



SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAKIMINDAN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON KULLANIMININ ROLÜ

THE ROLE OF USAGE OF SELF-CONSOLIDATING CONCRETE WITH REGARD TO SUSTAINABILITY

Emre SANCAK^a, Ayhan ŞAMANDAR^b

^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta, Türkiye. esanca@tef.sdu.edu.tr

^b Düzce Üniversitesi, Kaynaşlı Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Programı, Düzce, Türkiye. ayhansamandar@düzce.edu.tr

Özet

Bilindiği üzere beton sektörü, doğal kaynakların tüketimi nedeni ile çevresel etkileri olan bir sektör olarak tanınmaktadır. Ancak hem durabilite özellikleri bakımından hem de dayanım bakımından üstünlüklere sahip olan kendinden yerleşen betonun (KYB) son yıllarda ülkemizde de popüler olması doğal kaynakların korunması açısından katkılar sağlamıştır. Bunun birinci nedeni: KYB teknolojisi uzun ömürlü beton üretimi sağladığından doğal kaynakların tüketimi sınırlı kalabilmektedir. İkinci nedeni ise KYB üretimi için oldukça fazla oranda çok küçük boyutlara sahip agrega ihtiyacı, çoğunlukla atık olarak ortaya çıkan uçucu kül(UK), silis dumanı(SD), granüle yüksek fırın cürufu(GYFC), mermer tozu ve taş tozu gibi malzemeler ile karşılanmaktadır. KYB, bu atıkların kullanımı nedeni ile atık depolama veya bertarafı konusunda çok büyük oranlarda açılımlar sağlamaktadır. Bu çalışmada KYB üretiminde UK, SD, GYFC kullanım miktarları araştırılmış ve atık maddelerin KYB üretiminde kullanımının sürdürülebilirlik açısından muhtemel katkısı üzerinde durulmuştur.

Anahtar kelimeler: KYB, uçucu kül, silis dumanı, mermer tozu, sürdürülebilirlik, endüstriyel atıklar.

Abstract

As is known, the concrete industry, natural resource consumption and environmental effects caused as a sector that is known. However, both in terms of durability and strength characteristics that have advantages in terms of Self-Consolidating Concrete (SCC) is becoming popular in recent years in our country for the protection of natural resources has contributed. The first reason for this, because the SCC technology to produce long-lasting concrete consumption of natural resources may be limited. The second reason is that the SCC to produce quite a lot of money very small size of aggregate demand, mainly as waste resulting Fly Ash (FA), Silica Fume (SF), granulated blast furnace slag (GBFS), marble dust and stone powder materials such as are covered by, SCC, because of the use of these waste disposals in landfills or expansions provides very large proportions. SCC, FA in the production of this study, SF, GBFS usage amount of the SCC in the production of waste materials is investigated and the use of sustainability focuses on the possible contribution.

Keywords: SCC, fly ash, silica fume, marble powder, sustainability, by-products.

1. GİRİŞ

Günümüzde yaygın olarak inşaat sektörünün UK ve SD gibi atık maddelerinin kullanım sahası oluşturmasına paralel olarak ömrünü tamamlayan yada değişim etkileri nedeni ile kullanılmayacak hale gelen yapıların oluşturduğu çevre kirliliğine çözüm üretmek amacı ile uluslararası sempozyumlarda gündeme gelmiştir[1].

Betonarmenin yaşam döngüsü evrelerinde:

- *Hammaddelerin çıkarılması*ndan başlayarak
- *Beton, demir donatısı ve kalıp üretimi (Yapı malzemelerinin üretimi) evresi;*
- *Betonarme yapının kullanım evresi;*
- *Yapı malzemelerinin geri dönüştürülmesi / yeniden kullanılması / atılması evresi*

ile tamamlanmaktadır.

Beton ve çelik donatı, malzeme özelliklerinden ve kullanım sürecinde dış etkilere maruz kaldıklarından dolayı bir süre sonra işlevlerini tam olarak yerine getirmemeye başlarlar. Bu durum betonarmenin dayanıklılığı dolayısıyla hizmet ömrünü kısaltır. Betonarmenin yaşam döngüsündeki "kullanım" evresini ifade eden hizmet ömrünün vaktinden önce

tamamlanmaması için, beton dayanıklı olmalıdır. Betonarme yapıların hizmet ömrünü en fazla etkileyen faktör betondur. Beton üretimi ve dökümü standartlara uygun olarak yapılırsa, donatı korozyonunun meydana gelmesi düşük bir ihtimaldir. Betonun dayanıklı olması, betonarmenin hizmet ömrünü uzatır. Böylelikle, betonarme yaşam döngüsündeki kullanım evresi uzar ve doğal kaynakların tekrar tüketilmesi ertelenmiş olur [2].

Ülkemizde ve dünyada artan enerji ve mamul madde tüketimi çevre kirliliğini olanca hızıyla artırmaktadır. Özellikle Türkiye'nin elektrik ihtiyacının 2/3'ünü karşılamak için Termik Santrallerden faydalanmaktadır. Dünya genelinen aksine Türkiye elektrik üretiminde kömür en büyük paya sahiptir[3].

Ülkemizde elektrik enerjisinin halen önemli bir bölümü termik santraller yolu ile üretilmektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun raporuna (EPDK) göre, Türkiye'de 2007 yılında 40.777.3 MW iken 2008 yılı sonu itibarıyla 41.802.6 MW'a ulaşmıştır.

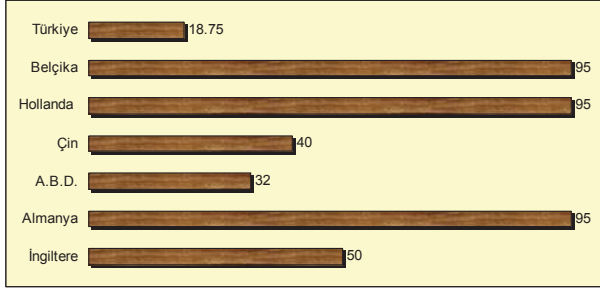
Toplam kurulu güç kapasitesinin 2007 yılında % 31.6'sı doğal gaz, % 25'i kömüre ve % 32.8'i hidrolik kaynaklara dayalı iken 2008 yılında ise toplam kurulu kapasitenin %33'ü hidrolik kaynaklara, %32'si doğal gaz ve %23'ü kömüre bağlı olarak, %11'i ise diğer kaynaklardan karşılanmıştır. Kömür yakıtı kullanan Termik Santrallerin kullanım oranı OECD ülkelerinde de 2002 yılı için yaklaşık olarak % 20.5 olarak gerçekleşmiştir[4]. 2007 yılında yaklaşık 8227 MW elektrik üreten linyit kullanan Termik Santrallerin elektrik üretimi 2008 yılında 8111 MW'a gerilemiştir. Taş kömürü ve ithal kömürü yakıtı kullanılan termik santrallerden elde edilen elektrik enerjisi ise 2007 ve 2008 yılında değişmemiş, sırasıyla 335 MW ve 1651 MW olarak gerçekleşmiştir [5].

