

Amorf Silika ve Endüstriye Katkısı

M. Davraz

JSBAŞ Bims Yapı Elemanları San. ve Tic. A.Ş., İsparta

L. Gündüz

Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, İsparta

ÖZET: Amorf silika kayacının farklı endüstri alanlarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu hammadde, genellikle inşaat sektöründe hafif agrega ve beton performansını iyileştiren mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, kimyasal bileşimi ve yapısal özellikleri itibarıyla, farklı kullanım alanları da genişlemektedir. Bu bildiride, İsparta Keçiborlu ve civarındaki amorf silika oluşumlarının ülkemiz endüstrisine katkısı bakımından tanıtımı amaçlanmıştır. Amorf silika örnekleri üzerinde yapılan kapsamlı bir çalışmadan yola çıkılarak, bu kayacın ülkemiz inşaat sektöründe hammadde olarak değerlendirilme potansiyeli ve ilirliğini konu alan bu araştırmanın özet değerlendirmesi verilmektedir.

ABSTRACT: The usage of amorphous silica rock shows a gradually rising trend in different industrial areas. In majority, they are used as a lightweight building material and as a mineral admixture material to produce the high performance of concrete in the civil structuring sector. However, its usage areas are getting world wide based on its chemical components and also structural formation status. In this paper, amorphous silica formations formed in İsparta Keçiborlu region was introduced for contribution to industry. According to the research findings carried out on the amorphous silica material, a brief technical evaluation of its usage as an industrial raw material was presented for our country's civil industrial development.

1 GİRİŞ

Beton inşaat sektöründe en yaygın kullanım alanına sahip malzemedir. Bilimsel araştırma ve teknolojik gelişimlere paralel olarak modern beton, çimento, agrega ve su karışımından ibaret bir yığın olmaktan çıkmış, mineral-kimyasal katkı karışımları ve lifler içeren daha kompleks bir ürün olmuştur.

Daha kaliteli beton elde etmek için yapılması gereken tek şey daha düşük su/çimento oranı veya su/bağlayıcı oranına sahip karışımın hazırlanmasıdır. Beton basınç dayanımı, çimento dozajının olduğu kadar çimento partiküllerinin sıklığına da bir fonksiyonudur.

Dünya inşaat sektöründe beton kalitesini artırmak için farklı tür ve bileşimde katkı maddeleri kullanıldığı bilinmektedir. Genel olarak bu katkı maddeleri kimyasal yöntemler, endüstriyel atıklar

(yan ürün olarak) ya da doğal kaynaklardan elde edilmektedir.

Kimyasal yöntemler ile elde edilen katkı maddeleri, farklı kimyevi madde bileşenlerinden oluşan sıvı veya toz polimer grubu maddeleri kapsamaktadır. Dünya inşaat endüstrisinde önemli bir pazar payına sahiptir,

Uçucu küller ve silis dumanı endüstriyel atık veya yan ürün olarak adlandırılacak diğer grup katkı maddelerini oluşturur. Pek çok ülkede olduğu gibi, Türkiye'de de beton üretiminde en fazla tüketilen katkı maddesi, termik santrallerden elde edilen uçucu küllerlerdir. Ucuz ve bol miktarda bulunması nedeniyle, hazır beton üreten kuruluşlarca (beton maliyetlerini düşürmek için) çimento yerine dolgu maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak uçucu küllerin nispeten düşük reaktif silis içeriğinden dolayı-beton yapısını

oluşturan çimemo-katki maddesi-agrega reaksiyonlarında silis dumanı kadar etkin olmadığı bilinmektedir. Mikronize toz silikatlar veya yaygın adı ile silis dumanı ise silikon, ferrosilikon, silikoferrokrom üretim tesislerinden yan ürün olarak elde edilmektedir. Silis dumanı uçucu küle göre, yüksek reaktif silis içeriği ve süper ince partikül yapısıyla beton kalitesini artırmada çok daha etkindir. Ancak silis dumanının bir yan ürün olarak elde edildiği tesisler termik santraller kadar yaygın değildir. Buna rağmen dünya 1 milyon tona ulaşan tüketim miktarı, çimento ve beton katkı maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmasının bir göstergesidir (Yeğinoğlu, 2001).

Beton kalitesini yükseltmede kullanılan son grup katkıları ise doğal mineral ve kayalardır. Diğer gruplar kadar yaygın olmamakla birlikte beton katkı maddesi olarak volkanik küller, taş unu, diyalomit ve kalsine edilmiş killerin de kullanıldığı bilinmektedir. Son on yılda bu doğal malzemelere amorf silika (jeosilika) kayacı da dahil olmuştur. Beton kalitesini silis dumanı kadar etkin ve ekonomik olarak artıran amorf silikanın işletilebilir rezervlerin çok sınırlı olması nedeniyle, pazardaki payı da kısıtlıdır.

Dünyada ekonomiklik arz eden ve halen işletilmekte olan, resmi kayıtlara geçmiş tek doğal amorf silika yatağı, Yeni Zelanda'nın Rotorua bölgesinde bulunmaktadır (Anonim, 1999). Ülkemizde ise inşaat sektöründe mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir özelliklere sahip amorf silika oluşumlarını kapsayan bilimsel anlamda bir araştırmaya rastlanmamıştır.

Bu makalede, İsparta Keçiözümlü bölgesinde oluşumu bulunan amorf silika kayacının endüstriyel alanlarda ve özellikle inşaat endüstrisinde kullanılabilirliği üzerine yapılan teknik bir araştırmanın bulguları özetle sunulmaktadır.

2 AMORF SİLİKA VE KULLANIM ALANLARI

Amorf silika; volkanik-hidrotermal sistemler içinde belirli sıcaklığa sahip ve çözünürlüğü dengeye ulaşmış kolloidal silis partikülleri içeren akışkanların yeryüzüne çıkarak soğuması ve aşırı doygunluğa erişmesi sonucunda yüzeyde süika tortuları, ayrıca pH'ı nötr alkali kloritli sular yakınında ise yeraltı damarları biçiminde oluşan tortul bir kayaktır. Silika sinter veya jeosilika olarak da adlandırılmaktadır. Amorf silika kayacı genellikle beyaz olmasına rağmen gri, siyahımsı gri, krem, yeşil, portakal, kahverengi ve hatta kırmızı renklerde bile bulunabilir. Genellikle sert ve yoğun olmasına

karşılık, süngerimsi dokulu çok poroz türleri de yaygındır.

