

## İsparta Yöresi Amorf Silika Oluşumlarının Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilebilirliği

M. Davra/

İS.B.İS İsparta Belediyesi Binası Yapı Elemanları San ve Tic. I.Ş. İsparta, Türkiye

L. Gündüz

Suleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, İsparta, Türkiye

O/H I Günümüzde dünya inşaat sektöründe yüksek performanslı beton eklesi için pek çok farklı tür ve bileşimde katkı maddeleri kullanıldığı bilinmektedir. Genel olarak bu katkı maddeleri kimyasal yöntemlerle veya endüstriyel atıklardan yararlanılarak elde edilmektedir. Bu makalede, İsparta yöresi amorf silika oluşumları teknik açıdan tanımlanmakta ve doğal bir katkı maddesi olarak beton üretiminde kullanımı irdelenmektedir. Yüksek performanslı beton elde için, amorf silika maddesinin kullanım etkisi deneysel olarak incelenmiş olup, araştırma bulguları burada tartışılmıştır.

**ABSTRACT:** Nowadays, in order to produce the high strength concrete in the civil engineering applications, the use of different kinds of additives are well known. In general, these materials are produced either by chemical methods or as a by product from industrial waste materials. In this paper, the formations of amorphous silica of İsparta Region are defined in a technical view and its use in the concrete manufacturing as a natural additive material was evaluated. To produce a high strength concrete, the effectiveness of using amorphous silica material was analysed experimentally, and the research findings are discussed.

### 1 GİRİŞ

Amorf silika kayacık/ülkemi/ 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,  $SiO_2$  dan fazla  $SiO_2$  içeren dolayısıyla kuvars, kuvarsit veya kuvars kumu sınıfına dahil edilebilir (Kartal ve Topaloğlu, 1990).

Yapılan literatür araştırmalarında, ülkemizde resmi maden ve endüstriyel hammadde kayıt ve istatistiklerine geçmiş yıllarda da incelemelere konu edilmiş, ekonomik nitelik taşıyan amorf silika yatağına rastlanmamıştır. Bu durumda önceleri kuvarslı daha sonraları diatomit 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 ekonomik olarak halen işletilmekte olan ve resmi kayıtlara geçen tek amorf silika yatağı, Yeni Zelanda Rotoura bölgesinde yer alan Tikiterc amorf silika yatağıdır. Tikiterc doğal amorf silika yatağından üretilen hammadde, mikronize olup haline

getirilerek, Yeni Zelanda'da inşaat endüstrisinde katkı maddesi olarak kullanılmakta ve ihraç edilmektedir (Anonim, 1999).

Bu makalede, İsparta-Keçiborlu yöresi amorf silika oluşumlarının, portland çimentosu ile birlikte kullanımında elde edilen beton türlerindeki iyileştirmeler, yapılan deneysel çalışmalarla analiz edilmiştir. Beton sektörü açısından son derece önemli olabilecek teknik bulgular elde edilmiş olup, bu makalede amorf silika endüstriyel anlamda beton sektöründeki performans artırıcı bir mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilirlik kriterleri tartışılmaktadır.

### 2 AMORF SİLİKA NEDİR

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 bulun orijinal minerallerin yer aldığı amorf silika + kalsiyum + doğal kükürt + alunit + kaolin + limonit gibi ikincil mineral topluluğunda ornatılan oluşum olarak, yüzey veya yan ürünlerin asıl alterasyonundan oluşan ve yataklanmış tortul birkayaçlır

Amorf silika. acık rengi, hafifliği ( Birim Hacim Ağırlığı < 1 gr/cm<sup>3</sup> ). mikro gözenekli yapısına bağlı yüksek porozitesi ve su emme kabiliyeti, gevrek ve kola) kırılabilir oluşu ile diğer silikalı kayaçlardan kolayca ayırt edilebilir

Dünyada bilinen en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Beton dayanımını artırıcı ve priz hızlandırıcı polimer bazlı kimyasal maddeler, uçucu kulleri. 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.

Genelde açık maden ocağından üretilen tüvenan amorf silika. kırma, eleme, kurutma ve öğütme işlemlerine tabi (utulduktan sonra dökme veya torbalanmış olarak İnşaat sektörünün kullanımına sunulmaktadır. Amorf silikadan üretilen beton katkı maddesi, kimyasal ve/veya suni olarak elde edilen alternatif katkı maddelerine göre çok daha düşük maliyetle piyasa arz, edilebilmektedir (Anonim. 2001 ) Buna karşın dünya üzerinde ekonomik olarak işletilebilecek rezervleri henüz kısıtlıdır.