Termik santrallerde, 2008 yılında 25.62 milyon ton atık oluşmuştur. 2008 yılında oluşan atığın %79'u kül dağı/kül barajına atılmış, %16'sı gömülmüş ya da maden sahasında depolanmış, %3'ü ise satılmış ya da geri kazanım amacı ile başka firmalara verilmiştir. Termik santrallerin atık bileşimi içindeki en büyük payı, %99.4 ile mineral atıkların (kül, cüruf, uçucu kül ve alçıtaşı) oluşturduğu görülmüştür [6].

UK'lerin neden olduğu çevre problemleri arasında, tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgar erozyonu, toprakta süzülme dolayısıyla toksik madde taşınması ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve havanın kalitesi, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır[7].

Çevre ve hava kirliliğinin had safhaya ulaştığı 1960'dan günümüze kadar ki evrede, inşaat mühendisliğinin beton mühendisliği alanında faaliyet gösteren araştırmacılar bazı atıkların beton üretiminde kullanımının etkilerini araştırdılar. UK olarak isimlendirilen ve depolanması büyük problem oluşturan dolayısı ile çevre ve büyük boyutlarda hava kirliliğine neden olan, Termik Santrallerden kaynaklanan atık maddenin beton üretiminde kullanımının olumlu sonuçlara yol açtığını belirlediler. Bu bulgular bu tür atık maddeler için bir pazarlama sahasını da beraberinde getirdi. Ancak yapılan başka bir araştırmada ise inşaat malzemeleri sağlık açısından ele alınmış ve yaydıkları radyasyon değerlendirilmiştir. Çalışılan bölgede ortalama radyoaktivite değerleri uçucu kül için 632.2 Bq kg⁻¹, tuğla için 4.4 Bq kg⁻¹, toprak için 73.3 Bq kg⁻¹, çimento için 306.6 Bq kg⁻¹. Sonuçlar orta Türkiye'de kullanılan inşaat malzemelerinin yıllık dozunun 1.0 mSv y⁻¹ nin altında olduğu; ancak çimentonun bir bileşeni olan uçucu kül için bu değer genellikle 1.0 mSv y⁻¹ nin üzerinde olduğu belirtilmektedir [7].

UK'nin inşaat sektöründe kullanımının detaylı olarak değerlendirildiği bir çalışma Aruntaş [8] tarafından yapılmıştır. Uçucu külün kullanım yüzdeleri bazı ülkelerde % 95'lere ulaşırken ülkemizde %18.75 civarındadır. Şekil 1'de bazı ülkelerde uçucu kül kullanım yüzdeleri görülmektedir[9,10,11].



Şekil 1. Bazı ülkelerin uçucu külü kullanım oranları

Ayrıca sanayileşmenin artması ile siliko metal ürünlerinin üretimi de gelişen teknolojiye paralel olarak hız kazandı. Ancak metal üretiminde hızla değişen teknoloji, çevre koruma teknolojileri alanında aynı hızda gelişmemekte idi. Ancak atık olarak silikoferrokrom işleme tesislerinin bacalarından atmosfere salınan duman ve gazların tutulması için geliştirilen elektrofiltreler mikron düzeyindeki tanelerden oluşan bu atmosferi kirlenici dumanın tutulmasını sağlayabilmekteydi. Ancak bu atıkların ne yapılacağı diğer bir soru işaretini beraberinde getirmekte idi. Yine beton mühendisliği uygulaması sahasında yapılan araştırmalar yeni arayışlar sürecinde silis dumanı olarak isimlendirilen ve siliko ferrokrom işletme bacalarında elektrofiltrasyon yöntemi ile tutulan baca tozlarının beton üretiminde kullanılabilirliğini ortaya çıkardı. Alınan olumlu sonuçlar, bu atık maddenin de bir ticari meta haline gelmesine yardımcı oldu ve hem beton hem de çimento üretiminde yerini buldu [12]. Öyle ki: Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesinden temin edilen silikoferrokrom baca tozunun fabrika satış fiyatı 12 \$/Ton olarak belirtilmiştir [13].

Mermer tozu ise çevre kirliliğine neden olan bir başka atık maddedir. Mermer tozu atıklarının bertaraf edilmesi ise genel olarak Belediyeler açısından büyük bir problem oluşturmaktadır. Mermer işleme fabrikalarında imalat sonrası önemli miktarda mermer atıkları adı verilen havuz çökeltileri (mermer tozu) oluşmaktadır. Bu çökeltilerin mermer tozu haline getirilmesi için henüz ekonomik bir çözüm yöntemi bulunamamıştır. Ancak çimento üretiminde, beton ve çimento üretiminde katkı olarak mermer tozunun kullanılabilirliğini belirlemek için araştırmalar yapılmıştır[14].

SD, UK, Yüksek Fırın Cürufu (YFC), Mermer tozu(MT) gibi çevre kirliliğine yol açan maddeler çimento ve betonarme betonu üretiminde kullanılarak hem ticari bir meta olarak değer kazanmakta hem de depolama/ bertaraf etme problemini bir ölçüde azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada çeşitli atık maddelerin (uçucu kül, silis dumanı, mermer tozu vb) Kendinden Yerleşen Beton üretiminde kullanımı ile çevre kirliliğinin azaltılmasında katkıları incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Öncelikle bu atık maddeleri tanımlamak gerekirse:

2.1. Uçucu Kül

Uçucu kül (UK) ya da pulverize yakıt külüleri, özellikle termik santrallerde pulverize kömür ile işleyen fırınlarının toz tutma ünitelerinden atmosfere salınması elektrofiltrelerle engellenen atıklardır. Kömür % 80'inin 75 µm elekten geçecek incelikte öğütülmekte ve havayla birlikte, buhar üretici kazanları ısıtmak amacıyla, yakıt olarak püskürtülmektedir. Pulverize kömürün yanmasıyla büyük bir miktarı ince olan, bir miktarı da nispeten biraz daha iri boyutlara sahip olan kül, yakıt gazlarıyla beraber "uçarak" bacadan dışarı çıkmak üzere hareket etmektedirler. Nispeten ağır olan kül tanecikleri taban külü olarak ocağın tabanına düşmektedirler. Atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin yaklaşık % 75-80'i gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimi gösteren çok ince küllerdir. Bu külere "uçucu kül" denilmektedir. Ağırlığının yaklaşık %5'i (hacminin %20'si) içi boş (nitrojen veya karbon dioksit ile dolu) parçacıklardan oluşmaktadır. Uçucu kül tanecikleri küresel ve boyutları 1-150 µm arasında değişiklik göstermektedir. Genellikle 2.1-2.7 (ortalama 2.4) g/cm³ yoğunluğa sahiptirler. Renkleri açık griden koyu griye uzanan değişikliklidir[16].