Kavram olarak amorf silika (silika sinter), silika kalıntısı (gayzerit) ve amorf silis terimleri ile sıkça karıştırılmaktadır. Silika kalıntısı; jeotermal sistemlerin (CO₂ ve H₂S içeren) buhar zonunda oluşan kuvvetli asitlerin civardaki silisli yüzey kayalarını altere etmesiyle birkaç cm kalınlığında oluşan tortu çökelleri, tabakalar ve damla tepecikleridir. Amorf silikaya göre daha yüksek oranda kükürt, kristobalit ve kaolen içerir.

Amorf silis ise sürekli kavram karmaşasına yol açan bir terimdir. Türkçe de silis, bir ametal olan silisyum elementine karşılık kullanılabilirliği gibi, silisyum elementinin oksijen ile muhtelif bağ yapıları oluşturduğu silikat grubu mineraller veya camsı materyaller için de kullanılmaktadır.

Doğada olağan koşullarda saf olarak bulunmayan ancak yerkabuğunun oksijenden sonra en bol elementi (kayaçların yaklaşık %27'si) olan silisyumdan günümüz teknoloji nabit silisyum kristalleri elde edilebilmektedir. Yani saf silisyum elementinden oluşan materyal amorf yapı göstermez.

Silisyum oksijenle bağ yapılarak (ki yer kabuğunun yaklaşık %55'ini oluşturur) en yaygın mineraller grubunu oluşturur ve silikatlar olarak adlandırılır. Kuvars, feldspatlar), olivin, mika(lar), talk, ojit ve eptdol gibi minerallerin tamamı silikatlardır. Silika ise daha dar çerçeveli bir kavram olup "Silisyum + Oksijen" birliğini ifade eder. Örneğin mineral kuvars silikadır. Yine silika formunda mineraller olan tridimit, kohesit ve kristobalit yüksek sıcaklık ve basınç altında kararlı olan minerallerdir. Bütün bu mineraller aynı zamanda silikatlardır. Bir başka deyişle kuvars saf silikadan oluşan bir silikattır. Fakat feldspat silisyum ve oksijene ilave olarak sodyum, alüminyum, potasyum ve kalsiyum içerir. Bu yüzden feldspatlar silikatlar ancak saf silika değildir.

Genelde açık maden ocağından üretilen tüvenan amorf silika, kırma, eleme, kurutma ve öğütme işlemlerine tabi tutulduktan sonra dökme veya torbalanmış olarak inşaat sektörünün kullanımına sunulmaktadır. Amorf silikadan Üretilen beton katkı maddesi, kimyasal ve/veya yan ürün olarak elde edilen alternatif katkı maddelerine göre daha düşük maliyetlerle piyasaya arz edilebilmektedir (Anonim, 2000). Buna karşın dünya üzerinde ekonomik olarak işletilebilecek rezervleri hayli kısıtlıdır.

Halen Golden Bay Cement grubunda yer alan Microsilica New Zealand Ltd. Şti, günümüzde Yeni Zelanda'da Rotorua-Tikitere de amorf silika içeren bir maden ocağını işletmektedir. Amorf silika yerel ve ihraç pazarlarında beton ve sıva katkı maddesi

olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Anonim, 2000).

Bilinen en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Beton dayanımını artıran ve priz hızlandırıcı poli mer esaslı kimyasal maddeler, uçucu küller, zeolit grubu mineraller ile endüstriyel yan ürün/atık olarak elde edilen silis dumanı gibi, doğal amorf silika da Yeni Zelanda ve civar ülkelerinde beton katkı maddesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Amorf silika temizlik malzemelerinin üretiminden kâğıt, boya, cam gibi birçok kimyasal ve özel amaçlı endüstriyel alanlarda kullanımı görülmektedir.

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 sualtı yapılarında yüksek performanslı beton kullanımında amorf silika mineral bir katkı malzemesi olarak yer tutabilecek özellikte bir kayadır. Ayrıca endüstriyel zemin ve döşemelerde, tünel kaplamalarında ve püskürtme sıva uygulamalarında yüksek performanslı beton, harç ve sıva kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Genelde açık maden ocağından üretilen tüvenan amorf silika, kırma, eleme, kurutma ve öğütme işlemlerine tabi tutulduktan sonra dökme veya torbalanmış olarak farklı sektörlerin hizmetine sunulmaktadır.

Yeni Zelanda inşaat endüstrisinde mineral katkı maddesi olarak amorf (mikro) silika, yüksek dayanımlı beton, endüstriyel zemin-döşeme betonu, su geçirimsiz beton, püskürtme beton, kimyasallara dirençli beton ve marina betonu gibi farklı tür ve işleve sahip betonların üretiminde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Bugün amorf silika kullanıcısı hazır beton firmalarınca, 100 MPa'lık dayanım değerlerine ulaşan ve hatta aşan yüksek dayanımlı beton üretimleri gerçekleştirilmektedir (Golden Bay Cement, 2002).

Amorf silika katkılı beton, endüstriyel döşemelerin yüksek performans ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik sert-dayanıklı beton talebini karşılamakta, plastik çatlama sınırı için optimum beton akışını, plastik yerleşme ve rötreyi sağlamaktadır.

Amorf silika, mikro tanecikli homojen yapısı ve yüksek puzolanik aktivitesiyle çimento hamuru gözenek yapışımını inceltirerek beton geçirirliğini azaltmaktadır. Geleneksel betona oranla çok daha düşük perméabilite I i amorf silika betonu zemin altındaki yapılarda membran kullanımını da en aza indirmektedir.