İnşaat sektörünün haricinde amorf silikamın:

- Sabun, deterjan, kağıt. boya. lastik, termo-plastik üretiminde katkı ve dolgu maddesi olarak.
- Plastik film üretiminde kaplayıcı ve katalizör olarak.
- Cam. seramik, ses ve ısısal yalıtımlar gerektiren malzeme üretiminde yüksek sıcaklık silikalari olarak.
- Elektronik. mücevhercilik. metal. cam sanayiinde vb. alanlarda aşındırıcı ve parlatici madde olarak,
- Tıp. mikrobiyoloji, genetik, uzay sanayii gibi hassas ve saf madde kullanımı gerektiren ileri teknoloji alanlarında moleküler elek olarak.
- Muhtelif sanayii dallarında filtre ve absorban malzeme olarak kullanım alanları da mevcuttur

### 3 AMORF SİLİKANIN DÜNYA VE OUCUMU/İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ DURUMU

Dünyada baraj gövdesi, viyadük, köprü taşıyıcı sistemleri, çok katlı yapılar, atık baraj ve depoları. hava alanı pistleri. endüstriyel döşemeler, depreme dayanıklı olması istenen özel yapılar vs gibi yer üstü yapıları: tünel metro, korunaklar, yeraltı depoları vs gibi yeraltı yapıları ile deniz ve su altı yapılarında yüksek perlbımsız beton kullanımı çok yaygındır

Ayrıca endüstriyel zemin ve döşemelerde, tünel kaplamalarında ve püskürtme sıva uygulamalarında yüksek perlbımsız beton, harç ve sıva kullanımı gııı geçtikçe yaygınlaşmaktadır (Anonim. 1996).

Yüksek performanslı beton üretiminde kullanılan katkı maddelerinden doğal amorf silika ve silis

dumanının tüketim miktarlarına ait kesin kayıtlara lastlanamamıştır. Ancak Silika Dumanı (Silica Fume) Üreticileri Birliğince A B D ve Avrupa'da yılda üretilen yaklaşık bir milyon ton silis dumanının bu ülkelerdeki talebe ancak cevap verdiği bildirilmektedir. Ülkemizde ise yüksek performanslı beton üretimi ve suni doğall silislerin betonda katkı maddesi olarak kullanımıyla ilgili açık bir bilgi mevcut değildir.

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 kumlu kapasitesi ise toplam 60.000.000 ton civarındadır. 30 milyon tonluk çimento tüketimi ortalama 150 milyon m<sup>3</sup> betona eşdeğerdır. Tüketilen 150 milyon m<sup>3</sup>e eşdeğer beton ve/veya betondan imal edilen ürünlerin %1-2'si yüksek performanslı beton sınıfına girdiği kabulü yapılırsa, ülkemiz katkı maddesi ihtiyacının (kullanılan çimento oranının en az %5'i oranında ilave edildiği göz önünde bulundurularak) 15 bin ila 30 bin ton dolayında olduğu güülecektir. Asgari 15 bin tonluk iç tüketimin ülke ekonomisine yansması en az 15 milyon USD'dır. İsparta - Keçiborlu yöresindeki rezerv, bu talebe cevap verebilecek potansiyele sahiptir.

Keçiborlu amorf silika ocağından (diatomit madeni adıyla ) 1998 - 2002 yılları arasında 7864 ton üretim gerçekleştirilmiştir . Yöredeki amorf silika oluşumları. 150 000 m<sup>3</sup> gonunur ve 150.000 m<sup>3</sup> muhtemel rezervi ile halen ülkemizdeki bu çalışma ile ortaya konulan ve ekonomik önem taşıyan en önemli rezervedir (Anonim. 2000). Bununla birlikte ülkemizde yapılacak bilimsel araştırma ve incelemeler sonucunda yeni oluşumların ortaya çıkarılması mümkündür.

### 4 İSPARTA KEÇİBORLU YÖRESİ AMORF SİLİKANIN ÖZELLİKLERİ

İsparta Keçiborlu yöresindeki amorf silika oluşumlarının, inşaat sektöründe kullanılabilir endüstriyel bir hammadde olarak değerlendirilmesi amacıyla fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Sahadaki Kumludere açık ocağından alınan numunelerin, kırma işlemi sonrası agrega fiziksel özellikler TS 1114e göre analiz edilmiştir (TS 1114. 1986) Ayrıca kırılmış ve boyutlandırılmış amorf silika agregalanm bir bölümü laboratuvar tipi bilyalı değirmende öğütülmüş ve öğütme işleminden elde edilen yaklaşık 100 kg numune, normal - hafif beton analizlerinde katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Amorf silika kayacının fiziksel özellikler özetle Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 Amorf silika kayacının fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	
Renk	Atık krem.
Sertlik (Mohs)	5,5-6
Gerçek Özgül Ağırlık	2,39 ar/cm <sup>3</sup>
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	630 kg/m <sup>3</sup>
Görünür Porozite	%45
Su Cıvımı: (ağırlıkla)	% 50
Isı İletkenlik Deseri (λ)	0.11-0.13 W/m.K.

