğer silikatlı kayaçlardan kolayca ayırt edilebilir. Dünyada bilinen en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Beton dayanımını artırıcı ve priz hızlandırıcı polimer esaslı kimyasal maddeler, uçucu küller, zeolit grubu mineraller ile endüstriyel yan ürün/atık olarak elde edilen silis dumanı gibi, doğal amorf silika da dünyanın bazı bölgelerinde beton katkı maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır.

## 3. AMORF SİLİKA'NIN DÜNYA VE ÜLKEMİZ İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ YERİ

Dünyada baraj gövdesi, viyadük, köprü taşıyıcı sistemleri, çok katlı yapılar, atık baraj ve depoları, havaalanı pistleri, endüstriyel döşemeler, depreme dayanıklı olması istenen özel yapılar vs. gibi yerüstü yapıları; tünel metro, korunaklar, yeraltı depoları gibi yeraltı yapıları ile deniz ve sualtı yapılarında yüksek performanslı beton kullanımı çok yaygındır. Ayrıca endüstriyel zemin ve döşemelerde, tünel kaplamalarında ve püskürtme sıva uygulamalarında yüksek performanslı beton, harç ve sıva kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır [4].

İnşaat ve beton sektörü, ekonomimiz içerisinde payı en yüksek sektörlerin başında gelmektedir. 2000 yılında gerçekleşen çimento üretimi 35.800.000 ton, iç tüketim 31.500.000 tondur. Çimento fabrikalarının kurulu kapasitesi ise toplam 60.000.000 ton civarındadır. 30 milyon tonluk çimento tüketimi ortalama 120 milyon m<sup>3</sup> betona eşdeğerdir. Tüketilen 120 milyon m<sup>3</sup>'e eşdeğer beton ve/veya betondan imal edilen ürünlerin %1'inin yüksek performanslı beton sınıfına

girdiği kabul edilirse, ülkemiz katkı maddesi ihtiyacının (kullanılan çimento oranının en az %10'u oranında ilave edildiği göz önünde bulundurulur) 30 bin ton civarında olduğu görülecektir. Asgari 30 bin tonluk iç tüketimin ülke ekonomisine yansması en az 5 milyon USD'dir. Isparta-Keçiborlu Yöresi'ndeki rezerv, bu talebe cevap verebilecek potansiyele sahiptir.

Yöredeki amorf silika oluşumları, 300.000 m<sup>3</sup> görünür+muhtemel rezervi ile halen ülkemizdeki bu çalışma ile ortaya konulan ve ekonomik değer taşıyan en önemli rezervdir [5].

#### 4. İSPARTA KEÇİBORLU YÖRESİNE AİT AMORF SİLİKA KAYACININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Isparta Keçiborlu Yöresi'ndeki amorf silika oluşumlarının, inşaat-beton sektöründe endüstriyel bir hammadde olarak değerlendirilebilirliğini belirlemek amacıyla, kayacın fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmış olup, özetle Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Amorf Silika Kayacının Fiziksel Özellikleri (Kumludere)

Fiziksel Özellikler	
Renk	Açık krem
Sertlik (Mohs)	5,5-6
Gerçek Özgül Ağırlık	2.39 gr/cm <sup>3</sup>
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	630 kg/m <sup>3</sup>
Görünür Porozite	%45
Su Emme (ağırlıkça)	%50

Çizelge 2 incelendiğinde, her iki kayaç örneğinin birbirine oldukça yakın kimyasal bileşenlere sahip olduğu ve silisyum dioksit içeriklerinin oldukça yüksek değerler arz ettiği görülmektedir. CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O alkali metal ve toprak alkalilerin oksit bileşenleriyle, SO<sub>3</sub>'in düşük oranda yer alması, betonda alkali-agrega reaksiyonu ve sülfat etkisi bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca Çizelge 2'de Keçiborlu amorf silika kayacı, TS 25 standardına göre doğal puzolanlar sınıfında yer alan tras ve TS 639 standardına göre uçucu

küllerde istenilen kimyasal özellikler ile karşılaştırılmıştır [6,7].