Püskürtme betonda amorf silika kullanımı, pahalı kalıp kullanımını sona erdirerek uygulama süresini azaltmaktadır. Amorf silikanın yüksek aderansı, uygulama başarısını artırırken püskürtme esnasında geri sıçramayı azaltarak önemli oranda malzeme tasarrufu da sağlamaktadır.

Amorf silika betonu pek çok endüstriyel kimyasallara karşı dirençlidir. Geleneksel betona göre daha fazla sülfat direncine sahiptir. Ayrıca amorf silika partikülleri alkali agrega reaksiyonunun (AAR) etkisini de en aza indirebilmektedir.

Amorf silika ile hayli düşük klorit difüzyon katsayısına ve yüksek mukavemete sahip marina betonu da üretilmektedir. Bu beton deniz çevresindeki yapılar için idealdir.

Amorf silika betonuyla daha ince kesitli yapı elemanları üretilebilmektedir. Bu şekilde hem malzeme maliyeti hem de eleman ağırlığı azalırken, efektif yapı hacmi artmaktadır. Ayrıca beton performansındaki iyileşmeler, azalan sünmeye bağlı olarak taşıyıcı eleman özellikleri de geliştirmektedir. Taşıyıcı eleman boyutlandırma ve açıklık tasarımlarında daha az kısıtlamalar sayesinde daha ferah mekanlar ve daha zarif yapı tasarımları yapılabilmektedir.

Yüksek performanslı betonda amorf silika kullanımı, ekonomiklik ve hızlı imalat için başrol oynamaktadır. Beton özelliklerinin gelişimine bağlı olarak imalat hızlanırken, yapı güçlendirme maliyetleri azalmaktadır. Daha az donatı gereksinimi dolayısıyla donatı kalabalığı ortadan kalkmakla, beton yerleşimi ve kompozisyonu düzeltmekte, malzeme ve işçilik maliyetleri azalmaktadır.

İlave olarak, önemli uygulama alanlarından sağlanan dolaylı maliyet tasarrufları da vardır. Tünel inşaatı için projelendirilen yüksek dayanımlı (püskürtme) beton, kaplama kalınlıklarında belirli bir oranda azalma sağlayacaktır. Bu azalma beraberinde önemli miktarda kazı, hafriyat, malzeme ve işçilik tasarrufuna yol açar.

Geleneksel betona göre amorf silika betonu, daha fazla yerleşim avantajı sunar. Daha fazla yapışır ve ayrışmaya daha az eğilimlidir. Yine de yeterli viskozite ve iyi pompaj özelliklerine sahiptir. Amorf silika, beton pompajına yardım eder. Pompalama basıncını muhtemel olarak azaltır. Ancak amorf silika kullanımı, pompalanan beton karışımları için izlenmesi gereken standart tasarım uygulamalarındaki olası karışım eksikliklerini halletmez.

Amorf silika betonun aderansı geleneksel betondan daha fazladır. Genellikle benzer uygulanabilirlikte yerleştirme vibrasyonu kullanıldığında, amorf silika betonunun çökmesi geleneksel betondan 25 - 50 mm daha az olabilir.

ilave edilen süper akışkanlaştırıcı dozajları veya ilave su sayesinde uygulanabilirlik artışı öncesi bu husus dikkate alınmalıdır. Çökme değeri, kohezyon kontrolü ve özellikle segregasyonu önlemek açısından önemlidir. Amorf silika bizzat beton kompaksiyonu için uygun bir denge sağlayıcıdır.

Amorf silika betonunun yüksek kohezyonu onu segregasyona daha az eğilimli yapar. Karışımlar, serbest akışlı beton temin etmek için tasarlanabilir. Yüksek kohezyon, yığılma içinde segregasyonsuz veya gözeneksiz (peleksiz) beton vibrasyonuna yardım eder (Golden Bay Cement, 2002).

Beton karışımına amorf silika ilavesi, betonun plastiktik ve sertlik özelliklerinin her ikisine de etki eder. Beton yapısı, ısı oluşumu, sıcaklık farklılığı, beton karakteristikleri günümüz beton uygulayıcılarının karşılaştığı en önemli konular olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

Yüksek yüzey sertliği ve aşınma direncinin gelişmesinde önemli rol oynayan sızdırma, geleneksel betona göre amorf silika betonunda daha azdır. Geleneksel betonda yüksek sızdırma, takviye barları üzerinde plastik yerleşim çatlakları ve yüksek su içeriği / düşük yüzey sağlamlığına etki eder. Silis dumanlı betonlarda geçerli olduğu gibi çok düşük sızdırtıda plastik rotte çatlağının tersine, yetersiz su sızıntısının varlığında buharlaşma şeklinde su yer değişimi oluşur. Amorf silika, doğru bir akışla plastik çatlama riski en aza indirilen yüksek sağlamlık ve dayanımda beton çözümünü sağlayan uygun bir katkı maddesidir (Branz, 1999).

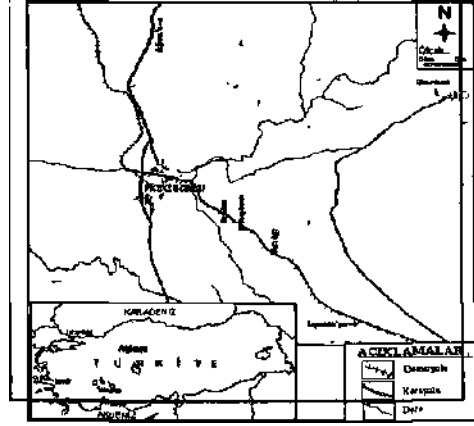
İnşaat sektörünün haricinde amorf silikanın;

- 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 sanayinde vb. alanlarda aşındırıcı ve parlatici madde olarak,
- Tıp, mikrobiyoloji, genetik, uzay sanayi gibi hassas ve saf madde kullanımı gerektiren ilen teknoloji alanlarında moleküler elek olarak.
- Muhtelif sanayi dallarında filtre ve absorban malzeme olarak kullanım alanları da mevcuttur.

