

İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi

İsmail Demir^a

*"Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim F, Yapı Eğitimi Böl., 03200, Afyonkarahisar
e-posta: idemir@aku.edu.tr*

Geliş Tarihi: 17 Kasım 2009; Kabul Tarihi: 02 Temmuz 2010

Özet

İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanımı ekonomik ve doğal çevrenin korunmasına yönelik yararları sebebi ile ilginin giderek arttığı bir araştırma alanı haline gelmiştir. Birçok ülkede doğal çevrenin korunması ile ilgili araştırmalarda konunun önemini vurgulanmıştır. Araştırmacılar konunun teknik ayrıntılarını ortaya koyan çalışmalar yapmışlardır. Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı hem doğanın korunması, hem de doğal kaynakların ekonomik kullanımını sağlamakta, yeni kuşaklara çevre koruma bilinci kazandırmaktadır. Birçok ülkede inşaat yıkıntı atıklarının geri dönüşümü ile ilgili uygulamalara sıkı yasal düzenlemeler getirilmiştir. Bu çalışmada; genel olarak inşaat yıkıntı atıkları, özelde ise beton atıklarının kaynakları, geri dönüşümü ve kullanımını gerektiren ekonomik, teknik ve çevresel sebepler incelenmiştir. Geri kazanılmış agreganın (GKA) bazı teknik özellikleri ve kullanım alanları, GKA ile yapılan betonların özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar araştırılmıştır. Son olarak geri kazanılmış beton (GKB) atıklarının değerlendirilmesi önündeki zorluklar ve bunların çözümüne ilişkin öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İnşaat yıkıntı atığı, geri kazanılmış agrega, geri kazanılmış beton, mekanik ve fiziksel özellikler.

The Use of Demolition Waste in Concrete Production and Its Effect on Physical and Mechanical Properties

Abstract

Recycling of construction and demolition waste has become a popular research area because of its economical and environmental benefit. It is emphasized in researcher about protection of natural environment in lots of country. Researchers have made studies that are about technical details of matter. Using of recycled materials provide both protection of environment and economic utilization of natural resources. Besides it is acquired consciousness of natural protection to the next generation. Many countries have brought strict legal regulations about recycling of construction and demolition waste.

In this study, generally resource of construction and demolition waste and specifically concrete waste and also recycling and utilization required economical, environmental and technical reasons are examined. Technical features of recycled concrete aggregates and concrete is made from recycled aggregates and utilization areas are examined. And finally, barriers limiting the use of recycled concrete waste derived from construction and demolition waste and proposal of solution these barriers are offered.

Key Words: Demolition waste, Recycled aggregates, Recycled concrete, Physical and mechanical properties.

1.Giriş

Katı atıkların kontrolü ve yönetimi, modern toplumların en büyük sorunlarından biridir (Öztürk, 2000). Günümüzde oranları ülkeye ve şehre göre değişmekle birlikte, inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA) katı atıklar içerisinde büyük bir pay tutmaktadır (Öztürk, 2000; Samton, 2003; Kartam vd., 2005; Huang vd., 2002; Stein vd., 1994). Bu atıkların yeniden kullanımı ve geri kazanımı

çevresel ve ekonomik açıdan büyük öneme sahiptir.

İYA'dan yapı malzemelerinin geri kazanımına ait ilk çalışmalar İkinci Dünya Savaşı sonrasında başlamıştır (Poon, 2007; Rao vd., 2007). Günümüzde İYA değerlendirilmesi taşıma, depolama maliyetleri ve vergi yükünün artışı (Samton, 2003; Samton, 2003; Huang vd., 2002; Stein vd., 1994; Poon, 2007; Rao vd., 2007; HQ AFCEE Report, 1996) gibi unsurların yanı sıra,

çevreye olan duyarlılığın artması, çoğu yerde inşaat sektöründe kullanılabilecek doğal kaynakların sınırlı olması (Poon, 2006) gibi koşullar sebebi ile çok önemli hale gelmiştir.

Konut, okul, hastane ve endüstriyel tesisler gibi yapıların yıkım, tadilat, tamirat, güçlendirilme, bakım ve geliştirilme faaliyetleri, karayolları, demir yolları ve hava alanı pistlerinin yapımı, yıkımı, tadilatı ve tamirati faaliyetleri sonucunda inşaat ve yıkıntı atıkları ortaya çıkabilmektedir. Bunların dışında; yangınların neden olduğu yıkıntıların atıkları, inşaat firmalarının çeşitli sebeplerle ortaya çıkardıkları atıklar ile doğal afetler sonucunda inşaat ve yıkıntı atıkları ortaya çıkabilmektedir.

İnşaat ve yıkıntı atıkları içerisinde ağırlıkça en büyük payı beton atıkları oluşturmaktadır (Stein vd., 1994; Akıllıoğlu vd., 1996; Oikonomou, 2005). Son yıllarda beton atıklarının; yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konularını inceleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı; genel olarak inşaat yıkıntı atıkları, özelde ise beton atıklarının yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusundaki bundan önce yapılmış araştırmaları inceleyerek, bu atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmaları ortaya koymaktır.