UK'ler, kimyasal kompozisyonlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır[8].

Uçucu küllerin ekonomik olarak değerlendirilmesi, kullanılabilir miktarda, gerekli nakliye miktarına ve istenilen tasarıma bağlıdır. Uçucu kül hidrasyon ısısını düşürür ve tanelerin küreselliği sayesinde taze betonun kararlılığını, kolay yerleşmesini ve kolay sıkıştırılmasını sağlar. Uçucu külün kimyasal bileşimi, tane boyut dağılımı, inceliği, puzolanik aktivitesi ve betonun kür

koşulları, uçucu külü betonun mekanik özelliklerini etkileyen önemli etkenlerdir. ASTM-C 618'e göre uçucu kül, iki ana kategoriye ayrılmaktadır[9]:

a- F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde reaktif kireç (CaO) yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu kül, puzolanik özelliğe sahiptirler.

b- C sınıfı uçucu kül ise, linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu külde CaO %10'dan fazla olduğu için bu kül yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu kül, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler[16].

F tipi uçucu kül genellikle %10 dan daha az CaO içerir. Buna karşın C tipi uçucu kül, %15 ten %35' e kadar CaO içerir. Diğer yandan F tipi uçucu kül antrasit ve bitümlü kömürün yanmasından üretilir, bu da düşük kireçli uçucu kül olarak sınıflandırılır. C tipi uçucu kül ise diğer linyit ve bitümlü olmayan kömürün yanmasından elde edilir.Yüksek kalsiyum içeriğine bağlı olarak C tipi uçucu kül puzolanik özelliklerinin yanında bağlayıcı özelliğe de sahiptir.Betonda uçucu kül kullanımının erken yaşlarda yavaş dayanım kazanmasına yol açtığı iyi bilinmektedir. Beton teknolojisindeki son gelişmelerden, kalsiyum içeriği ve tane boyut dağılımının dayanım kazanma hızını belirleyen en önemli parametreler olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, bunlardan sadece 1 tanesinden (Catalağzı Termik Santrali'den) F tipi uçucu kül elde edilmektedir, diğer tüm santrallere ait küller ise C tipidir.[17]

Bir başka çalışmada; portland kompoz çimentosu(PKÇ) kullanılan beton karışımlarına çimento ağırlığına %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikame edilerek üretilen 5 farklı beton karışımlarının sodyum sülfat don dayanımı araştırılmıştır. PKÇ'lu betonlarda donma-çözülme dayanımının uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak önemli düzeyde değiştiği, uçucu kül ikame miktarı arttıkça bununla ters orantılı olarak donma-çözülme dayanımının azaldığı, %30 uçucu kül ikameli betonların %24 ile en düşük donma-çözülme dayanımına sahip olduğu,%30 oranında uçucu kül ikamesi ile donma-çözülme dayanımının %84 gibi büyük bir oranda azaldığı belirtilmiştir. İçerisine %5'e kadar uçucu kül ikame edilerek hazırlanan betonların donma-çözülme etkisine maruz kalan açık saha betonlarının, beton yollar gibi uygulamalarda kullanılmasının uygun olduğu ancak daha fazla uçucu kül ikame edilen betonların kullanımının uygun olmadığı açıklanmıştır [18].

Bir başka çalışmada da Kütahya yöresinde bulunan Tunçbilek termik santrali uçucu kül atıklarının karakterizasyonu yapıldıktan sonra bu külle ağırlıkça % 30 oranında Söğüt kil katılarak yer karosu masseleri hazırlanmış ve bu karo masselerin fizikomekaniksel analizleri yapılarak, uçucu külün seramik endüstrisinde yer karosu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Düşük tane boyutuna sahip 1200°C'de sinterlenen %30 söğüt kil katkılı malzemenin TS/EN-100 standartlarına göre yer karosu kullanımına uygun olduğu açıklanmıştır [19].

2.2. Silis Dumanı

Silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında elektrik ark fırınlarında 2000°C'de yan ürün olarak elde edilen mikrosilika, silis dumanı veya silicafume olarak adlandırılır. İnceliği çimentonun 20-25 katı daha fazla olan bu malzemede %90-95 oranında aktif SiO₂ bulunmaktadır [12, 20].

Ülkemizde, ferroalaşımlar sektöründe, ferrosilisyum, düşük ve yüksek karbonlu ferrokrom ile silikoferrokrom üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde, Etibank Elektrometalurji Sanayi Tesislerinde 5.000 ton/yıl kapasiteli 6 MVA tarafo gücünde, % 75 ferrosilisyum üreten bir adet ark-direnç fırını mevcuttur[21].

Betonda kullanımı özellikle Kuzey Amerika ve İskandinav ülkelerinde oldukça yaygın olan silis dumanı, mukavemet artışı yanı sıra, geçirgenliği 10 misli azaltarak korozyon, karbonatlaşma ve alkali-sülfat reaksiyonu, gibi beton açısından tehlikeli olan bir çok kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dayanımı artırmaktadır.

Ayrıca, çimentonun %10-15'i oranında yer değiştirilerek kullanılması durumunda işlenebilirlik, donma-çözülme dayanımı ve aşınma dayanımında da artışlar meydana geldiği yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir [13, 22, 23].

Genellikle çimentonun %5-10 arasında SD ile yer değiştirilerek kullanılmasının betonun çeliğin korozyonuna karşı yeterli düzeyde direnç göstermesine katkı sağlamaktadır. Doğal hafif agregalardan pomza ile yapılan taşıyıcı betonda da çimento ile yer değiştirilerek %5-10 oranında kullanılan SD'nin benzer etkiyi yaptığı belirtilmiştir [24, 25].

Ayrıca yapılan bir araştırmada silis dumanının %10-30 arasında kullanılmasıyla, ASR etkisinin önemli derecede azaldığı rapor edilmiştir[26].