3 İSPARTA KEÇİBORLU AMORF SİLİKA OLUŞUMLARI

İsparta-Keçiborlu yöresindeki amorf silika yalağı, uzun yıllar Etiholdmg A.Ş. (Etibank) tarafından

işletilen kükürt maden sahası içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Yöredeki rezervin bir kısmı (Kumludere bölgesi) önceleri kuvarsit ve daha sonra diyatomit olarak tanımlanarak işletilmiştir. Yörede yapılan on araştırmalardan elde edilen bulgular, Kumludere-Değirmenderesi amorf silika numunelerinin Yeni Zelanda kayacıyla benzer teknolojik özellikler gösterdiğini, İrepedere kayacının ise hafif agrega olarak araştırılmaya değer olduğunu ortaya koymuştur (Davraz, 2004).



Şekil 1. Amorf silika oluşumları yer buldu haritası.

Keçiborlu kükürt sahası içerisinde yer alan amorf silika oluşumları, Etibank Keçiborlu Kükürt işletmesinin faal olduğu dönemlerde "kuvarsit maden ocağı" olarak işletilmiştir. Kumludere maden ocağı güney balı bitişiğinde yer alan ve açık işletme yöntemiyle kuvarslı adı altında üretilen tuvenan amorf silika, yine açık işletmeye yakın bir alanda kurulu bulunan kuvarsit hazırlama tesisinde kurutulup öğütüldükten sonra geçmişte "zirai kükürt" hazırlanmasında nem tutucu ve topaklanmayı önleyici katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Etibank Kükürt işletmesinin kapatılmasından sonra 1997 yılında, Eti Holding A.Ş.'nce "diyatomit" olarak nitelenen oluşum, yine aynı yıl içerisinde "diyatomit yerel alanı" olarak ihale edilmiş ve işletmesi Beril Madencilik Ltd. Şti.'ne verilmiştir. 2003 yılına kadar bu yerel alan diyatomit madeni olarak ISBAŞ A.Ş. bünyesindeki Beril Madencilik Ltd. Şti.'nce zaman zaman işletilmiştir. Üretilen hammadde hafif yapı elemanları üretiminde agrega olarak kullanılmıştır. Değirmenderesi, Asartepe ve İrepedere civarındaki rezervlerin diyatomit lokal alanının sınırları dışında kalması dolayısıyla işletmesi yapılmamıştır (Davraz, 2004).

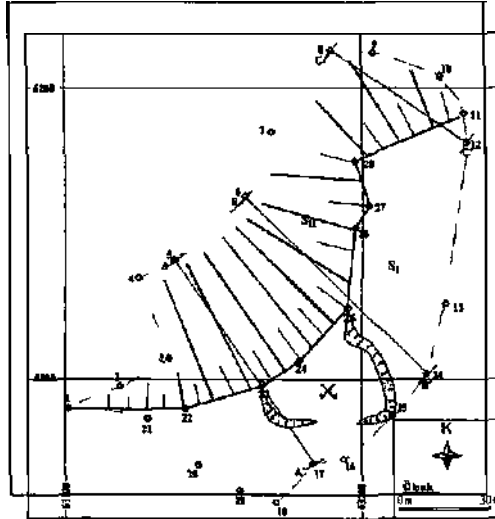
Keçiborlu bölgesi amorf sülka oluşunları Kumludere Değirmenderesi Asartepe mevkileri (I lokasyon) arasında ve İrepdere (II lokasyon) mevkiinde yoğunlaşmıştır Her iki lokasyonda da amorf sülka rezervi topografyaya uygun adese şeklinedir Kumludere civarındaki amorf sülka yatağı yaklaşık 15m kalınlıkta, 150m uzunluğunda ve 80m genişliğinde bir zonda yayılım göstermektedir (Fotol) Saha iğerisindeki önceden işletilmiş ocakta ortalama ayna yükkeliği 15,5m olarak belirlenmiştir Kumludere amorf sülka yatağına ait ekonomik rezerv alanının sınır değerlendirmesi şekil 2'de gösterilmiş olup, bu rezerv alanında amorf sülka oluşumunun 3 boyutlu modellemesi ise şekil 3'de verilmiştir



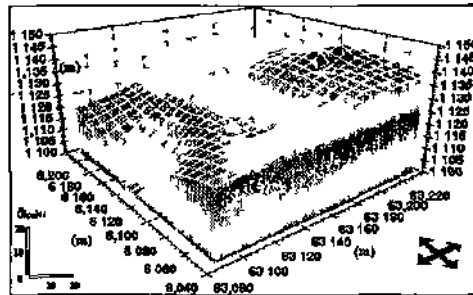
Foto I Kumludere amorf sülka yatağından görünüm

Kumludere amorf sülka yatağının görünür rezervi ortalama olarak 180 092 ton olarak hesaplanmıştır I lokasyona dahil olan Değirmenderesi Asartepe arasındaki rezerv eski Değirmenderesi açık ocağı civarından başlayarak bindirme hattının batı kanadı boyunca kuzey istikametine doğru, yaklaşık 1400m uzunluğa 6m kalınlığa 50m genişliğe sahip bir mostra olarak uzanmakla ve Asartepe civarında oldukça geniş bir alanda yayılım göstermektedir Ancak amorf sülka oluşumlarının Asartepe civarındaki kalınlığı, açık bir biçimde gözlenememektedir Ancak yatağın büyük bölümünün Asartepe civarındaki alanda yuzcylenmemesi ve bu alanda kalınlığa ilişkin belirgin bir gözlem ya da olcum yapılamaması nedeniyle yöredeki amorf sülka potansiyeli mümkün rezerv kategorisinde ele alınabilmektedir (şekil 4)

Değirmenderesi Asartepe civarındaki amorf sülka oluşumlarına ait mümkün rezerv 5 419 300 ton olarak hesaplanmıştır