2. İnşaat yıkıntı atıklarının yönetimi

İYA başta beton olmak üzere, kum, çakıl, tuğlalar, seramik, doğal kayaçlar, moloz, asfalt, tahta, çeşitli metaller, cam, flüoresan lamba, plastik, halı parçaları, yalıtım malzemeleri vb. ile insan sağlığına zararlı bazı maddeleri (asbest, kurşun vb.) içerebilmektedir (Öztürk, 2000; Samton, 2003; Poon, 2006; Esin vd., 2007; Rakshvir vd., 2006). İYA yönetimi genel olarak, katı atık yönetimindeki gibidir. Atıkların azaltılması, kullanılabilir malzemelerin yeniden kullanımı ve geri kazanımı, geri kalan kısmın depolama alanlarında toplanması şeklindeki bir düzen içerisinde değerlendirilebilir.

Doksanlı yıllarda bazı Avrupa ülkelerinde İYA'nın Belçika' da %80, Almanya'da %60, Danimarka ve Finlandiya'da %40, Hollanda ve İsveç'te %20 civarındaki kısımları geri

dönüştürülerek kullanılabilmiştir (Oikonomou, 2005). 2002 yılı verilerine göre, Danimarka, Almanya ve Hollanda'da bu atıklarının %80' den fazlası, Finlandiya, İrlanda ve İtalya'da %30 ile %50 arası, Lüksemburg'ta ise %10'u geri dönüştürülerek kullanılmıştır (Nunes, 2007).

Amerika Birleşik Devletleri'nde 2005 yılı verilerine göre her yıl 130 milyon ton İYA ortaya çıkmaktadır (Lennon, 2005). ABD'de atıkların yeniden kazanımının verimini artırmak üzere çok sayıda örnek olay incelemesi yürütülmektedir. Örneğin bir çalışmada bu atıkların %92 oranında geri kazanıldığı ve toplamda %63 oranında maliyet tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir (Lennon, 2005). Japonya'da % 90 oranında geri kazanım hedefi belirlenmiş, 2000 yılında yaklaşık %96' ya ulaşılmıştır (Rao vd., 2007). Hollanda'da İYA' dan elde edilen çeşitli boyutlardaki taş malzemenin %95'i yol taban malzemesi olarak tekrar kullanılmakta, yeniden kullanımın seviyesi ve kalitesini yükseltmeye yönelik çalışmalar yürütülmektedir (Mulder vd., 2007). Türkiye'deki yıllık katı atık üretiminin 2005 yılı verilerine göre 38 milyon ton olduğu rapor edilmiştir (Esin vd., 2007) Bunun %25'inin İYA olması durumunda, yılda yaklaşık 10 milyon tonluk bir inşaat yıkıntı atığı oluştuğu hesaplanabilir. İYA'nın yönetimi yasalarla belediyelere verilmiştir. "Hafriyat Toprağı ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" (HTYAKY) ile bu atıkların yönetiminin nasıl yapılacağı belirlenmiştir (HTYAKY, 2004).

İnşaat yıkıntı atıkları yönetimi alanındaki çalışmalarda öncelikle atığın azaltılması gereği üzerinde durulmaktadır(Samton, 2003; Esin vd., 2007). Bunun için;

İnşaatlarda dayanım ve dayanıklılığı yüksek malzeme ve bileşenlerin kullanılması,

Yapıların kullanıcıların beklentilerini karşılayacak şekilde esnek tasarlanması,

Yapı malzemelerinin modüler yapı sistemlerine uygun olarak üretilmesi,

Birbirinin yapısını bozmayacak şekilde sökülüp takılmalarına imkân verecek şekilde detaylandırılması, çalışanların bu konularda bilgilendirilmesi önerilmektedir (Esin vd., 2007).

İnşaat ve yıkıntılardan elde edilecek yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir ürünlerin, üretildikleri yerde ayrı toplanması esastır (HTYAKY, 2004). Yıkımı planlı şekilde yapılacak yapıların, yeniden kullanılabilir malzemelerin zarar görmemesi için bir plan içerisinde yıkılması ve pazarlara iletilmesi gereklidir. Karışık yıkıntı atıkları, elle veya otomatik cihaz ve sistemler vasıtası ile ayrılır. Ayırma işlemi için gerekli cihaz ve sistemler ürünlerin geri kazanım maliyetlerini oldukça arttırır (Lennon, 2005).

Doğal kaynakların kıtlığı, çevrenin korunmasına olan ilginin artması, depolama alanlarının yetersizliği vb. sebepler belediyeler ve hükümetleri inşaat ve yıkıntı atıklarının yeniden kullanımı ve dönüşümleri ile ilgi tedbirler almaya zorlamaktadır. Bunun için birçok ülke ve şehirde atıkların azaltılmasına yönelik planlar hazırlanmakta, atıkların depolama alanlarına kabul ücretleri ve vergileri arttırılmaktadır (Samton, 2003; AFCEE Report, 1996).