TS 1114 (halk agregalar-beton için) standardında belirtilen 0-32 mm karışık tane sınıfında-32 mm karışık amorf silika agregasında iri ve ince tane grupları ağırlıkça dağılım oranları. 4-32 mm grubu agreganın %48, 0-4 irim grubu agreganın ise %52 dir.

0-32 mm kırılmış karışık amorf silika agregaları gevşek kuru birim hacim ağırlık değeri. TS 1114 standardı "hafif agreganın birim ağırlıkları" maddesinde öngörülen karışık agreganın maksimum gevşek birim ağırlığı değerinin oldukça altında kalmaktadır (Çizelge 2) (TS 1114, 1986).

Çizelge 2. Kum lüdere ocağı agreganın analizi.

No	TS 1114'egöre karışık agreganın	Kumludere kırılmış agreganın (0-32mm)	
	Kuru Gevşek B.H.A. (Max. kg/tir'i)	Kuru Uevşek B.H.A. (kg/m <sup>3</sup> )	Kuru Sıkışık B.H.A. (kn/m <sup>3</sup> )
1	IKK)	458.55 fi	488.776
II		539.381	612.362
On		498.969	550.569

Kumludere ocağı kırılmış amorf silika agregalarının tane boyutuna göre gerçek porozite, kompasite ve doyma derecesi değerleri ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3 Kumludere amorf silika agregasının özellikleri

Tam* Buyum (mm)	Gt wiiflör Porn/1 it	GiiniJHir Kıymu'ül'	Gerçek Pniwit' l/r)	Gerçek Komp.iMIC <*>	Duyma De ret: l'M
12-16	42.318	57.662	65.265	34.735	78.14.1
16-8	46.665	51.135	58.011	41.989	m.1.58
8-4	38.207	61.793	55.345	44.655	64.685
4-2	40.444	59.556	50.229	49.771	67.690
2-1	16.671	63.327	49.856	40.144	61.377
1-0.5	28.5°) 1	71.409	53.6.12	46.368	48.106

Amorf silika agregalarında gerçek porozite oranı % 50-65 arasında değişmektedir. Bu durum, amorf silikanın yüksek poroziteli, bol mikro-gözenek yapısına sahip bir kayaç olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte gerçek porozite ve görünür porozite oranları arasında %13 ile % 47 arasında bir farkın oluşması, kayaç gözenek yapısının bit oranları dahilinde bağlantısız boşluklu gözenek yapısına sahip olduğunu bir kanıdır. Toplam gözenek hacmindeki bağlantısız boşluklu gözenek oranı, kayacın su emme kapasitesi ve ısı iletkenlik özelliklerine direkt etki eden önemli bir faktördür.

Amorf silika ianeleri üzerinde >apılan diğer bir analiz de. amorf silikanın farklı sıcaklıklarda davranışı ve ateşe dayanıklılık (kızdırma kaybı) deneyidir (TS 1114). Amorf silika <2 mm boyutunda) numunelerinin ateşe dayanıklılık deneyi. 1200°C sıcaklığa ulaşabilen. ±5°C sıcaklık artışı yüksek fırın ile yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak, amorf silikanın sıcaklık değişimine bağlı yapısal bozunma ve kütlece kızdırma kaybı oranı incelenmiştir. Bu bağlamda amorf silikanın TS 1114 standardında belirtilen 1000 °C deki kütle kaybı % 0.883 . deneyde ulaşılan 1180 °C de ise <0.993 olarak hesaplanmıştır. TS 1114 de. halk' agregaları için kütlece maksimum kızdırma kaybı % 5'dir (TS 1114, 1986). Bu durumda amorf silikanın kütlece kızdırma kaybı oranı standartlara uygundur. Ayrıca deneyde uygulanan sıcaklık aralıklarında (20 °C - M 80 °C arası) amorf silika numunesinde renk değiştirme, akma yapısı ve yapışma gibi sıcaklığa bağlı yapısal bozunma belirtileri gözlenmemiştir. Sıcaklık değişimine bağlı yapısal bozunma, açık bir şekilde fark edilememektedir. Bununla birlikte 880 °C'de kütle kaybının oransal olarak bir miktar artış gösterdiğini, yani minimum düzeyde de olsa yapısal bozunma sürecinin bu sıcaklık eşliğinde başladığını söylemek mümkündür.