şekil 2 Kumludere amorf sülka yatağına ait ekonomik rezerv alanı sınır haritası

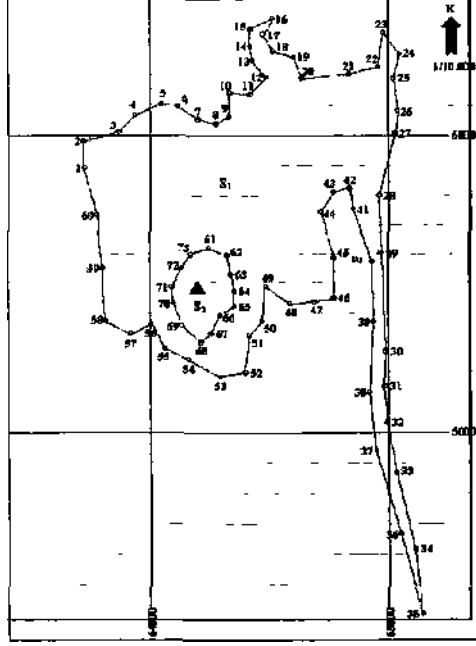


şekil 3 Kumludere amorf sülka oluşumu 3 boyutlu modellemesi

İrepdere Bebbēşderesi (II lokasyon) amorf sülka kayacı I lokasyon kayacından farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olup amorf sülka oluşumları bindirme hattının güneyinde yer alan alanı kapsamaktadır Bölgede amorf sülka oluşumunun kalınlığının net bir biçimde ölçülebileceği yarın veya çukur yoktur Ancak İrepdere ve Bebbēşderesi içerisinde açığa çıkan amorf sülka mostrasının gözlemlenen kalınlığı yaklaşık 5m olarak belirlenmiştir İrepdere civarındaki amorf sülka oluşumlarına ait mümkün rezerv 2 181 256 ton olarak hesaplanmıştır

Bu rezerv verilerine göre Keçiborlu yöresi I lokasyon bölgesinde 180 092 tonu görünür ve 5 419 300 tonu mümkün re/erlv olmak üzere yaklaşık 5 599 392 ton mineral katkı maddesi olarak

kullanılabilir amorf silika ve 2.181.256 ton mümkün rezervli hafif agrega olarak kullanılabilir amorf silika potansiyeli bulunmaktadır.



Şekil 4. Değirmentepe-Asartepe amorf silika yatağına ait mümkün rezerv alanı sınır haritası.

4 AMORF SİLİKANIN DÜNYA VE ÜLKEMİZ İNŞAAT ENDÜSTRİSİNDEKİ YERİ

Yüksek performanslı beton üretiminde yaygın olarak kullanılan katkı maddelerinden silis dumanı ve doğal amorf silikanın tüketim miktarlarına ait kesin kayıtlara rastlanamamıştır. Ancak Silis Dumanı Üreticileri Birliği'nce (SFPA) 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 atık/doğal mikro-silislerin betonda katkı maddesi olarak kullanımıyla ilgili açık bir bilgi mevcut değildir. Ülkemizde beton katkı maddelerinin üretim ve tüketim miktarını içeren herhangi bir resmi kayıt bulunmamakla birlikte; Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. tesislerden yan ürün olarak 800-1000 ton/yıl kapasiteyle elde edilen

silis dumanının, ülkemiz inşaat sektöründe tüketildiği bilinmektedir (Yeğinobalı, 2001). Türkiye'de üretilen ve tüketilen çimento üretimi dikkate alındığında, bu tesisten elde edilen silis dumanının sektörün talebine cevap veremeyeceği açıktır.

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 m³ betona eşdeğerdir. Tüketilen 120 milyon m³'e eşdeğer beton ve/veya betondan imal edilen ürünlerin %1'i yüksek performanslı beton sınıfına girdiği kabul edilirse, ülkemiz katkı maddesi ihtiyacının (kullanılan çimento oranının en az %10'u oranında ilave edildiği göz önünde bulundurularak) 30 bin ton civarında olduğu görülecektir. Asgari 30 bin tonluk iç tüketimin ülke ekonomisine yansımaları en az 5 milyon USD'dir. İsparta - Keçiborlu yöresindeki rezerv, bu talebe cevap verebilecek potansiyele sahiptir.

Sanayi-üniversite işbirliği kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi ile birlikte yürütülen bir ArGe çalışmasında, öncelikle ekonomik bir potansiyel niteliğinde olabilecek Keçiborlu amorf silika oluşumlarının inşaat-beton sektörüne yönelik kullanım imkanlarının araştırılarak, elde edilen bulgular ışığında ülkemiz inşaat ve beton sektörüne alternatif hammadde kaynaklarının sunulması, dolayısıyla yöre ve ülke ekonomisine katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Bu Ar-Ge çalışması halen sürdürülmektedir.

5 KEÇİBORLU AMORF SİLİKA KAYACININ TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Keçiborlu kayacı yüksek oranda silika ($SiO_2 > \% 90$) içermektedir. Kayaç az miktarda anatas, jarosit, gotit ve kükürt vd. mineralleri içerse de, bütününde kristalize yapı göstermemektedir. Bir başka deyişle kayaç amorf yapıdadır. Amorf silika, açık rengi, hafifliği (birim hacim ağırlığı $< 1gr/cm^3$), mikro gözenekli yapısına bağlı yüksek porozitesi ve su emme kabiliyeti, gevrek ve kolay kırılabilir oluşu ile diğer silikalı kayalardan kolayca ayırt edilebilir.

Keçiborlu yöresi T. ve II. lokasyona ait amorf silika kayaları, açık renkleri ve hafiflikleri ile yöredeki diğer kayalardan hemen ayırt edilmektedir. Gözle ve lupla fark edilemeyen, mikro ölçekteki gözenekli yapısı, amorf silika kayacına

yüksek porozite özelliği ve su emme kabiliyeti kazandırmaktadır. Ayrıca mevcut gözenek yapısından dolayı kayacın ısı iletkenlik değeri oldukça düşüktür. Amorf silikanın bu Özelliği, ona ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirlik avantajı da sağlamaktadır.

