

## İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi

C Gurer, H Akbulut & G Kurklu

*Afyon Kocalepe Üniversitesi, Afyon*

**ÖZET:** Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Dikkatlice kullanılmadığı takdirde bir gün bu kaynakların tükeneceği şüphesizdir. Kaynakların sınırlı olduğu, tüketimin hızla arttığı dünyamızda son yıllarda üzerine önem verilen konulardan birisi de geri dönüşümdür. Çok çeşitli atık malzemelerde geri dönüşüm yapılmakta, atıklar bir ham madde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmekte ve bu işleme "geri dönüşüm" denilmektedir. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve ortaya çıkan enerji krizi vb. gerçekleşen gelişmiş ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir. Ne yazık ki ülkemizde diğer gelişmiş ülkelere nazaran inşaat endüstrisinde geri dönüşüm miktarı yok denecek kadar azdır. Diğer ülkelerde asfalt, beton, agrega, ahşap vb. yapı malzemeleri geri kazanılarak yeniden hammaddeye dönüştürülmekte hem ekonomiye hem de çevreye olan zararlı etkilenen azaltılmaktadır. Bu çalışmada inşaat endüstrisinde geri dönüşüm yapılabilen malzemelerden bahsedilerek, atıklarının bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilme şekillen anlatılmış ve dünya'daki uygulamalardan bahsedilmiştir.

**ABSTRACT:** Continuously increase in world population and changes on the habits of consumption demand on the materials leads to rapid decrease on natural resources. It is inevitable that these resources will be run out shortly by the high consumer demand. In order to use effectively the limited resources, some of the countries have taken a number of decisions contributing to the effective consumption of the resources. One of the most important ways of preserving the resources has been recycling, which is a process of reusing the materials used before and waste materials which have no use. In order to preserve the resources for the future generations and crises on energy leads the countries to take some radical action on energy and resources consumption. All the material which can be reused such as asphalt, concrete, timber, paper, glass etc. has been reused for the same purposes or different. Especially the construction industry has been a major resource for recycling to preserve and protect the environment. Unfortunately, all this kind of preservation policy has no effective implementation. The paper underlines the preservation policies and recycling carried out around the world.

### 1. GİRİŞ

Atıkların hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmesine geri dönüşüm denir. Geri kazanım ise atıkların yeniden kullanılarak, enerji elde etmek (yakma vb.) veya fiziksel yada kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir ürün elde etmek amaçları ile toplanmasıdır.

Ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan ve kalkınmakta olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir. Ülkemizde de nüfus artışına paralel olarak atık miktarı ve ambalajlı ürün kullanımı da artmış, geri kazanımı ekonomik bir değer haline

getirmiştir. Çevre Bakanlığı tarafından 1991 yılında yayınlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile geri kazanım yasal zorunluluk haline dönüşmüştür [ÇEVKO]. Geri dönüşümü bu kadar önemli duruma getiren sebepleri şu şekilde sıralayabiliriz:

Geri dönüşüm ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanır. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklarımızı verimli kullanmak zorundayız. Dolayısıyla geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir. Örneğin; kağıdın geri dönüşümü ile ormanlarda ağaçların daha az kesilmesini sağlamış oluruz. Benzer şekilde plastik atıklarının geri dönüşümü ile petrolden tasarruf sağlanabilir. Ülkemizde 150-200 bin ton civarında atık plastik geri kazanılmaktadır, atık kağıt geri kazanım oranı ise % 32'dir. 2002 yılında ülkemizdeki bazı yerel yönetimler tarafından geri kazanım projeleri kapsamında düzenli olarak toplanan malzeme miktarı 15795 tona ulaşmıştır [ÇEVKO].

Kullanılan malzemelerin veya atıkların hammaddeye dönüştürülmesi malzeme üretiminde endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlar. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünde bu metallerin üretimi için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Kullanılan alüminyumun %30'u hurdaların geri kazanılmasından elde edilmektedir. Elektrik, inşaat ve taşıt araçları sektörlerinde kullanılan alüminyumun % 70'i, defalarca geri kazanılır. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümünden % 96 oranında enerji tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde katı atıklarda ayrılan kağıdın yeniden işleme sokulması için gerekli olan enerji normal işlemler için gerekli olanın %50'si kadardır. Aynı şekilde cam ve plastik atıkların da geri dönüşümünden önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir. Türkiye'de yılda yaklaşık 2 milyon ton civarında hurda metal toplanarak geri kazanılmaktadır. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya

çıkabilecek ve işte bu noktada geri dönüşüm ekonomi üzerinde olumlu etki yapacaktır. Yeni iş imkanları sağlayacak ve gelecek kuşaklara doğal kaynaklardan yararlanma olanağı sunacaktır. İnşaat sektöründe en önemli sorunlardan birisi hammaddedir. Özellikle asfalt, mermer gibi malzemeler geri dönüştürülmesi yoluna gidilerek önemli miktarlarda ekonomik kazanç sağlanabilir. Petrol türevi olan asfalt malzemelerin yeniden kullanılması yoluna gidilmesinin sağlayacağı ekonomik kazanç göz ardı edilemez.