3. Beton atıkları

Beton; ince ve iri agregalar, çimento, su ve katkı/lardan oluşan, çağdaş yapıların ana girdisidir. Bu bölümde, İYA'dan elde edilen beton atıklarının kaynakları, yeniden kullanım ve geri dönüşümünü zorlayan sebepler, beton atıklarından elde edilen agrega ve bunlarla üretilen betonun teknik özellikleri incelenmiştir. Geri dönüşüm malzemelerinden üretilen betonun kullanım alanları ve bu alanda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

3.1. Beton atıkların kaynakları

Yeniden kullanım veya geri dönüşüm için kullanılabilir beton atıkları; yıkılan eski binalardan, doğal afet yıkıntılarında, yangın sonucu oluşan yıkıntılardan, ulaşım sistemi ile ilgili çalışmalarından, bozuk beton üretiminden, kalite kontrol numunelerinden, prefabrik üretim atıkları ve uygun olmayan ürünlerden elde edilir (Öztürk, 2000; Akıllıoğlu vd., 1996).

3.2 Beton atıkların geri kazanımının gerekliliği

İYA'dan elde edilebilecek beton atığı oranı konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Lauritzen vd., (1994), 100-150 metrekare oturma alanı olan bir evin yıkımından elde edilecek yıkıntıdaki malzeme miktarlarını verdikleri çalışmada, evin ağırlığının %40'ı olan 56 tonluk bir beton atığının oluşabileceğini hesaplamışlardır. Bu oran diğer malzemelere göre ağırlıkça en büyük oranı oluşturmaktadır. Oikonomou, (2005), GKA konusundaki çalışmasında; bir yıkıntıdan elde edilebilecek beton miktarının maksimum % 40 olacağını öngörmüştür. Huang vd., (2002) Hong Kong'daki inşaat ve yıkıntı atıklarının yaklaşık %50' sini beton atıklarının oluşturduğunu belirlemişlerdir.

3.3. Çevresel sebepler

Bu bölümde genelde inşaat ve yıkıntı atıklarının, özelde yıkıntı içerisindeki en büyük payı oluşturan beton atıkların yeniden kullanımının çevresel ve ekonomik sebepleri açıklanarak, yeniden kullanımın sağlayacağı katkılar incelenmiştir.

Çok büyük miktarlar oluşturan inşaat ve yıkıntı atıklarının depolama alanlarına atılması doğal çevreye çeşitli şekillerde zarar verebilmektedir. Örneğin, ABD' de 2005 verilerine göre yılda 130 milyon ton inşaat yıkıntı atığı ortaya çıkmakta olduğu dikkate alındığında, geri kazanım ve yeniden kullanım olanaklarının değerlendirilmesi son derece öneme sahiptir. Aksi takdirde bu atıkların depolanması için çok büyük doğal alanların tahribine yol açacağı öngörülebilir. Bu amaçla kullanılan depolama alanları, ilgili bölgedeki toprağın verimliliğini kaybetmesi sonucu tarım alanı olarak kullanılamayacak duruma gelir.

Hem atıkların yeniden kazanımını kolaylaştırması, hem de asbest ve PWC gibi bazı zararlı malzemeler içerebilen kısımlarının çevreye zarar vermesini önlemek için aynı cins atıkların ayrılarak bir arada toplanması çok önemlidir. ABD, İngiltere, Danimarka, Almanya ve Hollanda da karışık haldeki inşaat ve yıkıntı atıklarının

yeraltı suyunun kirlenmesine neden olabileceğine dikkat çekilerek depolanmasında daha itinalı olunması ve içme suyu kaynaklarının bulunduğu bölgelerde depolama yapılmaması istenmektedir (Öztürk, 2000).

ABD'de bir araştırmaya göre 2004 yılında 2,7 milyar ton doğal agrega kullanılmıştır (Rao vd., 2007). Doğal agrega özgül ağırlığının yaklaşık 2,7 ton/m³ (Poon, 2006) olduğu dikkate alınır, bu alanın 1 milyar m³'lük bir hacim kapladığı hesaplanabilir. Bu da doğal agrega üretimi için çok geniş bir alandaki doğal çevrenin tahrip edilmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca, bu agregaların üretildikleri tesislerin çevreye yaydığı toz emisyonu, gürültü ve görüntü kirliliği de dikkate alınması gereken etkilere sahiptir.

3.4. Ekonomik sebepler

Bir metre küplük betonun üretim maliyeti içerisinde en büyük payı %40 ile çimento tutarken, ikinci sırada %20 ile iri agrega gelmektedir (Akıllıoğlu vd., 1996). İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıkları, kırılıp parçalandıktan sonra en çok, iri ve ince agrega olarak kullanılabilir (Poon, 2006; Rakshvir vd., 2006). Geri kazanılmış agregalar (GKA) doğal agregalara göre çok daha ucuzdur (Rao vd., 2007; Lennon, 2005). Buna göre GKA'nın, yeniden kullanımı ile önemli ölçüde ekonomik kazanç sağlanabilecektir.