Çizelge 2. Kumludere-Değirmenderesi Yöresi Amorf Silika Kayacının Kimyasal Bileşenleri

Kimyasal Bileşenler	Kumludere (%)	Değirmenderesi (%)
SiO <sub>2</sub>	92,48	90,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60	2,66
TiO <sub>2</sub>	1,34	1,24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,15
MgO	0,00	0,00
CaO	0,31	0,18
Na <sub>2</sub> O	1,08	1,12
K <sub>2</sub> O	0,04	0,09
SO <sub>3</sub>	0,09	0,06
KK	1,85	3,51

Amorf silika stoğundan alınarak agrega haline getirilen malzemenin bir miktarının, laboratuvarında titreşimli eleklerle boyut tasnifi yapılmış ve -3 mm boyutundaki ince agrega grubu 105°C'lik etüvde kurularak laboratuvar tipi bilyalı değirmende sabit süre, şarj ve devirde öğütülmüştür. Mikronize tozların partikül boyut analizi Başer Madencilik San. A.Ş. Laboratuvarı'na yaptırılmıştır. Beton mineral katkı maddesi olarak mikronize amorf silikanın partikül dağılımı analiz edildiğinde, maksimum partikül boyutunun 222 µm ve ortalama partikül boyutunun 18 µm civarında olduğu belirlenmiştir. Partikül boyut dağılımının, özgül yüzey alanı (blaine), puzolanik aktivite ve beton içerisinde yağışma gibi beton dayanımına olumlu ya da olumsuz yönde etki eden malzeme teknik parametrelerini belirlediği bilinmektedir. Mikronize ürün partikül boyutunun -50 µm ve ortalama partikül boyutunun 5 µm civarında tasarlanması, kullanım aşamasında daha az yığılma ve daha homojen beton karışımı elde edilmesini, dolayısıyla ürünün beton dayanım, kimyasal direnç ve diğer performanslarına etkisinin artmasını sağlayacaktır.

TS 25'e göre Göltaş Çimento A.Ş. Kalite Kontrol Laboratuvarında yapılmış olan, puzolanik aktivite deney bulguları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Mikronize Amorf Silikanın Puzolanik Aktivite Ve Özgül Yüzey Analiz Bulguları

Puzolanik aktivite	
Blaine	12.124 cm <sup>-7</sup> g
İncelik	200um
	90 um
Özgül Ağırlık	2,32 g/cm <sup>3</sup>
Dansite	920 g
Beton Sonuçları	
7 gün sonunda eğilme dayanımı	1,6N/mm <sup>2</sup>
7 gün sonunda basınç dayanımı	11,9N/mm <sup>2</sup>
(TS 25'e göre 7 gün sonunda eğilme dayanımı minimum 1,0 N/mm <sup>2</sup> ; basınç dayanımı minimum 4,0 N/mm <sup>2</sup> olmalıdır.)	

### 5. AMORF SİLİKANIN GELENEKSEL BETONDA PUZZOLAN OLARAK DAYANIM ETKİNLİĞİ

Amorf silika yüksek derecede reaktif bir puzzolandır. Puzzolaneler kohezif, dış ortamlara dayanıklı, ekonomik ve yüksek performanslı beton üretmek için kullanılırlar. ASTM C 618-03'e göre puzzolaneler kendi başına bağlayıcı özelliği çok az olan veya hiç olmayan, fakat doğal yapıları gereği veya öğütülme sonucu çok ince taneli duruma getirildiklerinde ve rutubetli ortamlarda kireç (kalsiyum hidroksit) ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellikteki bileşenlerin oluşmasını sağlayan silisli veya alüminli malzemelerdir [8]. Betonda puzzolaneler, çimentonun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan sönmüş kireci kullanarak bağlayıcı ürünler oluştururlar. Portland çimentosuna ilave edildiği zaman, yüksek dayanımlı betonlarda genellikle şu özelliklerin daha etkin kılındığı tecrübe edinilmiştir:

- Çok düşük klorit iyon difüzyonu
- » Basınç dayanımında artış
- Su geçirimsizlikte azalma
- Aşınma direncinde artış
- Kimyasal etkileşim direncinde artış
- Jeotermal ortamdaki duraylılıkta artış,
- Çiçeklenmede (efflorescence) azalma [3]

Amorf silikanın yüksek performanslı beton eldesinde kullanımı, 3 temel mekanizmayla sağlanabilmektedir:

1. Amorf silikanın çok ince tanecikleri, çimento partikülleri arasındaki mikroskobik boşlukları

doldurabildiği için beton mikro yapısında geçirgenliği azaltır.

2. Çimento hidratasyon sürecinde açığa çıkan serbest kalsiyum hidroksit, ilave kalsiyum silikat üretmek için amorf silika ile tepkimeye girdiğinde puzolanik reaksiyon oluşur.