Çizelge 1. Ülkemizde halen devam eden belediye geri kazanım projelerinde toplanan atık kompozisyonunun ortalaması

MALZEME CİNSİ	(%)
Kağıt-Karton	42
Cam	28
Metal	7
Plastik	23
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>

Günümüzde şu üç kelime slogan haline gelmiştir; tüketimi azalt-yeniden kullan-geri dönüşür. Dünya'da geri dönüştürülebilen atıkların en önemlilerini kağıt, alüminyum, cam, plastik malzemeler oluşturmaktadır. Ülkemizde de bu malzemeler geri dönüşümde ilk sıraları almaktadır. AB ülkelerinin tamamında atık geri dönüşüm oranı % 45, geri kazanım oranı ise % 50'dir. Türkiye, bu tip malzemelerin geri kazanımında İtalya ve İngiltere gibi ülkelerin ortalamasını geçmiş AB ortalamasına yaklaşmıştır. Çizelge 1'de ülkemizde son yıllarda geri kazanım projelerinde toplanan atık çeşitleri ve bunların oranları görülmektedir.

Özellikle son yıllarda ülkemizde geri kazanılabilir atıkların ekonomik değer kazanması ve bu konudaki yasal zorunlulukların yürürlüğe girmesiyle bu tür malzemeleri toplayan veya geri dönüşümünü yapan işletmeler ve sanayi kuruluşları oluşmaya başlamıştır. Türkiye'de atık yönetimi konusu özellikle son beş yıl içinde artan nüfus ve göç ile birlikte çoğu kez şehir sınırlarının çok içine kadar giren çöp dökme alanlarının yarattığı sorunla birlikte gündeme gelmiştir. Öncelikle düzensiz depolama sahalarının rehabilitasyonu ve yeni düzenli çöp depolama sahalarının açılması gündeme gelmiş ve daha sonra kompostlama ve geri kazanım konuları tartışılmaya başlanmıştır. Ülkemizin mevcut koşulları dikkate alındığında

yakma yönteminden ziyade düzenli depolama sahalarının kurulması ve bu alanlara gidecek atık miktarının azaltılması için önlemler alınması (değerlendirilebilir atıkların ayrı toplanması ve geri kazanım bu aşamada önem kazanmaktadır) Türkiye için öncelikli seçenekler olarak görülmektedir [ÇEVKO], [Akbulut & Gürer, 2003].

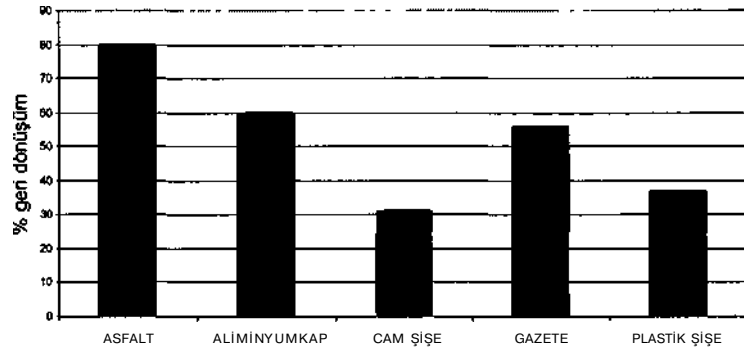
## 2. İNŞAAT SEKTÖRÜ AÇISINDAN GERİ DÖNÜŞÜM

Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi de inşaat sektörüdür. İnşaat sektörü, imalat süreçlerindeki girdileri asgari düzeye indirmeye, hammaddelerin kullanılmasını, enerji tüketimini, emisyonları ve mekan kullanımını mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmaktadır.

Bu sektörde tüketilen malzemelerin başında beton, asfalt, ahşap, alüminyum, demir gibi malzemeler gelmektedir. Bu tür malzemeler geri dönüşümde çok yaygın olarak kullanılan diğer önemli malzemelerdir.

Amerika'da asfalt malzemedeki geri dönüşüm oranı % 80'dir. Bu değerden alüminyum, cam, plastik gibi geri dönüştürülebilir malzemelerden daha fazla geri dönüştürüldüğü anlaşılmaktadır. Şekil 1'de A.B.D.'de geri dönüşümü en fazla yapılan malzemeler ve bunların geri dönüşüm yüzdeleri görülmektedir.

Talep ve tüketim açısından baktığımızda geri dönüşümün özellikle inşaat alanında yaygın bir şekilde uygulanmasının önemli miktarlarda ekonomik ve hammadde kaynağı sağlayacağı görülebilir.