Amorf silika slöğünden alınarak agreganın haline getirilen malzemenin bir miktarı, laboratuvarda titreşimli elekten boyutlanıp yapılmış ve <3 mm boyutundaki ince agreganın 105°C lik etüvde kurularak laboratuvar tipi bilyalı değirmende sabit süre, şarj ve devirde öğütül m üstü r. Mikronize tozların partikül boyut analizi Başer Madencilik San. A.Ş. Laboratuvarına yaptırılmıştır. Beton dayanım katkı maddesi olarak mikronize amorf silikanın partikül dağılımı irdelendiğinde, maksimum partikül boyutunun 222 (J ve ortalama partikül boyutunun 18u civarında olduğu görülmektedir. Partikül boyut dağılımının, özgül yüzey alanı (blainc). puzzoianik aktivite ve beton içerisinde yığılma gibi beton dayanımına olumlu ya da olumsuz yönde etki eden malzeme teknik parametrelerini belirlediği bilinmektedir. Bu açıdan deneyde kullanılan mikronize amorf silikanın maksimum partikül boyutu (222 u) ve ortalama partikül boyutu (18 u), Yeni Zelanda Microsilica Ltd. Şti'nin ürünü ile karşılaştırıldığında daha iri partikül boyutuna sahiptir (Anonim. 2001). Mikronize ürün partikül boyutunun <50 u. ve ortalama partikül boyutunun 5 fi 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. Amorf silika numunelerinin kimyasal analizleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Amorf silikaların kimyasal bileşenleri

Kimyasal Bileşenler	Numune 1 (Kumluere)	Numune 2 (Değirmendere) (%)
SiO	92.48	90.84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.60	2.66
TiO	1.34	1.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.15
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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	0.04

Çizelge 4 incelendiğinde, her iki amorf silika numunesinin birbirine oldukça yakın kimyasal bileşenlere sahip ve silisyum dioksit içeriklerinin oldukça yüksek değerler arz ettiği görülmektedir. CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O alkali ve toprak alkallerin oksit bileşenleriyle. SO<sub>3</sub> in düşük oranda yer alması, betonda alkali-agrega reaksiyonu ve sülfat etkisi bakımından önem taşımaktadır. TS 1114

standardına göre lialf agregalarda sülfat içeriğinin ağırlıkça %1'den çok olmaması istenmektedir (TS 1114, 1986). Sülfat içeriği bakımından her iki amorf silika numunesi de TS 1114 standardına uygundur. Ayrıca Çizelge 5'de Keçiörlü amorf silikası. TS 23 standardına göre doğal puzolanlar sınıfında yer alan trasda ve TS 639 standardına göre uçucu küllerde istenilen kimyasal özellikler ile karşılaştırılmıştır (TS 25, 975 - TS 639, 1975).

TS 25 standardı ölçül kabul edilerek. Çizelge 4 \e Çizelge 5 incelendiğinde Kumluere-Değirmendere amorf silika kayaçlarının oldukça kaliteli doğal puzolan sınıfı bir malzeme olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca TS 639 uçucu kül kimyasal özelliklerini de fazlasıyla sağlamaktadır. TS 25'e göre Göl tas. Çimento A.S. Kalite Kontrol Laboratuvarında yapılmış olan. puzolan i k aktivite deney bulguları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 5 Keçiörlü amorf silika kimyasal bileşenlerinin, doğal puzolan sınıfında yer alan trasda (TS 25) ve uçucu küllerde (TS 639) aranan kimyasal özellikler ile karşılaştırılması.

Kimyasal Bileşen		Tras (%)	U.Kül %	Kumluere	Değirmendere
SiO <sub>2</sub> -f-AbO <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	En az	70	70	95.17	93.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	En çok	5	5	0.00	0.00
SO <sub>3</sub>	En çok	3	5	0.09	0.06
Kızdırma Kavı	En çok	-	10	1.85	3.51

Çizelge 6 Mikronize amorf silikanın puzolanlık aktivite ve özgül yüzey analiz bulguları.

Puzolanlık aktivite	
Blaine	12.124 cm <sup>2</sup> /VK
İncelik	200u
	90u
Ozgül Ağırlık	2.32 s/cm <sup>3</sup>
Dansite	920 g
Beton Sonuçları	
7 sun sonunda eğilme dayanımı	1.6 N/mm <sup>2</sup>
7 Rim sonunda basınç dayanımı	11.9 N/m <sup>2</sup>
(TS 25'e göre 7 gün sonunda eğilme dayanımı minimum 1,0 N/m <sup>2</sup> ; basınç dayanımı minimum 4.0 N/m <sup>2</sup> olmalıdır.)	

Mikronize amorf silika numunesi puzolanlık aktivite ve özgül yüzey (blaine) deneyleri. GÖLTAŞ A.Ş. Kalite Kontrol Laboratuvarına yaptırılmıştır. Deneyler sonucunda mikronize amorf silika 7 günlük eğilme ve basınç dayanım değerlerinin. TS 25 standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca mikronize amorf silika numunesinin özgül yüzey alanı. (Göltaş) portland çimentosu özgül yüzey alanı değeri ile karşılaştırıldığında, numunenin çimentoya göre 4 kat daha ince olduğu görülmektedir.