Lokasyonlara göre Keçiborlu yöresi amorf silika kayacının genel fiziksel özellikleri Çizelge P de verilmiştir.

Çizelge I. I. ve II. lokasyon amorf silika kayacının genel fiziksel özellikleri

Kayaç Fiziksel Özellikleri	I. lokasyon	II. lokasyon
Renk	Açık krem, sarımsı beyaz.	Krem, açık
Senlik (Mohs)	5,5-6	5-5,5
Gerçek Özgül Ağırlık	2,39 gr/cm ³	2,55 gr/cm ³
Birim Hacim Ağırlığı (Orijinal kayaç) (% 100 kuru halde-on.)	1050-1190 kg/m ³	1270 kg/m ³
Görünür Porozite	% 45	% 34
Su Emme (ağırlıkça)	% 50	% 24
Isı iletkenlik Değeri	0,11-0,13 W/m.K.	0,13-0,15 W/m.K.

Keçiborlu Kumludere-Değirmenderesi ve İrepedere yöresini temsil eden amorf silika kayaç numunelerinin kimyasal analizleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, I. lokasyona ait her iki amorf silika kayacının birbirine oldukça yakın kimyasal bileşenlere sahip ve SiO₂ içeriklerinin oldukça yüksek değerler arz ettiği görülmektedir. II. lokasyon amorf silika kayacının kimyasal bileşenleri ise I. lokasyon kayaçlarından farklılık göstermektedir. İrepedere kayacının Özellikle SiO₂ içeriği daha düşük Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO ve CaO içerikleri ise yüksektir.

Her iki lokasyona ait kayaçların Na₂O ve K₂O alkali metal oksit bileşenleri betonda alkali-agrega reaksiyonu ve SO₃- içeriği de sülfat etkisi bakımından önem taşımaktadır. TS 1114 standardına göre hafif agregalarda sülfat içeriğinin ağırlıkça % 1'den çok olmaması istenmektedir. Sülfat içeriği bakımından her iki lokasyon kayacı TS 1114 standardına uygundur. Kayaçlar betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılabilirlik kriterleri yönünden irdelendiğinde ise irepedere kayacının uygun niteliklere sahip olmadığı saptanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 2. I. ve II. lokasyon amorf silikalının kimyasal bileşenleri

Kimyasal Bileşenler	I. lokasyon		II. lokasyon
	Kumludere	D.deresi (%)	İrepedere (%)
SiO ₂	92,48	90,84	61,66
Al ₂ O ₃	2,60	2,66	18,42
TiO ₂	1,34	1,24	1,03
Fe ₂ O ₃	0,09	0,15	5,16
MgO	0,00	0,00	0,93
CaO	0,31	0,18	1,39
N ₂ O	1,08	1,12	2,70
K ₂ O	0,04	0,09	0,95
SO ₃	0,09	0,06	0,01
Diğer	0,12	0,15	1,74
A.K.	1,85	3,51	6,01

Çizelge 3. Keçiborlu I. ve II. lokasyon amorf silikalın kimyasal bileşenlerinin silis dumanı / mikrosilika standardına göre değerlendirilmesi (ASTM C-1240-03, 2003).

Kayaç Kimyasal Bileşen ve Özellikleri	ASTM C 1240-03	I. Lokasyon		H. Lok.	
		K.dere	D. deresi	I.dere	
SiO ₂ , En az	85	92,48	90,84	61,66	
Na ₂ O Eşdeğeri Alkali (%)	En fazla	1,5	1,11	1,18	3,33
SO ₃ (%)	En fazla	1,0	0,09	0,06	0,01
Kızılırmak Kaybı	En fazla	6,0	1,85	3,51	6,01

Yapılan deneyler sonucunda (öğütülmüş) amorf silika 7 günlük eğilme ve basınç dayanım değerlerinin, TS 25 standardına uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca numunenin Özgül yüzey alanı, (Göltaş) portland çimemesi özgül yüzey alanı değeri ile karşılaştırıldığında, mikronize silikanın (ortalama parlaklık boyutu 18 µ) çimentoya göre 4 kat daha ince olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Amorf silika ve opal gibi kristal yapıya sahip olmayan veya düzensiz bağlar oluşturan SiO₂ molekülleri reaktif özelliğe sahiptir. X-Ray analizlerine göre amorf yapıya sahip (reaktif) silis içeriği ortalama ~ % 69 olarak saptanmıştır. Beton ve çimento da mineral katkı maddesi olarak kullanılacak silis dumanı ve benzeri malzemelerde aranılan reaktif SiO₂ (RS) oranı en az % 25'tir (TS EN 197-1,2002).

Çizelge 4. (I. Jokasyon) Mikronize si I ikanın puzolanik aktivite ve özgül yüzey deney sonuçları.

Puzolanik aktivite		
Blaine	12.124 cm ² /g	
İnceciklik	200µ	1.8
	90µ	8.8
Özgül Ağırlık	2.32 g/cm ³	
Dansite	920 g	
Beton Sonuçları		
7 gün sonunda eğilme dayanımı	1.6 N/mm ²	
7 gün sonunda basınç dayanımı	11.9 N/mm ²	
(TS 25'e göre 7 gün sonunda eğilme dayanımı minimum 1,0 N/mm ² ; basınç dayanımı minimum 4,0 N/mm ² olmalıdır.)		

6 AMORF SİLİKA KATKISININ BETON PERFORMANS ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Amorf silika yüksek derecede reaktif bir puzolanıdır. Puzolanlar kohezif, dış ortamlara dayanıklı, ekonomik ve yüksek performanslı beton üretmek için kullanılırlar. ASTM C 618-03'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 hidroksit) ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellikteki bileşenlerin oluşmasını sağlayan silisli veya alüminli malzemelerdir (ASTM C-618-03, 2003). Betonda puzolanlar, çimentonun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan sönmüş kireci kullanarak bağlayıcı ürünler oluştururlar. Portland çimentosuna ilave edildiği zaman, yüksek dayanım lı betonlarda genellikle şu özelliklerin daha etkin kılındığı tecrübe edilmiştir:

- Kimyasal etkileşim direncinde artış, çiçeklenmede azalma,
- Basınç dayanımında artış, aşınma direncinde artış,
- Su geçirimsilikte azalma, jeotermal ortamdaki duraylılıkta artış,
- Çok düşük klorür iyon difüzyonu (Golden Bay Cement, 2002).