3. İnce partikül boyutu beton sızdırmasını azaltır ve çimento pastasıyla agrega ara yüzeyinde bağ gelişimine yardımcı olur.

Yukarıda özetle tanımlanan bu olguların detaylı incelemesini yapabilmek ve geleneksel beton uygulamalarında bu etkileri irdeleyebilmek amacıyla, Keçiözümlü Yöresi amorf silika oluşumlarının beton katkı maddesi (doğal puzolan) olarak kullanılabilirliği bir dizi deneysel çalışma ile analiz edilmiştir.

Keçiözümlü Kumludere Ocağı'ndan alınan amorf silika numuneleri, darbeli tip bir kırıcıda 32 mm boyut altına kırılarak, 105°C'de 24 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve değişmez sabit ağırlığa ulaşan -3 mm boyutlu agregalar laboratuvar tipi bir bilyalı değirmende öğütülmüştür. Öğütme süresi ve şarjı sabit tutularak ortalama 18 um boyutuna öğütülen amorf silika, normal beton karışımı hazırlanmasında doğal mineral katkı maddesi olarak kullanılmıştır.

Amorf silikanın normal beton dayanımına etkisinin tayini analizinde, İsparta Belediyesi Diyadin Taş ocağından üretilen kalker agregası ve PC 42,5 portland çimentosu kullanılmıştır. Kontrol ve mineral katkılı olmak üzere iki farklı malzeme içeriğine sahip C20 ve C30 beton sınıfındaki deney karışımları 14 farklı reçete esas alınarak hazırlanmıştır. Öğütülmüş amorf

silika malzemesi, nispeten geniş yüzey alanına sahip olmasından dolayı, işlenebilir karışım için çok fazla suya gereksinim duyar. İyi kalitede bir beton ve işlenebilir bir karışım yapmak için, su içeriği deneysel bir çalışma ile saptanmalıdır. Betonda amorf silikanın kullanımı durumunda optimum işlenebilirlik şartlarını belirlemek amacıyla yapılan ön araştırmada, işlenebilir bir karışım için su/çimento oranı C20 betonunda 0,70 ve C30 betonunda 0,50 olarak saptanmıştır. Agrega karışım oranları ve karışım süresi ise sabit tutulmuştur.

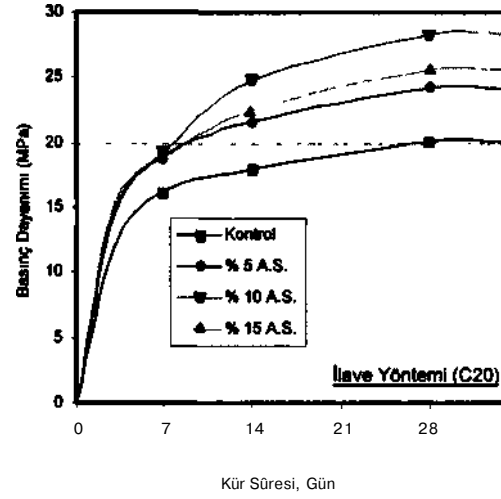
Geleneksel betondaki dayanım etkinliğinin analizi amacıyla, amorf silikanın beton üretiminde kullanılması açısından iki temel karışım oranlama yöntemi uygulanmıştır. Bunlar:

1. Amorf silikanın ince agregaya olarak kullanılması (ilave yöntemi),
2. Çimentonun yerine kısmi olarak amorf silikanın kullanılması (basit ikame yöntemi) dir.