2.3. Atık Mermer Tozları (AMT)

Mermer fabrikalarından üretim atığı olarak çıkan toz atıklar genellikle değerlendirilememekte, üstelik çevre kirliliği açısından da sorunlar yaratmaktadır. Mermer toz atıklarının değerlendirilmesine yönelik olarak uygulamaya sokulabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kazançlar sağlayabileceği gibi, bu fabrikaların çevre kirliliği Özellikli de önemli ölçüde azaltacaktır. Konuyla ilgili olarak yapılmış olan bir çalışmada, mermer fabrikalarından işlenen mermerlerin ortalama % 30'unun üretim atığı olarak ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ülkemizde yılda yaklaşık olarak 2 200 000 ton mermer blok işlendiği düşünülürse, 660 000 ton mermer tozunun değerlendirilmeden atıldığı söylenebilir. Böyle bir potansiyeli sanayide değerlendirmek ulusal ekonomiye önemli kazanımlar sağlayacaktır. Literatür bilgilerinde ve dünyadaki bazı uygulamalarda gerek mermer tozlarının gerekse mermer toz atıklarının seramik, çimento, boya, cam, yapı malzemesi gibi birçok sektörde değerlendirilme çalışmaları mevcuttur.

Terzi [27] tarafından yapılan çalışmada özellikle mermer tozunun yaygın olarak bulunduğu bölgelerde, taşıma ve kurutma maliyetlerinin taş tozu filler maliyetini geçmediği kesimlerde, asfalt betonu karışımlarında taş tozu yerine mermer tozunun filler malzemesi olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Bir çalışmada mermer atıklarının (havuz çöktürmesi) beton karışımı içerisinde ince malzeme olarak kullanılması durumunda beton basınç dayanımına etkisi irdelenmiştir. Üretilen beton karışımlarında ince malzeme olarak kumun yanında hacim olarak % 0, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında mermer tozu katılmıştır. Maksimum agrega tane çapı 16 mm. ve su/çimento oranı 0,65 iken, karışımlarda çimento dozajı 300 ve 350 kg olmak üzere toplam 8 seri beton üretilmiştir. Elde edilen mermer tozunun maksimum tane boyutu 2mm. olarak kullanılmış, yoğunluğu 2,5 olduğu belirtilmiş ve kum ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Silindir numunelerin basınç dayanımları 300 dozlu %10 ve %15 mermer tozu ilaveli karışımlarda %35 civarında bir artış olmasına rağmen %20 mermer tozu karışımlarında artışın azalmakta olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak: mermer tozunun belirli oranlarda karışıma katılmasının beton özelliklerine olumlu bir etki yapabileceği açıklanmıştır [35].

2.4. Granüle Yüksek Fırın Cürufu (GYFC)

Hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4) gibi demir cevherleri, doğada demir oksit olarak bulunmaktadır. Demir elde edilebilmek için demir cevherlerinin "yüksek fırın" adlandırılan fırınlarında çok yüksek sıcaklıklara kadar (yaklaşık 1600°C sıcaklığa kadar) ısıtılmaları ile oksijen ve yabancı maddelerden arındırılmaları mümkün olmaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisi ile kok kömürünün karbonu ile demir oksitteki oksijen birleşerek karbon monoksit ve CO_2 gazları oluşturarak fırını terk etmektedirler. Geride eriyik durumda demir ve eriyik durumunda CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , MnO , S gibi yabancı maddeler kalmaktadır. Bu yabancı maddeler topluluğu "yüksek fırın cürufu" (YFC) olarak isimlendirilmektedir. Eriyik halinde dışarıya çıkarılan cüruf 1500°C sıcaklıktadır. Eriyik cürufun havada (yavaş hızda) soğutulması durumunda, elde edilen cüruf kristal yapıya sahip olmaktadır. Ancak eriyik cüruf, su içerisine dökülerek çok hızlı soğutulursa, hem irili ufaklı kum taneleri boyutunda granüle duruma gelmekte hem de büyük oranda amorf (camsı) yapı kazanmaktadır. Bu cürufuflara "Genleştirilmiş Yüksek Fırın Cürufu" adı verilmektedir ve kum taneleri gibi (en büyük boyutu 4mm) parçacıklar oluşturduklarından "GYFC" olarak adlandırılmaktadırlar. Havada yavaş soğutulmuş olan kristal yapı cüruf puzolanik özellik göstermemektedir. Ancak amorf yapıya sahip olan ve büyük oranda SiO_2 , Al_2O_3 içeren GFYC, öğütülerek çok ince taneli duruma getirildiği takdirde, doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özelliklerine benzer davranış sergilemektedirler[28]. Sadece Doğu Akdeniz Bölgesinde her yıl oluşan cüruf miktarı 850 bin tondur[29].

Granüle yüksek fırın cürufunun öğütülmesinde dikkat edilmesi gereken husus, klinkerden ayrı öğütmeye tabi tutulmasıdır. Bunun nedeni: bu malzeme klinkerden daha sert bir malzeme olduğundan, klinkerle birlikte öğütülmesi durumunda klinker: daha ince taneli, cüruf ise daha iri taneli olarak elde edilmektedir

Son 15-20 yıldan bu yana, Güney Afrika'da, Kanada'da, ABD'de, İngiltere'de ve Japonya'da üretilen granüle yüksek fırın cüruflarının hemen hemen tümü beton katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de cürufun beton katkı malzemesi olarak kullanılması son bir-iki yıldan bu yana ve çok az miktarda uygulanmaktadır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun katkı maddesi olarak kullanılması, betonun işlenebilmesini ve dayanımını artırmakta, büzülmesini azaltmaktadır. Cüruflarda en fazla yer alan oksitler CaO , SiO_2 ve Al_2O_3 dir. Yaklaşık %30-40 oranlarında yer alan CaO , ince öğütülmüş durumdaki granüle yüksek fırın cürufunun kendiliğinden de bir miktar bağlayıcılık göstermesine yol açmaktadır. Cüruf ve kalsiyum hidroksit reaksiyonu sonucunda CSH jelleri gibi çok kuvvetli hidrolik bağlayıcı özellikteki ürünler ortaya çıkmaktadır.

Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Beton Özelliklerine Olumlu Etkileri :

- Taze betondaki işlenebilme artırmaktadır.
- Taze betonun priz süresini uzatmaktadır.
- Betondaki terlemeyi azaltmaktadır.
- Betonun hidrasyon ısısını azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betonun su geçirirliliğini azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betonun sülfat dayanıklılığını artırmaktadır.

Olumsuz özellikleri ise betonun özellikle soğuk havalarda daha geç priz almasına yol açmaktadır. Betonda belirli miktarda hava sürükleyici hava elde edilebilmek için daha çok hava sürükleyici katkı maddesine ihtiyaç duyulmaktadır. İlk zamanlardaki beton dayanımı artışı daha yavaş olmaktadır [15].