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

- Amorf silikanın çok ince tanecikleri, çimento partikülleri arasındaki mikroskobik boşlukları doldurabildiği için beton mikro yapısında geçirgenliği azalır,
- Çimento hidrasyon prosesinde açığa çıkan serbest kalsiyum hidroksil, ilave kalsiyum silikat üretmek

için amorf silika ile tepkideğinde puzolanik reaksiyon oluşur,

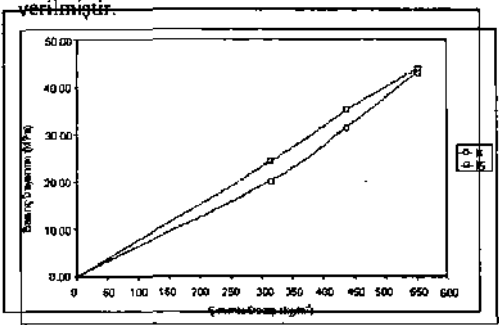
- İnce partikül boyutu beton sızdırmasını azaltır ve çimento pastasıyla agrega ara yüzeyinde bağ gelişimine yardımcı olur.

Amorf silikanın geleneksel betondaki dayanım etkinliğinin analizi amacıyla, numune karışımlarının hazırlanmasında iki temel karışım oranlama yöntemi uygulanmıştır. Bunlar:

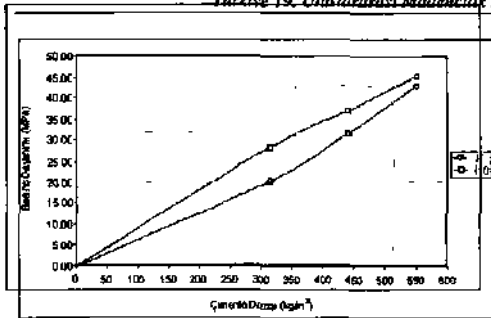
- Amorf silikanın ince agrega olarak kullanılması (İlave yöntemi),
- Çimentonun yerine kısmi olarak amorf silikanın kullanılması (basit ikame yöntemi) dir.

Amorf silikanın, ince agrega olarak kullanılması (İlave) 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. 314, 440 ve 550 kg/m³ dozajlarında portland çimentosu içeren karışımlara, çimento ağırlığının % 5'i, % 10'u, % 15'i oranlarında mikronize amorf silika ilave edilmiş, ayrıca benzer çimento dozajlarına sahip, üç seri de (C20, C30 ve C40) katkısız kontrol beton örnekleri dökülmüştür. Tüm karışımlar eşit şartlarda kürlenmiştir. Elde edilen örneklerin 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde basınç dayanım analizleri yapılmıştır.

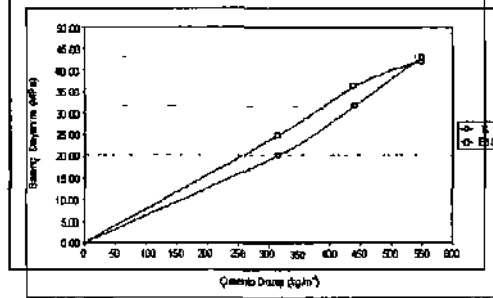
Amorf silikanın betonda verimlilik, bir diğer değişle etkinlik faktörü (k) tespit edilebilir. Bu amaçla, mikronize amorf silikanın ilave ve eksiltme yöntemlerine göre betonda katkı elemanı olarak kullanımında, beton performansını ne ölçülerde etkin kıldığının analizi için deney bulguları, farklı çimento doz kullanımı ve beton örneklerinin basınç dayanımı ilişkileri grafiksel olarak irdelenmiştir. Bu grafikler Şekil 5.a-b-c ve Şekil 5.a-b-c'de



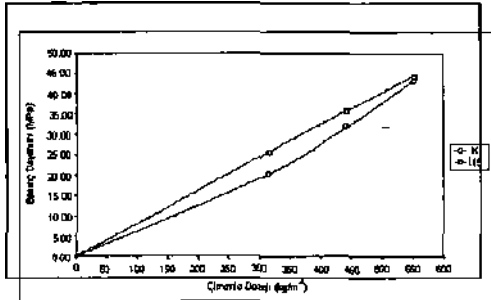
Şekil 5a. Amorf silikanın % 5 oranında ilavesinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



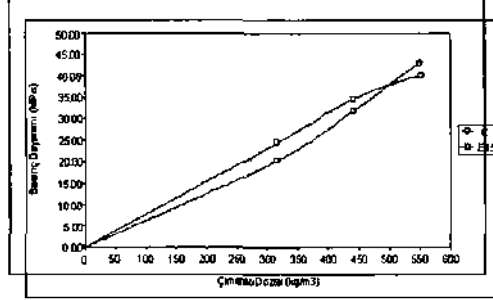
Şekil 5b. Amorf silikanın % 10 oranında ilavesinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



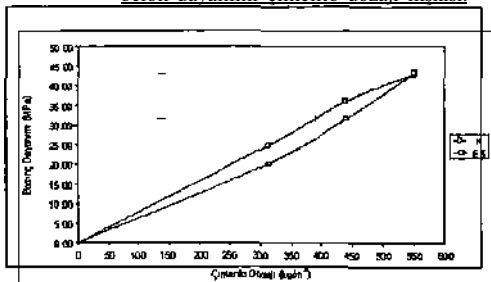
Şekil 6b. Amorf silikanın % 10 eksikliğinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



Şekil 5c. Amorf silikanın % 15 oranında ilavesinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



Şekil 6c. Amorf silikanın % 15 eksikliğinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.



Şekil 6a. Amorf silikanın % 5 eksikliğinde beton dayanımı-çimento dozajı ilişkisi.