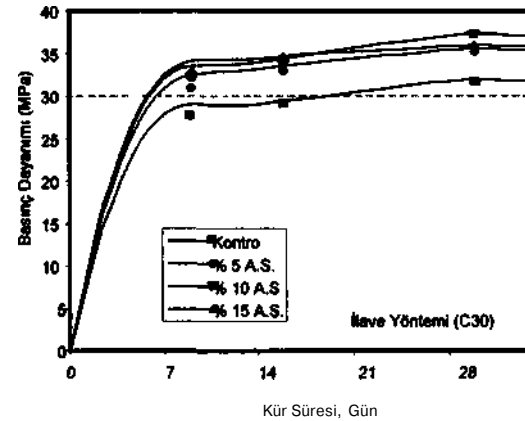
### 5.1. İlave Yöntemi

Amorf silikanın, ince agregaya olarak kullanılması (ilave) yönteminde, karışımda kullanılacak çimento miktarında herhangi bir azaltma yapılmaksızın amorf silika, beton karışımına ilave edilmiştir. Böylece beton karışımındaki etkin bağlayıcı maddenin artışı amaçlanmıştır. Bu olgunun analizi için, 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde standart silindirik numune kalıpları kullanılmıştır. 300 ve 450 kg dozajlarında portland çimentosu içeren karışımlara, çimento ağırlığının %5, %10, %15'i oranlarında mikronize amorf silika ilave edilmiş, ayrıca benzer çimento dozajlarına sahip, iki seri de (C20 ve C30) katkısız kontrol beton örnekleri dökülmüştür. Tüm karışımlar aynı şartlarda kürlenmiştir. Amorf silikalı karışımların çökmesindeki azalma su ilavesiyle telafi edilmiştir. Elde edilen örneklerin 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde basınç dayanım analizleri yapılmıştır. Deneysel bulgular Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 1 ve Şekil 2 irdelendiğinde görüleceği gibi, her iki (C20 ve C30) beton sınıfındaki katkı beton örneklerinin basınç dayanım değerleri, kontrol betonlarına göre daha yüksektir.



Şekil 1. İlave Yöntemine Göre Kontrol Ve Amorf Silika Katkılı (C20) Beton Örneklerinin Basınç Dayanım Gelişimlerinin Karşılaştırılması [9]



Şekil 2. İlave Yöntemine Göre Kontrol Ve Amorf Silika Katkılı (C30) Beton Örneklerinin Basınç Dayanım Gelişimlerinin Karşılaştırılması [9]

Amorf silikanın puzolanik reaktifliğine ilave olarak, ince partiküllerinin dolgu kabiliyeti ve agregaya ara yüzeylerindeki bağ gelişimine katkısı nedeniyle beton dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Karışıma ilave edilen amorf silika 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde test edilen beton örneklerinin basınç dayanım değerlerinde önemli artışlar sağlamıştır. Ancak, amorf silika

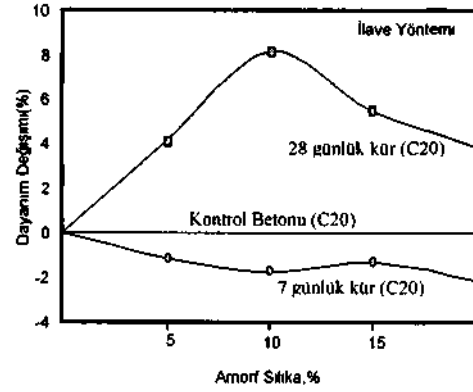
ilavesinin belirli bir kullanım miktarına kadar betonun dayanım artışına etki ettiği gözlenmiş olup, karışımda bu miktardan daha fazla kullanılması durumunda, betonun dayanım artışındaki etkisinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, karışımın su talebi ve işlenebilirliğin temel etkisinden dolayıdır. Sabit bir işlenebilirlik için, yalnızca portland çimentosu bulunan karışımla karşılaştırıldığında, %5-15 oranları arasında amorf silika ilave edilen karışımların su talebindeki artış, C20 betonu için %1-2, C30 betonu için %2-4 arasındadır. Çimento partiküllerinin yüzeyini kaplamak için yeterli miktardan fazla (> %25) amorf silika kullanımı, su ihtiyacını aşırı artıracığından dolayı yarar sağlamayacaktır. Yaklaşık %25 ve üzerindeki oranlarda amorf silika içeren karışımın su talebinde büyük artış olur. Böylece yüksek oranda amorf silika içeren karışımın aşırı su talebi dayanım gelişimi olumsuz etkiler.

Araştırmanın bu bölümündeki bulgular değerlendirildiğinde, karışıma giren amorf silika katkısının belli bir miktardan sonra beton dayanım artışı yavaşça düşmektedir (Şekil 3-Şekil 4). 300-450 kg portland çimentosu dozajlarındaki karışımlar (C20 ve C30) için en yüksek dayanım, amorf silikanın karışıma yaklaşık %10 ilavesiyle elde edilmiştir. Bu amaçla, beton sınıfına göre amorf silikanın optimum ilave oranı, grafiksel bir analizle belirlenmeye çalışılmış olup, ilave oranının beton basınç dayanımındaki artışı yüzdesel olarak irdelenmiştir.