Yüksel ve Bilir [30] tarafından yapılan çalışmada, Ereğli Demir Çelik Fabrikaları GYFC' nun parke ve bordür üretiminde kum yerine kısmen kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Araştırmanın yan ürünlerin sağlayacağı teknik, çevresel ve ekonomik avantajların belirlenmesine katkı sağlanması hedeflendiği belirtilmiştir. Parke ve bordür betonu karışımlarında 0-4, 4-7 ve 7-15 mm olmak üzere 3 sınıf agrega, hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı, ve bağlayıcı olarak PC-42.5 portland çimentosu kullanıldığı belirtilmiştir. GYFC her iki beton elemanda (bordür ve parke) herhangi bir ön işleme tabii tutulmadan doğrudan kum yerine kullanılmıştır. Parkede bileşenlerden 0-4 mm kum hacimsel olarak çeşitli oranlarda GYFC ile yer değiştirme oranları % 20, % 30, % 40 ve % 50 olarak seçilmiştir. Bordürde ise yine 0-4 mm kum ile % 20, % 30 ve % 40 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. GYFC' nun dayanımı bir miktar azaldığı, fakat aşınmaya karşı dayanıklılığı artırdığı belirtilmiştir. Genel olarak, GYFC' nun % 25 oranına kadar bordür üretiminde kum yerine kullanılabilirliği rapor edilmiştir.

Çevre kirliliğinin önlenmesine yönelik tesislerin kuruluş maliyetlerinin çok yüksek olması nedeni ile her sektörde olduğu gibi, bu sektörde ve çevre kirliliğini önlemeye yönelik çalışmalarda öncelik, atıkların içindeki değerli maddelerin geri kazanılarak değerlendirilmesidir. Böylelikle atıkların çevreye vereceği zarar en aza indirildiği gibi ekonomik yararlar da sağlanmaktadır. Geri kazanım veya değerlendirilme imkanı bulunmayan atıkların ise, çevre kirliliğini yol açmayacak şekilde bertarafını sağlamaya yönelik arıtma tesisleri kurulması, bu sektör atıklarının nitelikleri bakımından önemli ve zorunludur [6, 21].

3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON(KYB)

Bu bölümde KYB betonların endüstriyel atık kullanımı ile üretilebilirliği üzerinde durulmuştur.

Akışkan kıvamlı beton: betonarme yapı elemanlarının özel şekil ve boyutlu olduğu durumlarda ve aşırı donatı elemanlarının mevcut olduğu yerlerde, daha kolay işçilik ve kaliteli beton yapım imkanları sağlar[31].

KYB: kendi ağırlığı ile döküldüğü kalıba yerleşen ve vibratör kullanılmasına gerek duyulmaksızın en sık donatılı bölgelerde ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu dışarı atarak ve sıkışarak seviyelenen, oldukça akıcı kıvamlı bir betondur. Kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar[32].

KYB üzerine yapılan bir çalışmada, yapılan deneyler sonucunda yüksek hacimde uçucu kül kullanılarak KYB üretimi gerçekleştirilebildiği belirtilmiştir. Çalışmada: tüm bağlayıcı ağırlığının ağırlıkça: % 0-40-50-60-70 oranlarında UK kullanılması ve s/b oranı aynı sırasıyla: 0,37, 0,35, 0,34, 0,32, 0,31 oranlarında değişmektedir. Katısız betonda çimento dozajı: 550kg/m³ dir. Yayılma testinde bütün karışımların KYB özelliği gösterdiği açıklanmıştır. Sertleşmiş KYB'lerde 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları: 46 MPa -30 MPa arasındadır. Uçucu kül miktarı toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %50'sine kadar olan karışımlarda ilk günlerdeki basınç dayanımı kontrol karışımına göre düşük olmasına rağmen, daha sonra aralarındaki dayanım farkının olmadığı belirtilmiştir[33].

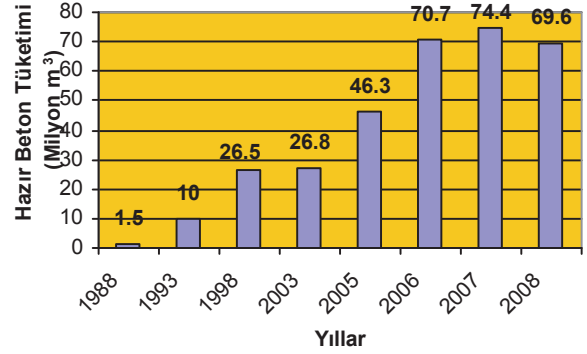
Filler malzeme olarak atıkların kullanılmadığı KYB çalışmaları da yapılmıştır. Böyle bir çalışmada beton karışım elemanları: çimento 500 kg, su 203 kg, kum 1105 kg, I nolu agrega 569 kg ve katkı miktarı 7 kg dir. Sonuçta ortalama 7 günlük basınç dayanımını 42,28 Mpa ve 28 günlük ortalama basınç dayanımını ise 50,03 MPa elde etmişlerdir [34].

Türk vd [36] tarafından yapılan çalışmada, çimento yerine kullanılan F ve C sınıfı uçucu kül (UK) miktarının kendiliğinden sıkışan betonun (KSB) özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çimento yerine kullanılan farklı oranlarda C sınıfı uçucu kül miktarına (%25, 30, 35 ve 40) sahip KSB karışımları (sırasıyla KSB-I, KSB-II, KSB-III ve KSB-IV) kullanılarak üretilen numuneler üzerinde yapılan deneylerde, hidrasyona olumlu etkisi gibi avantajları da dikkate alındığında, kendiliğinden sıkışan beton karışımlarında çimento yerine %30 ve/veya %40 oranlarında uçucu kül kullanılmasının, dayanım özellikleri bakımından daha iyi olacağı belirtilmiştir [36].

Aruntaş vd tarafından yapılan araştırmada, KYB özellikleri üzerine AMT etkisi incelenmiştir. KYB karışımlarında s/ç oranı, hiperakışkanlaştırıcı (HA) miktarı ve bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. AMT, çimento ile ağırlıkça % 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ikame edilerek KYB içinde kullanılmıştır. Araştırmacılara göre AMT, KYB üretiminde % 15 ve % 20 oranlarında çimento yerine kullanılarak KYB nin maliyeti azaltılabilir[37].