Beton atıklarının taşıma ücretleri, depolama alanı ücretleri ve çeşitli vergiler sebebi ile depolama alanlarına atılmaları, geri kazanımının maliyetine göre çok daha pahalı duruma gelmiştir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nin Boston şehrinde yapılan bir araştırmaya göre, ayrılmış beton atıklarının geri kazanımının maliyeti ton başına 21 dolar, karışık inşaat atıklarının geri dönüşüm maliyeti ton başına 84 dolar, depolama alanlarına atılmalarının maliyeti ise ton başına 136 dolardır (Lennon, 2005). Ayrıca atıkların depolama alanlarına atılmasının maliyetleri gün geçtikçe artmaktadır (Samton, 2003; HQ AFCEE Report, 1996). Akıllıoğlu vd. göre (1996), İnşaat yıkıntılarının çöp sahasına atılmayıp yeniden değerlendirilmek üzere ikinci bir kullanıcıya

satılmak üzere geri dönüştürüldüğü takdirde, doğrudan çöp depolama alanına gönderme maliyetine göre %90 oranında bir azalma söz konusu olabilmektedir. Atık ayırma ve işleme tesislerinde oluşan istihdam ve geri kazanılmış ürünlerin pazarlanması yöntemi ile İYA'nın geri kazanımı önemli bir ekonomik faaliyet oluşturabilir (Lennon, 2005). Örneğin ABD'nin Minnesota Eyaletinde, geri dönüştürülmüş malzeme üreten üreticiler 9000 kişiye istihdam olanağı sağlayıp, 2000 yılında 3,5 milyar \$ satış gerçekleştirmişlerdir (Leigh vd., 2005). Nunes vd. (2007), inşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanımı için Brezilya'da kurulacak tesislerin işletmeciler açısından kazançlı olup olmayacağı araştırmışlardır. Belli bir büyüklüğün altındaki tesislerin özellikle özel sektör için kazançlı olmayacağı, taşıma ile ilgili masrafları mevcut kaynaklarından sağlayabilecek olan belediyeler için ise uygun olabileceği sonucuna varmışlardır.

4. Geri kazanılmış agregaların sınıflandırılması

RILEM (Reunion Internationale Des Laboratoires D'essais Et De Recherches Sur Les Matériaux Et Les Constructions) komitesi tarafından üç çeşit geri kazanılmış agrega tanımlanmıştır (Oikonomou, 2005). Bunlar: Tip 1: Öncelikle duvar molozlarından elde edilenler
Tip 2: Öncelikle beton molozlarından elde edilenler
Tip 3: Doğal agrega (%80) ile geri kazanılmış agreganın (%20) karışımı ile elde edilenler

GKA ile üretilen beton karışımları genellikle doğal agrega ile üretilen yöntemlerle gerçekleştirilir. Ancak, birim su içeriği belirlenirken geri kazanılmış agreganın daha fazla olan su emmesinin dikkate alınması gerekir. RILEM komitesinin GKA ile üretilen betonun oranları için göze çarpan tavsiyeleri Rao vd. (2007), tarafından aşağıdaki şekilde özetlenmiştir. GKA ile üretilen farklı beton sınıfları karışımlarında, betonun karakteristik basınç dayanımı belirlenirken amaçlanan hedef dayanımdan daha yüksek standart sapmalar hesapta dikkate alınmalıdır. Doğal kum ve geri

kazanılmış iri agrega birlikte kullanıldığında, gerekli sıkıştırılabilirlik için gereken s/ç oranı, geleneksel betondaki oranlarda olacaktır. Aynı çökme değeri için GKA'nın su miktarı geleneksel betona göre %5 daha fazla olmalıdır. GKA ile üretilecek beton için kum-agrega oranı, doğal agrega kullanılması durumu ile aynı oran olmalıdır. GKB'nun s/ç oranı ve gerekli işlenebilirliği elde etmek için GKA özellikleri ve kaynağına bağlı olarak, uygun ayarlama ve deneme karışımlarının yapılması zorunludur.

4.1. GKA kullanım alanları

Yıkıntı atıklarından elde edilen birçok ürün yeniden kullanılabilir. Beton atıklarının işlenmeden yeniden kullanımı, beton blokların erozyon önleyici (Fonteboa vd., 2007) ve dolgu malzemesi (Rao vd. 2006; Topçu, 2004) olarak kullanımı gibi birkaç örnekle sınırlı kalmaktadır. Buna karşı İYA'dan elde edilen betonlar daha ufak parçalara kırılıp eleklerden geçirilerek ince ve iri agrega elde edilebilmektedir. Beton atıkları en çok bu uygulama ile GKA olarak kullanılabilir (Poon vd., 2006; Rakshvir vd., 2006).

Bazı çalışmalarda, inşaat ve yıkıntı atıklarından ayrılmış ve kırılarak elekten geçirilmiş belirli büyüklükteki beton atıklarının, doğal agregaların yerine beton üretiminde kullanılabileceği savunulmaktadır (Kartam 2004; Rakshvir vd., 2006). Bazı araştırmacılar ise; bir kısım özelliklerinin standartlara uymaması dolayısı ile düşük standartlı agrega olarak taşıyıcı ve yapısal olmayan beton uygulamalarında kullanımının uygun olabileceğini belirtmektedirler (Topçu vd., 2004).

Yıkıntılardan elde edilmiş molozlar genellikle diğer inşaatlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Rakshvir vd., 2006). Park (2003), çalışması ile beton kaldırımların taban ve taban altlığında %100 geri kazanılmış agregaların kullanılabileceğini sonucuna varmıştır. GKA Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere' de geniş bir şekilde kaldırımlarda kullanılmaktadır (Stein vd., 1994). Chini vd., (2001), Nataatmadja vd., (2001), geri kazanılmış agregaların (kaba ve ince

agreganın) yol taban malzemesi olarak kullanılmasının doğal yol taban malzemesi ile karşılaştırılabilecek nitelik taşıdığını rapor etmişlerdir. Hollanda'da kırılan beton atıklarının %95'i yol taban malzemesi olarak kullanılmaktadır (Mulder vd., 2007).