## 5 AMORF SİLİKANIN BETONDA PUZZOLAN OLARAK KULLANIMI

Amorf silika yüksek derecede reaktif bir puzolanıdır. Puzolanlar kohezif. dış ortamlara dayanıklı, ekonomik ve yüksek performanslı beton üretmek için kullanılırlar. ASTM C 618'e göre puzolanlar 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 hidroksil) ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellikteki bileşenlerin oluşmasını sağlayan silisli veya alüminli malzemelerdir (ASTM C-61K).

Betonda puzzolanlar, çimentonun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan sönmüş kireci kullanarak bağlayıcı ürünler oluştururlar. Portland çimentosuna ilave edildiği zaman, yüksek dayanımlı betonlarda genellikle şu özelliklerin daha etkin kıldığı tecrübe edinilmiştir;

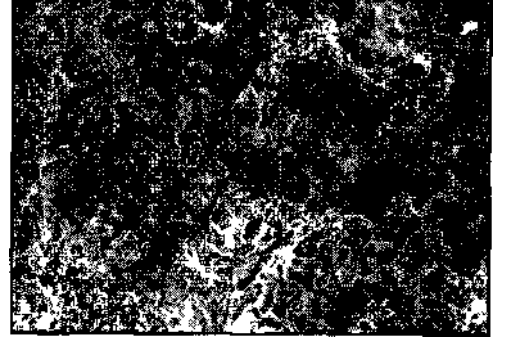
- Çok düşük klorit iyon difüzyonu.
- Basınç dayanımında artış.
- Su geçirimsizlikte azalma,
- Aşınma direncinde artış.
- Kimyasal etkileşim direncinde artış.
- Jeotermal ortamdaki dayanıklılıkta artış,
- Çiçeklenmede azalma (Anonim, 2001).

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. Üretim işlemi en uygun tane boyutu ve dağılımı gerçekleştirir.
2. Çimento hidratasyonu sürecinde açığa çıkan serbest kalsiyum hidroksit, ilave kalsiyum silikat üretmek için amorf silika ile tepkideğinde puzzolanik reaksiyon oluşur.
3. İnce partikül boyutu beton sızdırmazlığı 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 puzzolan) olarak kullanılabilirliği bir dizi deneysel çalışma ile analiz edilmiştir.

Keçiözümlü Kumludere ocağından 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 boyut altı agregalar laboratuvar tipi bir bilyalı değirmende öğütülmüştür. Öğütme süresi ve şarjı sabit tutularak 100 mikron boyut altına öğütülen amorf silika, normal beton karışımı hazırlanmasında doğal puzzolan olarak kullanılmıştır (Şekil 1).



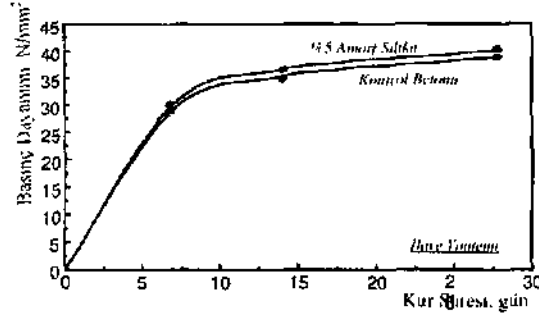
Şekil 1. Kumludere kayacının mikroyapısı (SEM. k \ 490)

Amorf silikanın normal beton dayanımına etkisinin tayini analizinde İsparta Belediyesi Diyadin Taş ocağından üretilen kalker agregası ve PC 42.5 portland çimentosu kullanılmıştır. Beton karışımı kontrol ve katkılı beton olarak iki farklı reçete esas alınarak hazırlanmıştır. Her iki karışım da amorf silikanın beton dayanımına etkisinin saptanabilmesi için çimento, su, agrega karışım oranları ve karışım süresi sabit tutulmuştur.

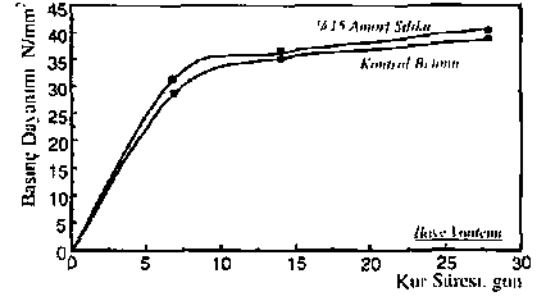
Amorf silikanın geleneksel beton içerisinde dayanım etkinliğinin analizi amacıyla, amorf silikanın beton içerisinde kullanılması açısından iki temel karışım oranlama metodu uygulanmıştır. Bunlar:

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

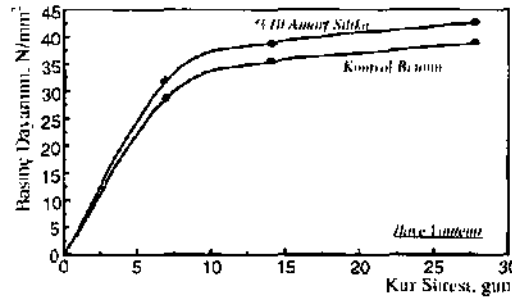
Amorf silikanın, ince agrega olarak kullanılması (ilave metodu) metodunda, karışım da kullanılacak çimento miktarında herhangi bir azaltma yapılmaksızın amorf silika, beton karışımına ilave edilir. Bu şekilde, betonun etkin bağlayıcı miktarı artırılmış olacaktır. Ayrıca agrega miktarındaki değişikliklerle karışımın kullanılacağı uygulamanın özelliğine göre olarak bir takım düzenlemeler de yapılabilmektedir. Bu olgunun analizi için, 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde silindirik numune kalıpları kullanılarak 300 çimento dozajında ve çimento ağırlığının %5, %10 ve %15 oranlarında amorf silika karışımı beton örnekleri dökülmüştür. Ayrıca, aynı çimento dozajına sahip, bir seri de amorf silika katkısız kontrol betonu örnekleri dökülmüştür. Elde edilen bu numuneler, 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde basınç dayanım analizleri yapılmıştır. Deneysel bulgular Şekil 2 ve Şekil 4'de verilmiştir.



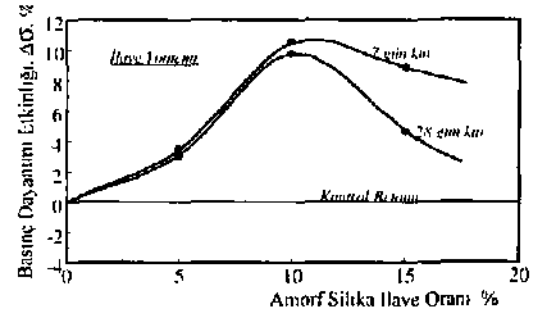
Şekil 2 Amorf silikalı beton örnekleri dayanım analizi.



Şekil 4. Amorf silikalı beton örnekleri dayanım analizi



Şekil 3. Amorf silikalı beton örneklerinin dayanımı



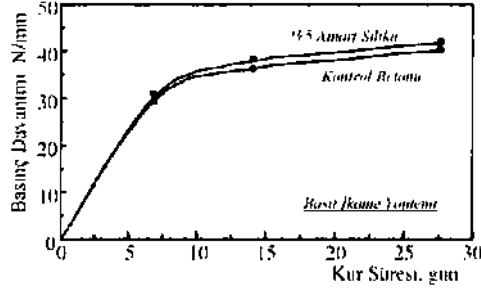
Şekil 5 Amorf silika ilavesi oranı - beton basınç dayanımı etkinliği ilişkisi

Şekil 2 ve Şekil 4 irdelendiğinde görüleceği gibi, amorf silika katkı beton örneklerinin basınç dayanım değerlerinin, kontrol betonuna göre daha iyi olduğu gözlenmektedir. Burada, amorf silikanın pozzolanik reaktifliği sebebiyle, ince tokların dolgu mekanizması ve agrega ara yüzeylerindeki bağın gelişimi ile betonun dayanımını artırdığı gözlenmiştir. Amorf silika ilavesi, 7, 14 ve 28 günlük beton dayanım değerlerini düşürmemiş ve betonun basınç dayanımında önemli artışlar olduğu belirlenmiştir. Ancak, amorf silika ilavesinin, belirli bir kullanım miktarına kadar betonun dayanım artışına etki ettiği gözlenmiş olup, bu miktardan daha fazla karışımda kullanılması durumunda ise, betonun dayanım artışındaki etkisinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu amaçla, amorf silika ilavesinin hangi orana kadar katkı maddesi olarak ilave edilebileceği, grafiksel bir analizle belirlenmeye çalışılmış olup, ilavesi oranının beton basınç dayanımındaki artış etkinliği (Aal yüzdesel olarak değerlendirilerek irdelenmiştir. Bu amaçla yapılan analiz bulgusu, Şekil 5'de verilmiştir.

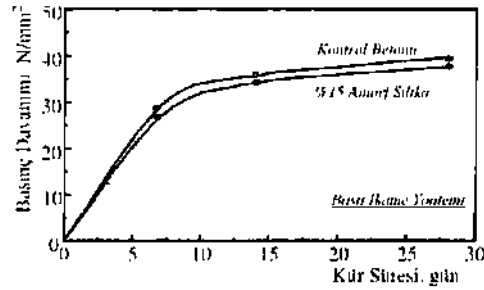
Şekil 5'de görüldüğü gibi, %10.5'lik amorf silika ilavesi, betonun basınç dayanımındaki etkinlik değeri olarak tespit edilmiştir. Bu olgu, 7 ve 28 karakteristiği sergilemektedir. Diğer bir deyişle, karışımda kullanılan çimento ağırlığının %10.5 den daha fazla miktardaki amorf silika ilavesi, beton dayanım değeri açısından kontrol betonuna göre daha iyi bir dayanım değeri göstermesine rağmen, ekonomik açıdan avantaj sağlamamaktadır.