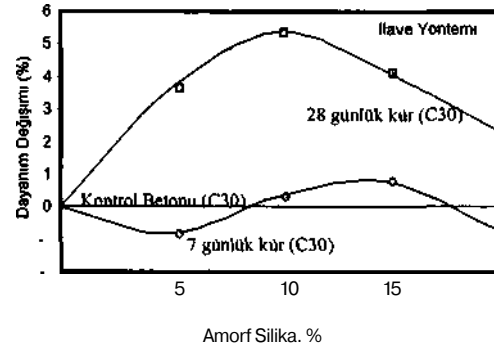
## 5.2. Basit İkame Yöntemi

Katkı maddesinin beton karışımındaki bir diğer kullanım yöntemi, çimento yerine kısmi yer değiştirici olarak kullanmaktır. Optimum yer değiştirici miktarı çimento ağırlığının %0-15'i arasındaki bir oranda gerçekleşebilir. Burada karışımdaki çimentolaşabilen malzemelerin toplam ağırlığı değişmediği halde, mikronize amorf silikanın inceliğinden dolayı su ihtiyacında artış vardır. Aynı su/(çimento + amorf silika) oranının sürdürülmesi ve gerekli çökmeyi sağlamak için süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılabilir.

Amorf silikanın beton dayanımına katkısı verimlilik veya bir etkinlik faktörü olarak tanımlanabilir.



Şekil 3. C20 Betonunda İlave Kullanım İçin Amorf Silika-Basınç Dayanım Değişimi İlişkisi



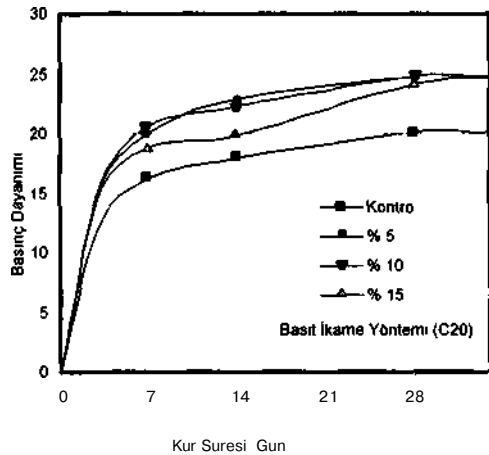
Şekil 4. C30 Betonunda İlave Kullanım İçin Amorf Silika-Basınç Dayanım Değişimi İlişkisi

Amorf silikanın verimliliği, betonun basınç dayanımını muhafaza ederek, katkı malzemesi miktarının yer değiştirebildiği çimento miktarına oranı olarak tanımlanabilir. Amorf silikanın C20 ve C30 karışımlarına bu etkisini analiz etmek için, laboratuvarında bir dizi deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Bu amaçla, çimento yerine kısmi yer değiştirici olarak %5, %10, %15 amorf silika oranlarıyla hazırlanan, 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde standart silindirik beton örneklerini hazırlanmıştır. Örnekler 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde test edilmiştir. Beton karışımındaki amorf silikanın etkisini değerlendirmek için kontrol karışımları da dökülmüş ve tüm karışımlar aynı şartlarda kür edilmiştir. Amorf silikanın çökmesinde meydana gelen kayıp biraz

daha su ilavesiyle karşılanmıştır. C20 ve C30 betonunda %5, 10 ve 15 oranları için araştırma bulguları sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmektedir.

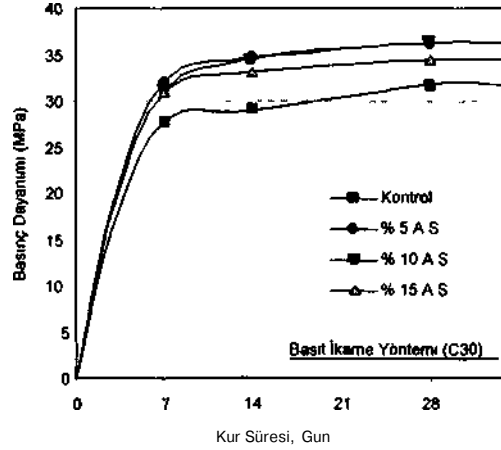
Araştırma bulguları değerlendirildiğinde, yer değiştirici malzeme olarak karışımda kullanılan amorf silikanın %5'ten %15'e kadar değişen oranlarının, beton örneklerinin dayanımını artırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte C30 betonunda %15 amorf silika ilavesi, C20 betonuna benzer dayanım gelişimini göstermemektedir.