Bunların dışında GKA kanalizasyon dolgularında, yol yapım çalışmalarında taban malzemesi olarak (Corinaldesi vd., 2002), çevre düzenlemesi, su kanalları, drenaj malzemesi, dolgu malzemesi ve beton blok üretimi işlerinde kullanılabilir. (Kartam vd., 2005), Akıllıoğlu vd., (1996), beton agregalarının kullanım alanlarını boyutları ile ilişkilendirerek;

- 80-200 mm beton agregaları; dolgu malzemesi olarak hidrolik işlerinde,
- 0-80 mm beton agregaları; standartları yerine getirmek şartı ile beton imalatında, yol inşaatlarında zemin malzemesi olarak, toprak dolgu malzemesi olarak ve park sahalarında,
- Geri kazanılmış kum; Çoğunlukla yol kaplamalarının altında ya da yol alt temel malzemesi olarak,
- 0-56 mm geri kazanılmış kargir; zemin dolgusu olarak ve sertleşmemiş zemin oluşturmak için park sahalarında,
- Asfalt agregaları; yollar ve park alanları kaplamalarında, yeni asfalt içinde kullanımı şeklinde sınıflandırmışlardır.

Türkiye'de, HTYAKY geri kazanılmış ürünlerin, ilgili standartları sağlamak şartı ile gerekli işlemlerden sonra orijinal malzemeler ile birlikte veya ayrı olarak, yeni beton üretiminde, yol, otopark, kaldırım, yürüyüş yolları, drenaj çalışmaları, kanalizasyon borusu ve kablo döşemelerinde dolgu malzemesi olmak üzere, alt ve üst yapı inşaatlarında, spor ve oyun tesisleri inşaatları ile diğer dolgu ve rekreasyon çalışmalarında öncelikli olarak kullanılacağını hükme bağlamıştır (HTYAKY, 2004).

5. GDB agregaları ve doğal agregalı beton özelliklerinin karşılaştırılması

İYA' dan elde edilen agregaların doğal agregalar yerine kullanılıp kullanılmayacağı ya

da inşaat sektörünün hangi alanlarında kullanılabilceği, malzemenin gerekli teknik özelliklere uyup uymamasına bağlıdır. Bu bölümde teknik özellikler verilerek, doğal agrega ile geri kazanılmış agregaların ve bunlardan elde edilmiş betonların özellikleri karşılaştırılmıştır.

5.1. Tane boyutu dağılımı

İnşaat ve yıkıntılardan elde edilen beton molozları genellikle iki aşamalı kırma ve eleme işlemlerinden sonra ince ve kaba agrega haline getirilir. Genellikle birbirini izleyen seri halinde kırıcılar kullanılır, çok iri parçalar geri beslenerek uygun kırıcıda tekrar kırılarak istenen tane sınıfına getirilir. İlk kırma işlemi ile 50 mm'lik parçalar haline getirilen beton atıkları, ikinci kırma ile 14-20 mm boyutuna indirilir (Rao vd., 2007). Kırma sırasında tuğla malzemelerin normal agrega ve betona göre çok fazla ince malzeme ortaya çıkaracağı dikkate alınarak kırma işlemi yapılmalıdır. Malzeme içindeki metal safsızlıkları uzaklaştırmak için elektromıknatıslar kullanılır (Corinaldesi vd., 2002).

5.2 Yoğunluk

Topçu (1997), GKA için 2450 kg/m³ lük yoğunluk değerini ölçmüşken [21], Poon (1997), geri kazanılmış iri ve ince agrega için sırası ile 2100 kg/m³ ile 2300 kg/m³ değerlerini, ince veya iri doğal agrega için ise 2600 kg/m³ değerlerini ölçmüştür. Poon vd. (2006), başka bir çalışmada yüzey kuru geri kazanılmış agrega için 2487 kg/m³, geri kazanılmış agrega için; 2411 kg/m³ değerlerini, yüzey kuru doğal agrega için; 2622 kg/m³, etüv kurusu doğal agrega için; 2594 kg/m³ birim ağırlık değerlerini ölçmüşlerdir. Doğal afetlerde oluşan karışık yıkıntı molozlarının yoğunlukları 850-1400 kg/m³ civarındadır (Öztürk, 2000). RILEM tarafından sınıflandırılan geri kazanılmış agrega türleri 3 tipe ayrılmıştır. Buna göre, doygun kuru yüzeyli agregalar için yoğunluk değerleri Tip 1 için (kargir kalıntılardan elde edilen agregalar) 1500 kg/m³, Tip 2 için (beton kalıntılardan elde edilen

agregalar) 2000 kg/m³ ve Tip 3 için (geri kaz. agrega+doğal agrega karışımı -doğal agr. min.%80, Tıp I agr. maks.%10) 2400 kg/m³ olarak verilmiştir (Akıllıoğlu vd., 1996).

Farklı atık kaynaklarından elde edilen beton atıklarının özgül ağırlığı birbirinden farklı olabilmektedir. Bununla birlikte hem geri kazanılmış agregaların ve hem de bunlardan üretilen betonların yoğunluğu, doğal agregalar ve doğal agrega ile üretilen betonlara göre daha düşük olmaktadır.