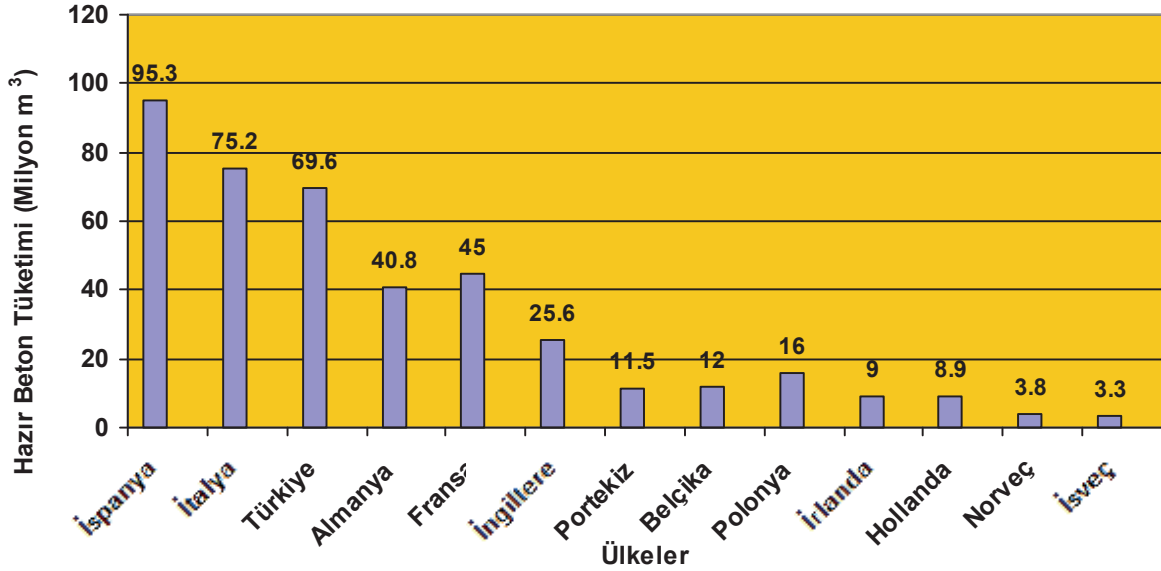
3.1. KYB Kullanımının Sürdürülebilirliğe Katkı Olanakları

KYB betonun yaygın kullanımı beklenebileceği gibi Hazır Beton Sektörü vasıtası ile olabilecektir. Hazır beton sektörünün yıllara göre hazır beton üretim miktarı Şekil 2. den görülebilir.



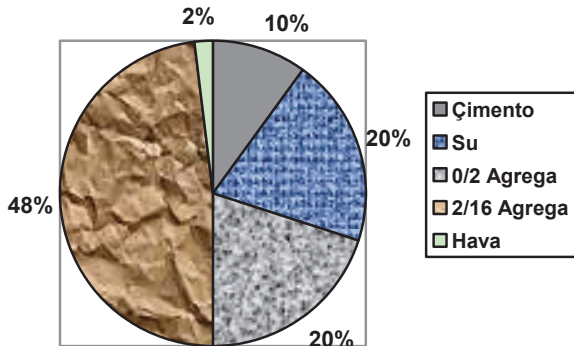
Şekil 2. Türkiye hazır beton tüketiminin yıllara göre değişimi [38]

Şekil 2 incelendiğinde 2008 yılında hazır beton üretimi 69.600.000 m³ hacmine ulaştığı görülmektedir. Avrupa Hazır Beton Birliği'ne üye ülkelerin 2007 yılı hazır beton üretim miktarları Şekil 3. 'de görülmektedir[38].



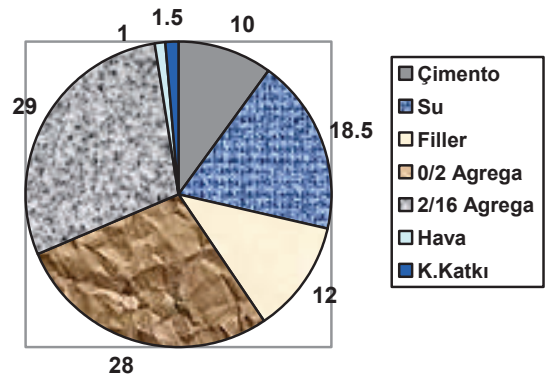
Şekil 3. Avrupa Hazır Beton Birliği Üyesi Ülkelerin 2007 yılı Hazır Beton üretim miktarları

Betonu oluşturan malzemelerin beton içerisinde işgal ettikleri hacim yüzde olarak Şekil 4. de görülmektedir.



Şekil 4. Normal betonu oluşturan karışım elemanlarının hacimsel olarak miktarları[39]

Ancak KYB için bu oran ince agregası ve filler malzeme lehinde değişmektedir. KYB için beton karışım elemanlarının hacimsel oranı Şekil 5'de verilmektedir.



Şekil 5. KYB karışım elemanlarının hacimsel dağılımı [39]

Şekil 5' den görüleceği gibi 2/16 tane sınıfı agregası hacmi % 48 den % 29'a azaltılarak yerine % 12 filler malzeme olarak isimlendirilen en büyük tane boyutu 0.125 mm olan malzeme kullanılmakta ve 0/2 tane aralığındaki agregadan Normal betonda % 20 kullanılırken bu malzemenin oranı da %28'e arttırılmaktadır. Filler malzemenin UK, SD, GYFC veya mermer tozu gibi atık maddelerden seçilmesi durumunda, Dünyada, beton üretimi için kullanılan

çimento tüketimi azaltılarak hem çimento üretimi için gerekli olan hammadde (kil, kireç, kömür, v.s.) ve hem de enerji miktarı azaltılabilecektir.

Çizelge 1'de çimento yerine UK kullanım oranının % 50 'ye kadar olumlu sonuç verdiği [33] GYFC'nun % 60 [45] oranında kullanımının hem mekanik hem de durabilite özelliklerini olumlu etkilediği ve %60 PC, %30 GYFC ve % 10 SD'nin beraber olarak kullanımının 28 günlük basınç dayanımına göre yüksek dayanımlı beton basınç dayanımı (87.5 MPa) ve olumlu durabilite özellikleri [45] sağlamaktadır. Bu açıdan atıkların %40-%50-%60 oranlarında KYB üretiminde kullanımı ile çimento tüketimi %40-%60 oranlarında azaltılabileceği söylenebilir. Bu sonuçlardan, KYB'nun, 2009 yılı yurtdışı satış miktarı 39.986.237 ton olan çimentonun yarısına yakınının kullanımına gerek kalmadan da yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip yapıların yapımına imkan verebileceği sonucuna ulaşılabilir. Dünya geneli 2008 yılı çimento tüketimi miktarına bakıldığında ise 2.557 milyon tonluk tüketimin yarısına düşebilecektir[46]. Bir ton çimento üretebilmek için yaklaşık 1.5 ton hammadde, 0.3 ton hava, 6 gigajül yakıt kullanılırken, 0.94 ton karbon dioksit de atmosfere salınır[47]. 0.94 ton CO₂ salınımının da yarıya yakın oranda azaltılabilecektir. Bunun da çevre kirliliğini önemli oranda azaltacağı veya çimento ihtiyacının ötelenebileceği düşünüldüğünde büyük katkılar sağlayacağı söylenebilir.