Amorf silikanın %5'den %10'a kadar farklı oranlarında dayanım yavaşça artmaktadır. Bu yüzden portland çimentosuyla betonda yer değiştirici malzeme olarak kullanmak için amorf silikanın belirli bir miktarı vardır. Bu etki deney sonuçlarına göre dayanım değişim skalası olarak da analiz edilmiştir. Mikronize amorf silikanın bir miktarından sonra beton dayanımı yavaşça artmaktadır. 28 günlük kür süresi için en yüksek dayanım, amorf silikanın karışıma yer değiştirici malzeme olarak C20 betonunda %6,65 ve C30 betonunda %7,20 oranında ilave edilmesiyle elde edilmiştir.



Şekil 5 Beton Örneklerinin Basınç Dayanım Gelişimlerinin Karşılaştırılması [9]

Portland çimentosunun hidrasyonu esnasında kalsiyum silikatlarla beraber oluşan gözenek suyundaki serbest kalsiyum hidroksit (ve diğer alkali) iyonlarının bir kısmı, amorf silika partikülleri ile puzolanik reaksiyona girer.



Şekil 6. Beton Örneklerinin Basınç Dayanım Gelişimlerinin Karşılaştırılması [9]

Reaksiyon, kalsiyum hidroksit iyonu ve bu iyonla çekirdeklik yapan çok ince amorf silika partiküllerinin kimyasal bağ oluşturmalarından kaynaklanır ve ilave kristal oluşumu beton matrisini güçlendirir. Böylece dayanımda iyileşme gerçekleşir.

Amorf silikanın betonda verimlilik faktörü (k) ayrıca tespit edilebilir. Araştırmalara göre verimlilik faktörü C20 karışımı için 2,43 ve C30 karışımı için 1,52 olarak saptanmıştır.

## 6. SONUÇLAR

- Kumludere ve Değirmenderesi amorf silika kayaları oldukça kaliteli doğal puzolan sınıfına dahil edilebilir. Kayacın fiziksel (birim hacim ağırlık, özgül yüzey alanı, puzolanik aktivite vs.) ve kimyasal (kimyasal bileşenler, kızdırma kaybı, amorf silika içeriği vs.) özellikleri, beton mineral katkı maddesi olarak kullanım amacına uygundur.
- İlave yöntemine göre normal betonda katkı maddesi olarak kullanılan amorf silikanın etkin kullanım oranı, her iki beton sınıfı için çimentonun ağırlıkça %10'u olarak belirlenmiştir.
- Basit ikame yöntemine göre etkin kullanım oranı ise C20 betonu için çimento oranının ağırlıkça % 6,65'i, C30 betonu için ise çimento oranının ağırlıkça %7,20'si olarak saptanmıştır.
- Keçiborlu amorf silikasının verimlilik faktörü C20 betonu için 2,43; C30 betonu için 1,52'dir.

Bu değerler uçucu küllere göre oldukça ( 0,25 - 0,5) önemli bir avantaj sağlamaktadır.

- Optimum öğütme tasarımı yapılarak, mineral katkı maddesi olarak ürünün özgül yüzey alanını, dolayısıyla betondaki etkinliğini arttırmak mümkündür.
- Bu amaçla kayacın, maliyet analizleri de dikkate alınarak ekonomik öğütülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] Kayserili Y., Topaloğlu M., "Türk Maden Hukuku ve Yeraltı Zenginlikleri Mevzuatı", İstanbul, 1990.
- [2] New Zealand's Industrial Mineral Potential: Industrial Minerals, No. 394, July 2000, p. 66-77.
- [3] Microsilica New Zealand (Golden Bay Cement Ltd.), [undated], About Amorphous Silica, Accessed August 7, 2002, at URL <http://www.microsilica.co.nz/brochures/Genaral.pdf>
- [4] "Concrete Products", March 1996.
- [5] "Yıllık İşletme Faaliyet Raporları", Beril Ltd. Şti (ISBAŞ AŞ), İsparta, 1998 - 2000.
- [6] TS 25, "Tras". Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, Şubat 1986.
- [7] TS 639, "Uçucu Küller", Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, 1975.
- [8] ASTM C618-03 "Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete" American Society for Testing and Materials, 2003.
- [9] TS 3114 ISO 4012, "Beton Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini", Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, October 1998.