5.3. Su emme

Topçu vd. (1995), göre atık beton agregalarının su emme oranının yüksek olması sebebi ile yeni beton üretiminde uygulanabilirliği düşük olmaktadır. Rakshvir vd., (2006) farklı kaynaklardan elde edilen GKA ile yapılan deneylerde, su emme oranını %1,63 ile %1,65 olarak elde edilmiştir. Poon vd., (2007) ise iri ve ince geri kazanılmış agregaların su emme değerlerini %3.17 ile %10,3 arasında belirlemişlerdir. Bu değerler doğal agregalar için %0,5 ile %1 arasındadır (Rao vd., 2007). Buna göre iri ve ince taneli GKA, doğal agregalara göre daha yüksek su emme kapasitesine sahip olmaktadır.

5.4. Basınç mukavemeti

Doğal agregalarla yapılmış beton (şahit numune) için basınç mukavemeti; 30 H 2 MPa civarlarında iken, %100 GKA ile yapılan betonun basınç mukavemeti 18 H 2 MPa civarında elde edilmiştir (Sani vd., 2005). Birçok araştırmacı doğal agrega ile GKA karıştırarak yaptıkları çalışmalarla optimum oranda GKA kullanımını araştırmışlardır. GKA oranının %50' nin üzerine çıkması ile basınç mukavemetinin önemli ölçüde düştüğü tespit edilmiştir (Leigh vd., 2005; Poon vd., 2002).

Ajdukiewicz vd. (2002), karışımdaki su oranının uygun şekilde değiştirilmesi ile GKA ve doğal agreganın birlikte kullanılarak ürettikleri betonda orijinalinden daha yüksek basınç mukavemeti değerleri elde etmişlerdir. 0.6-0.75

gibi yüksek su/çimento (s/ç) oranında, GKA'nın karışımdaki payı %75'lere çıktığında bile GKA kullanılarak üretilen betonun mukavemet değeri referans betonun değerine ulaşmıştır (Katz, 2003). Rao (2005), tamamen GKA kullanılarak üretilen betonun s/ç oranı 0.55'in üzerine çıktığında referans betonla karşılaştırılabilir değerlerde basınç mukavemetine sahip olabileceğini belirlemiştir. Topçu vd. (2008), silis dumanı katkılı GKA ile üretilen betonların 3, 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımlarını tahmini konusundaki çalışmada 8 farklı parametre kullanarak güçlü tahmin potansiyeline sahip yapay sinir ağları ve bulanık mantık sistemleri kullanmışlardır. Dikkate alınan parametreler şunlardır: numunenin yaşı, çimento, su, kum, agrega, geri kazanılmış agrega, süperpakişkanlaştırıcı ve silis dumanı.

5.5. Eğilme mukavemeti ve aderans

Eğilme mukavemetini ölçmeye yönelik yapılan çalışmalarda genellikle GKA ile yapılan betonun, doğal agregalarla yapılanaya göre daha düşük eğilme mukavemeti değerleri elde edilmektedir. Ajdukiewicz vd. (2002), GKA ile üretilen betonun eğilme mukavemetinin, 28. günde, referans betona göre % 10 daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Chen vd. (2002), içerisinde bir miktar kiremit ve tuğla kırıkları bulunan GKA ile ürettikleri betonun eğilme mukavemetinin normal betona göre %9 ile %22 düştüğünü belirlemişlerdir. Rakshvir vd. (2006), bir yıllık bir yıkıntıdan alınan içerisinde belli miktar siva da bulunan GKA (M1) ve 30 yıllık bir yıkıntıdan aldıkları içerisinde bir miktar sıvada bulunan GKA (M2) ile deney örnekleri üretmişlerdir. Buna göre M1' serisine ait eğilme mukavemeti değerleri sırası ile %9 ve %19, M2' serisine ait eğilme mukavemeti değerleri ise sırası ile %9,5 ve %15 azalmıştır.

Ajdukiewicz vd. (2002), çalışmalarında %100 GKA kullanılması durumunda elde edilen betonun aderansının referans betona göre %10 oranında azaldığını belirlemişlerdir.

5.6. Elastisite modülü, rötre, donma-çözünme direnci ve karbonlaşma etkisi

Chen vd. (2002), GKB elastisitesinin normal betonun %70'i civarında olduğunu ve s/ç oranı veya beton içerisindeki yabancı maddelerin, dikkate değer bir etki göstermediğini belirtmişlerdir. Fonteboa vd. ise (2007), referans betona göre GKA ile üretilen betonun elastisite modülünün, 7. günde %11 ve 28. günde % 17,60 daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Rao vd. (2006), elastisite modülünün GKA uygulamaları açısından kritik bir parametre olması sebebi ile bu alanda sonuçlara varmadan önce, daha fazla deneysel veriye ihtiyaç olduğunu savunmuşlardır. Katz (2003), 90 gün beklemiş GKA'dan üretilen betonun rötre değerini; 0,55 mm/m ile 0,80 mm/m olarak ölçmüş, buna karşın doğal agrega ile üretilen betonun rötre değerini ise; 0,30 mm/m olarak belirlemiştir. Buna göre; GKA ile üretilen betonun rötre değerinin artacağı söylenebilir.