Çimentonun yerine kısmi olarak amorf silika kullanılması (basit ikame) metodunda, çıkartılan Portland çimentosunun yerine çıkartılan çimento miktarı kadar amorf silika koyulması (bir miktar çimentonun aynı miktardaki amorf silika ile yer değiştirmesi) esas uygulanmıştır. Bu metoda göre, amorf silikanın beton dayanımına katkısı, etki süresi veya bir etkinlik faktörü olarak ölçümlenebilmektedir. Amorf silikanın etkinliği, basınç dayanımını muhafaza ederek, mikro silika dozajının yer değiştirebildiği çimento miktarına oran olarak tanımlanabilmektedir. Bu olgunun analizi için, 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde silindirik numune kalıpları kullanılarak 300 çimento dozajında ve çimento ağırlığının %5, %10 ve %15 oranlarındaki mikronize amorf silika miktarı,

çimento ile yer değiştirilerek elde edilen beton örnekleri dökülmüştür. Av rica. aynı çimento dozajına sahip, bir seri de amorf silika katkısız kontrol betonu Örnekleri dökülmüştür. Elde edilen hu numuneler, 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde basınç dayanım analizleri yapılmıştır. Deneysel bulgular Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



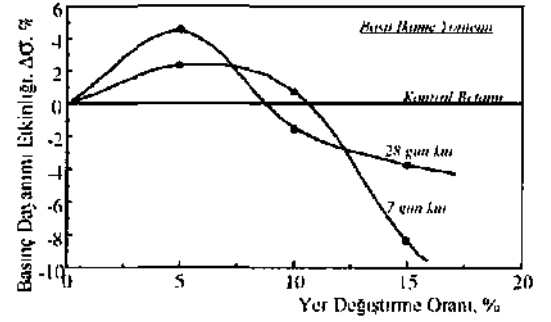
Şekil 6 Amorf silikanın çimento yerine kullanın analizi (ağırlıkça %5 yer değiştirme)



Şekil 7. Amorf silikanın çimento yerine kullanın analizi (ağırlıkça %15 yer değiştirme)

Şekil 6 ve Şekil 7 irdelendiğinde, beton karışımlarında amorf silikanın çimentonun yerine kısmi olarak % 5 ve %10 oranlarında kullanılması durumunda, beton örneklerinin basınç dayanım değerlerinde, kontrol betonuna göre bir iyileştirme oluşturduğu gözlenmektedir. Ancak, %15'li kısmi kullanımı durumunda ise, normal beton dayanımından daha düşük bir değerde olduğu belirlenmiştir. Bu da, karışımda vijis.au silika paniktilerinin muhtemel alkali-agrega reaksiyonu sonucu beton performansında bir düşmesinin meydana gelebilme ihtimalini göstermektedir. Bu nedenle, mikronize amorf silikanın beton karışımlarında kısmi olarak çimento yerine ne ölçütlerde kullanılması gerektiği analiz edilmesi gerekli bir husus olmaktadır. Bu amaçla, amorf silikanın beton karışımlarına yer değiştirme oranına karşılık, elde edilen betonun katkısız kontrol betonuna göre ne kadarlık bir dayanım artışı

sağladığı, dayanım etkinliği (Aa) parametresi ile \iizdesel olarak tanımlanmıştır. Deneysel incelemelerde elde edilen bulgularla, yapılan grafiksel analizlerde, amorf silika yer değiştirme oranı optimum değer olarak tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8 Amorf silika yer değiştirme oranı - boiun basınç dayanımı etkinliği analizi

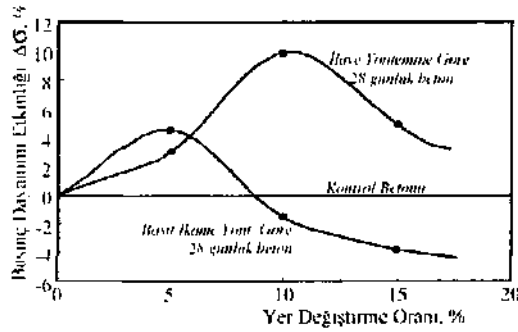
Şekil 8'de görüldüğü gibi, amorf silikanın beton karışımında dayanımı değışürmeksizin, çimento ile yer değiştirmesinde en etkin oran, 7 günlük beton örnekleri için  $\frac{A}{A}$ , 28 günlük beton örnekleri için ise %S.5 olarak belirlenmiştir. Bu oranlara göre, karışımda yer değiştirilen amorf silika miktarı ve yer değiştirebildiği çimento miktarları belirlenerek, amorf silikanın kısmi kullanım etkinliği bir faktör olarak tanımlanabilmektedir. Yapılan laboratuvar analizlerine göre, mikro silika kullanımı için etkinlik faktörü 2.21 olarak belirlenmiştir. Bu değer, BRANZ'ın 1999 yılında Yeni /elanda Tikiterc amorf silika oluşumları için yaptığı deneysel sonuçlarla da benzerlik göstermektedir (Anonim,(b). 1999). Tikiterc amorf silikasının betonda elde edilen etkinlik faktörleri, farklı beton uygulama koşulları için Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7 Tikitere amorf silikasının beton uygulamaları için etkinlik I aktörü (Anonim(h). 1999).