Çizelge 1. Önceki araştırmalardan derlenen çeşitli atıklarla üretilmiş betonların mekanik ve durabilite özellikleri

Araştırmacı	Beton türü	Su/bağlayıcı	Atık madde-katkı oranı (%)	Beton yaşı-Özellik	Gelişim
Bouzoubaa, Lachemi, 2001[40]	KYB		UK50	28 gün-Basinç Day.	*35 MPa
Atiş, 2001 [41]	Silindire sıkıştırılmış beton	0.30	UK50	28 gün-Basinç Day.	70 MPa(PC betonu-69MPa)
Atiş, 2000[42]	Normal Beton	0.33	UK50-70	28 Gün-Eğilimde Çekme	6.98MPa (PC betonu 9.59 MPa
Şengül vd. 2007[43]	Normal Beton	0.40	YFC -60 YFC -80	91 Gün-Aşınma 28 gün-Basinç Dayanımı 28gün-Öz direnç	%12 azalma Normal Betona göre 66.1MPa(PC Normal beton 66.1MPa) %515 artış (PC kontrol betonuna göre)
Şengül ve Gjörv, 2005 [44]	Normal Beton		YFC-80	28 Gün-klor iyonu yayınımlı	%79 azalma (PC kontrol betonuna göre)
Türkmen, vd 2003 [25]	Normal Beton	0.35	SDIO-YFC40	250 Gün Kaplarite	%67 azalma (PC kontrol betonuna göre)
				250 gün %5 Na ₂ SO ₄ Çözeltisine maruz bırakıldıktan sonra kaplarite	%139 azalma (PC kontrol betonuna göre)
			SDIO-YFC20	250 gün Basınç Dayanımı	74.47MPa (PC kontrol betonu 65.76 MPa)
				250 gün %5 Na ₂ SO ₄ Çözeltisine maruz bırakıldıktan sonra Basınç Dayanımı	72.43 MPa (PC kontrol betonu 59.81 MPa)
			SDIO-YFC40	250 günlük %5 Na ₂ SO ₄ Çözeltisine maruz bırakıldıktan sonra korozyon akım yoğunluğu(%Na ₂ SO ₄)	%90 azalma (Kontrol Betonuna göre)
Gesoğlu and Özbay 2007 [45]	KYB	0.32	GYFC 45 ve SDIO PC60, GYFC 30 ve SDIO	28 günlük elektriksel direnç 28 günlük basınç dayanımı	25.8 kolim-cm 87.5 MPa (PC kontrol betonunun 80.9 MPa)

5. SONUÇ

KYB'nin atık madde kullanımını artırması ve uzun ömürlü yapıların yapılabilmesine imkan sağlaması nedeni ile çevre kirliliğini azaltmada rolünün incelendiği bildiride aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. KYB'da %12 oranında tüketilen filler malzemelerin yerine UK, YFC, mermer tozu, SD gibi atıkların kullanılması mümkündür. Yapılacak yeni yasal düzenlemelerle endüstriyel atıkların KYB üretiminde Hazır Beton Sektöründe kullanımı zorunlu hale getirilebilir.

2. Eğer beton içerisinde bağlayıcı malzeme olarak kullanılan çimento tüketiminde azalma sağlanabilirse, çimento üretiminde kullanılan malzemelerden kalker, kil gibi doğal kaynakların tüketiminde azalma sağlanabilecektir.

3. Bağlayıcı malzemelerden çimentonun tüketiminin azaltılması, onun üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının da azaltılmasında katkı sağlayacaktır.

4. UK, SD, YFC ve mermer tozu gibi atıkların beton üretiminde kullanımının, betonun durabilite özelliklerini önemli oranda iyileştirdiği göz önünde bulundurulursa, betonarme yapıların ömrünün uzayacağı ve yapıları sürdürülebilirliğinin sağlanabileceği beklenebilir.

5. KYB üretiminde fazla miktarlarda ihtiyaç duyulan kohezyonu sağlayıcı filler malzemelerin UK, YFC, SD ve mermer tozu gibi katkılardan kullanıldığı düşünüldüğünde bu atıkların bertaraf edilmesi ve depolanması gibi sorunların büyük oranda çözülebileceği söylenebilir.

Kaynaklar

- [1]. "Design for Deconstruction and Materials Reuse" *CIB Publication 272 Proceedings of the CIB Task Group 39 - Deconstruction Meeting*, Karlsruhe, Germany Edited by Abdol R. Chini, University of Florida Frank Schultmann, University of Karlsruhe, 9 April (2002).
- [2]. Bekem, A. B. Gültekin Ve Ç. B. Dikmen "Yapı Ürünlerinin "Hizmet Ömrü" Açısından İrdelenmesi: Betonarme Örneği" *5. Uluslararası Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs (2009)*.
- [3]. Avcı, S. "Türkiye'de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri" *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 13:1-26, İstanbul (2005).
- [4]. http://www.epdk.gov.tr/yayin_rapor/yillik/2008/2008.pdf
- [5]. <http://www.tuik.gov.tr>
- [6]. Beycioğlu A., Basyiğit C., Subaşı S. "Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması" *Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli, 1386-1394, 14-17 Mayıs (2008)*.
- [7]. Erkan A. "Orta Türkiye'de Kullanılan İnşaat Malzemeleri, Hammaddeler ve İç kaplama Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivite Miktarı Üzerine Bir İnceleme", *Türk J Med Sci*, 37 (4): 199-203 (2007).
- [8]. Aruntaş, H. Y., "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli" *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ*, 21: 1, 193-203 (2006).
- [9]. Tokyay, M., "Betonada Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)", *End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp.*, Ankara, 29-36, 18-19 Kasım (1993).
- [10]. Bhattacharjee, U., Kandpal, T.C., "Potential of Fly Ash Utilisation in India", *Energy*, Cilt 27, No 2, 151-166 (2002).
- [11]. McCarthy, M.J., Dhir, R.K., "Towards Maximising the Use of Fly Ash as a Binder", *Fuel*, 78: 2, 121-132, (1999).
- [12]. Yeğinoğlu, A., "Silis dumani ve çimento ile betonada kullanımı" *TÇMB*, 2. Baskı, Ankara, 18-19, 28-34, 45-46 (2002).
- [13]. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri", *Devlet Planlama Teşkilatı Yayinevi*, Ankara, (1996).
- [14]. Özkan Ş. "Kimyasal Etkilere Dayanıklı Çimento Üretimi Üzerine Bir Araştırma" *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi A.B.D., İSPARTA, 108s., (2009), (Danışman: E. Sancak)