Hava sürüklenmiş betondan elde edilen GKA ile üretilen betonun donma direncinin oldukça iyi performans gösterdiği (Zaharieva vd. 2004), buna karşın, hava sürüklenmemiş GKA ile üretilen betonun donma çözünme direncinin daha düşük olduğu belirlenmiştir (Rao vd., 2007). Poon (2007), GKA kullanılarak üretilen parke taşı bloklarının donma ve çözünme döngüsünün fazla olduğu ülkelerde risk oluşturabileceğini savunmuştur.

Rao vd. (2007), betondaki karbonlaşmayı araştırdıkları çalışmada GKA ile üretilen betonun 6 ay sonundaki karbonlaşma derinliğinin referans betona göre 1,3 ila 2,5 kat daha büyük olduğunu belirlemişlerdir.

6. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, GKA ve bunlarla yapılan betonun özellikleri ve yeniden kullanım olanakları incelenmiştir. GKA, duvar molozlarından, beton molozlarından ve doğal agrega ile geri kazanılmış agreganın karışımından elde edilenler olmak üzere üçe ayrılır.

Genel olarak; geri kazanılmış agregalarla yapılan betonun daha düşük beton

uygulamalarında kullanılmasının uygun görüldüğü tespit edilmiştir. İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıklarının yeniden kullanımı ve geri kazanımı çevresel ve ekonomik yönden pek çok yarar sağlayabilecektir. Günümüzde İYA taşıma ve depolama alanı ücretleri, çeşitli vergiler sebebi ile depolama alanlarına atılmaları, geri kazanımının maliyetine göre çok daha pahalı duruma gelmiştir. GKA ve bunlardan üretilen betonların yoğunluğu, doğal agregalar ve doğal agrega ile üretilen betonlara göre daha düşük olmaktadır.

İri ve ince taneli GKA, doğal agregalara göre daha yüksek su emme kapasitesine sahip olmaktadır. GKA betonun elastisite modülünü ve mukavemet değerlerini genel olarak azaltmaktadır. GKA ile üretilen betonun rötre değeri artmaktadır. GKA betonun aderansını azaltmaktadır. GKA ile üretilen betonun donma-çözünme direnci düşmekte, ancak hava sürükleyici katkı ile nispeten iyileşmektedir.

İnşaat ve yıkıntı atıklarından yeniden kazanılmış agregaların kullanımı konusunda birkaç sınırlayıcı engel bulunmaktadır. Bunlar: (i) Çöplükler ve depolama alanlarının nispeten düşük maliyetleri, bu alandaki vergilerinin yüksek olmaması ve İYA' dan yeniden kazanılmış agregalarla karşılaştırıldığında doğal agregaların ucuz olması. (ii) İnşaat mühendisliği için tutucu şartnameler. (iii) Proje müellifleri ve inşaatçıların projelerinde yeniden kazanılmış agregaların uygun parçalarını kullanmasını zorlayan politikaların bulunmaması. (iv) İnşaat endüstrisinde çalışan teknik personelin geri kazanılmış agregaların performansları hakkında bilgi eksikliği vb. [6].

Geri dönüştürülmüş beton atıklarının yeniden kullanımının yaygınlaşmasına engel olarak görülen sorunların çözülmesi gerekmektedir. Buna göre Türkiye'de, depolama alanları ücretleri ve vergilerin arttırılması bir zorlayıcı tedbir olabilir. Öncelikle il merkezlerinden başlayarak inşaat atıkları geri dönüşüm tesislerinin kurulması teşvik edilebilir. İnşaatçılar için bu malzemelerinin kullanımını teşvik edici ekonomik bazı avantajlar (örn. vergi indirimi) sağlanabilir.

Hangi tür beton atığının hangi inşaat işlerinde kullanılabileceğini belirleyen şartnamelerin ortaya

konması gerekmektedir. İnşaatçılar için agregaların özellikleri konusunda toplantı ve konferanslar düzenlenerek bilgilenmeleri sağlanabilir. Projelerinde belli oranda geri dönüştürülmüş agrega kullanımı zorunlu hale getirilebilir.

Kaynaklar

- Ajdukiewicz A. ve Kliszczewicz A., 2002. Influence Of Recycled Aggregates On Mechanical Properties of HS/HPC, Cement and Concrete Composites, 24(2), 269-279.
- Arıoğlu E., Köylüoğlu Ö.S. ve Akıllıoğlu E., 1996. Dünyadaki Geri Kazanılmış Agrega Üretim Politikalarının Gözden Geçirilmesi ve Ülkemiz Açısından İrdelenmesi, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul.
- Chen H.J., Yen T. ve Chen K.H., 2003. Use of Building Rubbles as Recycled Aggregates, Cement and Concrete Research, 33, 125-132
- Chini A.R., Kuo S.S., Armaghani J.M., Duxbury J. P., 2001. Test of Recycled Concrete Aggregate In Accelerated Test Track, Journal of Transportation Engineering, 127, 6, 486492.
- Corinaldesi V., Giuggiolini M., ve Moriconi G., 2002. Use of Rubble From Building Demolition in Mortars, Waste Management, 22, 893-899.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2004. Hafriyat Toprağı ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (HTYAKY), Ankara.
- Esin T. ve Coşgun N., 2007. A Study Conducted to Reduce Construction Waste Generation in Turkey, Building and Environment, 42, 1667-1674.
- Fonteboa B.G. ve Abella F.M., 2008. Concretes with Aggregates From Demolition Waste and Silica Fume, Materials and Mechanical Properties, Building and Environment, 43, 429437.
- Huang W.L., Lin D.H., Chang N.B. ve Lin K.S., 2002. Recycling of Construction and Demolition Waste Via A Mechanical Sorting Process, Resources, Conservation and Recycling, 37, 23-37.