Araştırmalara göre elde edilen verimlilik faktörleri ise Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir. C20 ve C30 sınıfı beton numuneleri için bu değerler. Yeni Zelanda'dan Tikilere amorf silika kayacı için Branz (1999) tarafından verilen betonda mikrosilika kullanım değerlerine benzemektedir (Çizelge 7).

Çizelge 5. C20 beton örnekleri için amorf silikanın etkinlik faktörü hesabı.

C20	Ç _i (kg/m ³)	Ç ₂ (kg/m ³)	AS kR/m^3	Ç ₁ -Ç ₂ (kg/m ³)	k ₂₀
15	314	261	15,7	53	3,38
1 10	314	220	31,4	94	2,99
1 15	314	246	47,1	68	1,44
E 5	314	252,5	15,7	61,5	3,92
E 10	314	260	31,4	54	1,72
E 15	314	260	47,1	54	1,15
C20-I için etkinlik faktörü					2,60
C20-E için etkinlik faktörü					2,26

Çizelge 6. C30 beton örnekleri için amorf silikasinin etkinlik faktörü hesabı.

C30	c_{1s} (kg/m ³)	Ç2 (KR/m ³)	AS (kg/m ³)	Ç1-Ç2 (kg/m ³)	k20
15	440	398	22	42	1,91
I 10	440	358	44	82	1,86
I 15	440	388	66	52	0,79
E 5	440	388	22	52	2,36
E 10	440	387,5	44	58,13	1,32
E 15	440	403	66	60,45	0,92
C30-I için etkinlik faktörü					1,52
C30-E için etkinlik faktörü					1,53

Çizelge 7. Tikitere amorf silikasının beton uygulamaları için etkinlik faktörü (Branz,1999)

Uygulama	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Etkinlik Faktörü
Endüstriyel Döşemeler	55	2,5
Kopru inşaatı	53	2,8

7 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, İsparta Keçiörlü yöresi amorf silika oluşumlarının jeolojik açıdan oluşum özellikleri, yayılımı, rezerv durumu; kayaç mühendislik özellikleri ve betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan inceleme ve analiz bulguları yorumlanarak sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Keçiörlü yöresi amorf silika oluşumları, ülkemizde şu ana kadar bilmen ve ekonomiklik arzeden tek amorf silika yatağıdır.
- Asidik karakterde ve koloidal silika partikülleri içeren hidrotermal çözeltilerin yüzeye ulaşması ile soğuması neticesinde silika partikülleri jel halinde, bindirme zonunun özellikle Kumluca-Degirmenderesi-Asartepç (I. lokasyon) ve İrepedere (II.lokasyon) mevkiilerinde tortulaşması neticesinde Keçiörlü amorf silika yataklarını oluşturmuştur.
- Keçiörlü yöresi I.lokasyon bölgesinde 180.092,6 tonu görünür ve 5 419.300 tonu mümkün rezervli olmak üzere yaklaşık 5 599.392 ton betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir amorf silika ve II. lokasyon bölgesinde 2.181.256 ton mümkün rezervli hafif agrega olarak kullanılabilir amorf silika potansiyeli bulunmaktadır
- Fiziksel, kimyasal ve diğer teknolojik özellikleri açısından Keçiörlü I. lokasyon kayacı, Yeni Zelanda'da halen işletilen amorf silika yatağındaki kayaç ile karşılaştırıldığında büyük benzerlikler taşımaktadır. Keçiörlü amorf silikasının daha

yüksek silisyum dioksit (Keçiörlü: % 90 - Y.Zelanda: % 88) ve çok daha düşük kızdırma kaybı oranı (Keçiörlü: % 0,88 - Y.Zelanda: % 5,1), önemli bir avantajdır.

• Keçiörlü I. lokasyon amorf silika kayacı 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.

• Keçiörlü amorf silikasının etkinlik faktörü (k), C20 betonu için 2,43, C30 betonu için 1,52 olarak saptanmıştır. Bu değerler uçucu küllere göre oldukça (0,25 - 0,5) önemli bir avantaj sağlamaktadır.

• Mineral katkı maddesi olarak kullanımda, optimum öğütme tasarımı yapılarak, ürünün özgül yüzey alanını, dolayısıyla betondaki etkinliği artırmak mümkündür. Bu amaçla kayacın - üretim maliyet analizleri de dikkate alınarak - ekonomik öğütülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ekonomik olarak üretilebilecek optimum partikül tane boyutlarına göre, geleneksel betonda ilave ve basit ikame yöntemlerine göre amorf silika kullanım oranları ve etkinlik faktörü yeniden belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 1999; Annual Books of Energy and Minerals. New Zealand's Official Statistical Agency, New Zealand.
- Anonim, 2000, Annual Book, New Zealand's Industrial Mineral Potential, Industrial minerals, N°r 394. p.66-77
- ASTM C 618-03, 2003. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use As A Mineral Admixture in Concrete, American Society for Testing and Materials, USA
- ASTM C 1240-03a, 2003 Standart Specification for Use for Silica Fume for Use As A Mineral Admixture in Hydraulic-Cement Concrete, Mortar and Groul, American Society for Testing and Materials. USA.
- BRANZ, 1999 (Building Research Association of New Zealand) Test Reports on Micro silica 600. New Zealand
- Davran, M . 2004 İspana Keçiörlü Yöresi Doğal Amorf Silika Oluşumlarının Geleneksel ve Hafif Beton Endüstrilerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. S D U Fen Bil East Doktora Tezi, (yayınlanmamış), İsparta
- Golden Bay Cement, 2002b. Microsilica New Zealand, About amorphous silica, ai URL [http://www.niicrosilica.co.nz/brochures/High Strength Concrete pdf](http://www.niicrosilica.co.nz/brochures/High%20Strength%20Concrete.pdf)
- TS EN 197-1. 2002 Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Yeğmobaı, A , 2001 Silis dumanı ve çimento kullanımı, TÇMB AR-GE Y 01 01. İstanbul.