Uygulama	Ortalama Dayanım N/mm'	Etkinlik Faktörü
F.ndüstmel Döşemeler	55	2.5
Köprü İnşaatı	53	2.8

Yüksek performanslı betonda amorf silika kullanımı, ekonomiklik ve hızlı üretim için başrol oynayabilecek bir malzemedir. Amorf silikah beton kullanımının genel olarak sağlayacağı yararlar şu şekilde özetlenebilir: Daha ince kesitli elemanlar üretilebilir. Daha düşük malzeme maliyetleri kullanılacaktır. Yapı elemanlarının birim ağırlıkları azalacak ve dolayısıyla yapıların ölü ağırlıkları düşecektir. Daha hızlı bir beton üretimi

yapılabileceği gibi, donatılı betonlarda daha az donatı yerleşimi ve düşük maliyeti sağlayacaktır. Bu ve benzeri avantajları sağlayabilmek için, amorf silikalı bir betonda, amorf silikamın bu makalede vurgulanan hangi yöntemle göre kullanılmalıdır. Diğer bir deyişle, mikronize amorf silikayı, beton dayanımı daha iyi sınırlarda artırmak ve buna bağlı olarak gelişen avantajlarından yararlanmak amacıyla, nasıl kullanılması gerektiği detaylı analiz edilmelidir. Amorf silikamın ilave yöntemine göre mi, yoksa basit ikame yöntemine göre kullanılması hususu analiz edilmiş ve değerlendirme grafiksel olarak Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9 Amorf silikamın y önlemlere göre kullanım analizi.

Şekil 9'da görüldüğü gibi, beton dayanımının etkinliği açısından ilave yöntemine göre amorf silikamın ince malzeme olarak beton katkısında kullanılması daha uygun görülmektedir.

## 6 SONUÇ

Kıvımdere ve Değirmenderesi amorf silika kavaçları oldukça kaliteli, doğal puzzolan sınıfına dahil edilebilir. Kayacın fiziksel (birim hacim ağırlık, özgül yüzey alanı, ptuzolanik aktivite vs.) ve kimyasal (kimyasal bileşenler,

kızdırma kaybı, amorf silika içeriği vs.) Özellikleri, beton mineral katkı maddesi olarak kullanım amacına uygundur.

- İlave metoduna göre normal betonda katkı maddesi olarak kullanılan amorf silikamın etkin kullanım oranı çimentonun ağırlıkça % 10.5'i olarak belirlenmiştir.
- İkame metoduna göre etkin kullanım oranı ise çimento oranının ağırlıkça % 8.5'i olarak tespit edilmiştir.
- Keçiborlu amorf silikalarının etkinlik faktörü 2.21'dir. Bu değer uçucu küllere göre oldukça (0.25 - 0.5) yüksek bir avantaj sağlamaktadır.
- Optimum Öğütme tasarımı yapılarak, özgül yüzey alanını, dolayısıyla ürünün mineral katkı maddesi olarak etkinliğini artırmak mümkündür.
- Bu amaçla kayacın ekonomik olarak Öğülebilenlik kriterlerinin, maliyet analizleri de dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir.
- Ekonomik olarak üretilebilecek optimum partikül tane boyutlarına göre ilave ve ikame kullanım oranları, etkinlik faktörü yeniden belirlenmelidir.

## REFERANSLAR

- Autumn, 1975. *Com reif Pri/ilitts*. March. USA.
- Anonim (a). 1999. *New Zealand's Official Statistical Agency. Annual Reports of Energy and Minerals*. New Zealand.
- Anonim (b). 1999. *BRANZ (Building Research Association of New Zealand) Test Reports No. MS 6(11)*. USA.
- Anonim. 2000. *Beril Ltd Şu. Yıllık Faaliyet Raporları*.
- Anonim. 2001. *Product Brochures of Gulden Bav Çemeni & Mitosilia Ltd.*. USA.
- ASTM C-618. 1978. *Specifications for Fly Ash and Calcined Natural Pozzolan for Use as Mineral Admixture in Portland Cement*. USA.
- Kayserili V. Topaloğlu M. 1990. *Türk Maden Hukuku ve Yeraltı Zenginlikleri Mevzuatı*. Ankara.
- TS 1114. 1986. *Belan için Hafif Agregahır*. Şubat. Ankara.
- TS 25. 1975. *Tras*. Nisan, Ankar.
- TS 639. 1975. *Ucum Kilitler*. Ankara.