- HQ AFCEE, Construction and Demolition Waste Management Guide, 2004. Pocket Guide, www.afcee.brooks.af.mil/green/resources/resources.asp, United States of America.
- Kartam N., Al-Mutairi N., Al-Ghusain I. ve Al-Humoud J., 2004. Environmental Management of Construction and Demolition Waste in Kuwait, *Waste Management*, 24, 1049-1059.
- Katz A., 2003. Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate From Partially Hydrated Old Concrete. *Cem Concr Res*, 33, 703-11.
- Lauritzen E.K. ve Jannerup M., 1994. Guidelines and Experience From the Demolition of Houses in Connection with the Oresund Link Between Denmark and Sweden- Demolition and Reuse of Concrete and Masonry: Proceedings of Third International RILEM Symposium, 35-47.
- Leigh N.G. ve Patterson L.M., 2005. Construction and Demolition Debris Recycling for Environmental Protection and Economic Development, City and Regional Planning Program, College of Architecture Georgia Institute of Technology.
- Lennon M., 2005. Recycling Construction and Demolition Wastes A Guide for Architects and Contractors, The Institution Recycling Network.
- Merz S.K., 2004. Assessment of Markets for C&D Waste, Construction & Demolition Waste Reduction - SMF 4194, New Zealand.
- Mulder E., Jong T.P.R. ve Feenstra L., 2007. Closed Cycle Construction: An Integrated Process for the Separation and Reuse of C&D Waste, *Waste Management*, 27, 1408-1415.
- Nataatmadja A. ve Tan, Y.L., 2001. Resilient Response of Recycled Concrete Road Aggregates, *Journal of Transportation Engineering*, 127, 5, 450-453.
- Nunes K.R.A., Mahler C.F., Valle R. ve Neves C., 2007. Evaluation of Investments in Recycling Centres for Construction and Demolition Wastes in Brazilian Municipalities, *Waste Management*, 27, 1531-1540.
- Öztürk M., 2003. İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara,
- Samton G., 2003. Construction and Demolition Waste Manual, City of New York.
- Oikonomou N.D., 2005. Recycled Concrete Aggregates, Cement & Concrete Composites, 27,315-318.
- Park, T., 2003. Application of Construction and Building Debris as Base and Subbase Materials in Rigid Pavement, *Journal of Transportation Engineering*, 129, 5, 558-563.
- Poon C.S., 1997. Management and Recycling of Demolition Waste in Hong Kong, *Waste Management & Research*, 15, 561-572.
- Poon C.S., Kou S.C. ve Lam L., 2002. Use of Recycled Aggregates in Moulded Concrete Bricks and Blocks. *Construction and Building Materials*, 16, 5, 281-289.
- Poon C.S., Qiao X.C. ve Chan D., 2006. The Cause and Influence of Self-Cementing Properties of Waste Recycled Concrete Aggregates in the Properties of Unbound Sub-Base, *Waste Management*, 26, 1166-1172.
- Poon C.S., 2007. Management of Construction and Demolition Waste, *Waste Management*, 27, 159-160.
- Rao A., 2005. Experimental Investigation on Use of Recycled Aggregates in Mortar and Concrete, Thesis Submitted to the Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur.
- Rakshvir M. ve Barai S.V., 2006. Studies on Recycled Aggregates-Based Concrete, *Waste Manage Res*, 24, 225-233. Rao A., Jha K.N., ve Misra S., 2007. Use of Aggregates From Recycled Construction and Demolition Waste in Concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, 50, 71-81.
- Sani D., Moriconi G., Fava G. ve Corinaldesi V., 2005. Leaching and Mechanical Behavior of Concrete Manufactured with Recycled Aggregates, *Waste Management*, 25, 177-182.
- Topçu İ.B. ve Güncan F.N., 1995. Using Waste Concrete as Aggregate. *Cem Concr Res.*, 25, 7, 1385-1390.
- Topçu I.B., 1997. Physical and Mechanical Properties of Concrete Produced with Waste Concrete, *Cement and Concrete Research*, 27, 12, 1817-1823.

- Topçu İ.B. ve Sengel S., 2004. Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate. *Cem Concr Res.*, 34, 8, 1307-1312.
- Topçu, İ.B., Sarıdemir M., 2008. Prediction of Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concretes Containing Silica Fume Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic. *Comput. Mater. Sci.* 42, 1, 74-82.
- Von Stein E.L. ve Savage G.M., 1994. Current Practices and Applications in Construction and Demolition Debris Recycling, *Resource Recycling*, April, 85-93.
- Zaharieva R., Buyle-Bodin F. ve Wirquin E., 2004. Frost Resistance of Recycled Aggregate Concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 1928-1932.