- [15]. Erdoğan, T.Y., "BETON" *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık*, Ankara (2003).
- [16]. Gündeşli U. "Uçucu Kül, Silis Dumani ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması" *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği A.B.D., Adana, 71s. (2008). (Danışman: A. H. Tanrıkulu)
- [17]. Şengül Ö. Taşdemir M. A. Koç İ. Tarhan M. Erenoğlu T. "Doğal ve Endüstriyel Mineral Katkılar İçeren Betonların Tasarımı, Mekanik Özellikleri ve Durabilitesi" 291-300 <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3156.pdf>
- [18]. Subaşı, S. "Portland Kompoze Çimentolu Betonlarda Uçucu Kül İnkamesinin Donma-Çözülme Dayanıklılığına Olan Etkisi" *e-Journal of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 4, (2), 67-76, (2009).
- [19]. Abalı, S., Şahin B. "Termik Santral Atıklarının Yer Karosu İmalatında Kullanım Olanaklarının Araştırılması" *Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi*, 144, http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi44/d144_2125.pdf
- [20]. Uysal, M., "Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesinde Baca Tozlarının Tutulması", Antalya (1993).
- [21]. T.C. ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI TÜRKİYE ÇEVRE ATLASI, www2.cedqm.gov.tr/dosya/cevreatlasi/sanayivecevre.pdf
- [22]. Özturan, T., "Uluslararası IV. CANMET ACI Betonada Uçucu Kül, Silis Dumani, Cüruf ve Doğal Puzolanların Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi", *Endüstriyel Katı Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 18-19 Kasım, (1993).
- [23]. Yıldız S. Yalınbaş M. Keleştemur O. "Silis Dumani Katkılı Yapı Alçalarında Basınç Dayanımının Araştırılması" *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 11, Sayı 2, (2006).
- [24]. Sancak, E. and Şimşek, O. "Influence of silica fume addition to pumice concrete on corrosion behaviour of reinforcement bars" *7th International Congress Concrete: Construction's Sustainable Option. Concrete Durability: Achivement and Enhancement Section*, pp.237-248, Dundee, Scotland, June (2008).
- [25]. Türkmen, İ., Gavgalı, M., and Gül, R. "Influence of mineral admixtures on the mechanical properties and corrosion of steel embedded in high strength concrete" *Materials Letters*, 57: 2037-2043 (2003).
- [26]. Uygunoğlu, T. "Yüksek Oranda Silis Dumani İçeren Harçlarda Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) Gelişiminin İncelenmesi" *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2) 9-1 (2009).
- [27]. Terzi, S. *Mermer Toz Atıkların Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta (2000). (Danışman: M. Kardeşahin)
- [28]. Erdoğan, T.Y., "Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı", *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 1-13 (1995).
- [29]. <http://www.alomaliye.com/goster.php?id=20400>
- [30]. Yüksel, İ. ve Bilir, T. "Yüksek Fırın Cürufunun Parke ve Bordür Üretiminde Kullanılması" *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, ss:870-880, 23-25 Mart (2005).
- [31]. Arslan M. Beton. (Dökümü, Kalıpları, Kusurları, Day.) *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 44.s (2001).
- [32]. Gürdal H. Ve Yüceer Z. "Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları" *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, İstanbul, 10-12 Haziran (2004).
- [33]. Şahmaran M. Yaman İ. Ö. Tokyay M., "Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri İle Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton" *BETON 2004*, İstanbul, 10-12 Haziran (2004).
- [34]. Altın M., Çoğürçü M. T. Döndüren S. M "Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanım Özellikleri İçin Deneysel Bir Çalışma" *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 5(3): 77-88 (2006).
- [35]. Ünal, O., Kibici, Y., "Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması" *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı Afyon*, 317-325, 3-5 Mayıs (2001).

- [36]. Türk, K. Karataş M. ve Ulucan Z. C. "Farklı Oranlarda C Sınıfı Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Sıkışan Betonun Dayanım Özellikleri" *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 18 (4), 513-520 (2006).
- [37]. Aruntaş H. Y., Dayı M., Tekin İ. Birgül R. Şimşek O. "Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi" *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi*, Bildiriler Kitabı, 12-13 Nisan, Ankara, Ss:173-180 (2007).
- [38]. 2008 Yılı Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, THBB, Nisan (2009).
- [39]. Holschemacher K. and Klug, Y. "A Database for the Evaluation of Hardened Properties of SCC" *LACER*, 7:123-134 (2002).
- [40]. Bouzoubaa, N., Lachemi, M., "Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash Preliminary Results", *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 3, 413-420 (2001).
- [41]. Atiş C. D. "Uçucu Kül İçeren, Silindire Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri" *Türk J Engin Environ Sci*, 25: 503 - 515 (2001).
- [42]. Atiş C.D. "Yüksek Oranda Uçucu Kül Kullanımı İle Üretilen Betonun Aşınma Üretilen Betonun Aşınma Direnci" *İMO Teknik Dergi*, 2217-2230 (2000).
- [43]. Şengül Ö., Taşdemir, M.A. Gjörv O.E. "Puzolanik malzemelerin betonun mekanik özellikleri ve klor iyonu yayılımına etkisi" *İtüdergisi/d mühendislik*, 6:1, 53-64 Şubat (2007).
- [44]. Şengül, Ö. ve Gjörv, O.E., "Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun betonda klor iyonu yayılımına etkisi", *6. Ulusal Beton Kongresi*, 16-18 Kasım, İstanbul, 239-248 (2005).
- [45]. Gesoğlu M. and Özbay E. "Effects of mineral admixtures on fresh and hardened properties of self-compacting concretes: binary, ternary and quaternary systems" *Materials and Structures*, 40:923-937 (2007).
- [46]. Sönmezler G. ve O. Gündüz "2008 Yılına Girerken Türk Çimento Sektörü" *Çimento-İşveren*, Mart - Nisan ss:32-41 (2008).
- [47]. Karababa, A. O. "Çimento sanayi, çevre ve insan sağlığı" <http://www.tumgazeteler.com/?a=2780579>