Şekil 1. A.B.D.'de geri dönüşümü yapılan bazı malzemeler ve geri dönüşüm yüzdeleri.

### 2.1 Beton 'da Geri Dönüşüm

Gen dönüştürülmüş yapı hammaddelerine olan global talep son on yılda büyük ölçüde artmıştır. Beton malzemesi inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemedir. Mimari ve peyzaj amaçlı yapılarda çok geniş şekil, renk, doku ve kaplama seçeneklerini uygulayabilmek için betonun sağladığı olanaklardan yararlanır. Avrupa hazır beton sektörü, 12.000'i aşkın faal tesiste yılda yaklaşık 300 milyon metreküp beton üretmektedir. Yıllık hazır beton tüketimi 0.3 - 1.40 metreküp/kişi seviyesindedir. Yaklaşık 720 milyon ton malzemenin ve buna tekabül eden enerjinin kullanımı kuşkusuz çevre bakımından çok önemli sonuçlar yaratmaktadır. Bir bina yada yapının

yıkılması gerektiği zaman, elde edilen eski beton, kırılarak beton agregası yada yollarda zemin altı malzemesi olarak yeniden kullanılabilir. Betonun ağır matnksi onu, aynen veya çok az güç ve performans kaybına uğrayarak kullanılabilen ideal bir geri dönüşümlü malzeme yapar. Kullanılmadan iade edilen betonun hemen yada daha sonra beton karışımlarında kullanılmasını veya beton ürünü, yol döşemesi yada inşaat dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılmasını sağlayan sistemlerde vardır. Ülkemizde henüz uygulaması olmasa da Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl 200 mil beton kaplamanın geri dönüşümü yapılmakta, kanuni yaptırımla 44 eyalette geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmaktadır.



Şekil 2 BIT Beton Agregası Gen Donuşum Şantiyesi (RCA)

Şekil 2'de bir beton agregası gen donuşum şantiyesi görülmektedir. Her 1 mil beton döşemeden yaklaşık olarak 5996 ton beton gen dönüştürülmektedir. Bozulan beton yollar, yıkımı gerçekleştirilen eski binalar bir beton agregası gen donuşum şantiyesinde kırılıp ayrıştırıldıktan sonra yeniden kullanıma hazır granule malzeme haline dönüştürülmektedir.

Avustralya Victoria'da gen dönüştürülmüş beton agregaları çeşitli uygulamalarda çok sık kullanılmaktadır. Burada yapılan çalışmalar gen dönüştürülmüş beton agregalarının normal agregaya yerine veya beton üretiminin yapısal olmayan uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir. Gen dönüştürülmüş beton agregaları özellikle yol inşaatı için temel dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama yıkılmış beton atıklardan faydalanmayı sağladığı gibi sektör içerisinde de önemli miktarlarda atık azalmasına imkan tanımaktadır [Sagoe-Crentsil & Brown, 1998].

## 2.2 Mermer Sektöründe Geri Donuşum

Üretimi ve işlenmesi esnasında meydana gelen atık miktarı % 60'lara ulaşan mermer sektöründe yeniden kullanım için önemli miktarlarda hammadde açığa çıkarmaktadır. Meydana gelen atıklar toz ve parça atıklar olmak üzere ikiye ayrılmakta ve bunlar çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Bu atıklardan inşaat sektöründeki değişik alanlarda yararlanma yöntemleriyle ilgili literatürde çeşitli çalışmalar

yapılmakta, sanayideki bazı uygulamaların günlük hayata yansımaktadır [Akbulut & Gurer, 2003].

Mermer toz atıkları özellikle mermer işleme fabrikalarının civarında önemli çevre sorunları oluşturmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin yol üstü yapı inşaatında değerlendirilmesi ekonomiye ve çevreye önemli bir katkı getirecektir. Filler, bitümlü karışımlarda ince agregası oranını arttırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını arttırmak için kullanılır. Yapılan araştırmalar asfalta katılan mermer tozunun asfalt yaşlanmasını önemli oranlarda geciktirdiğini göstermiştir. Eklenen mermer tozu asfalt çimentosunun viskozitesinin artmasını sağlayarak teker ızı deformasyonlarının azalmasını faydalı olmaktadır [Little & Epps 2001]. Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerinde yapılan çalışmalar, taş tozu filler malzemesinin az bulunduğu veya bulunmadığı yerlerde, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceğini göstermiştir [Terzi & Karasahin 2003], [Çetin & Tuncan 1997]. Bunun dışında mermer toz atıkları sıva katkı malzemesi, çimento üretiminde katkı malzemesi, kireç üretiminde, kalsine dolomit üretiminde, refrakter malzeme olarak inşaat sanayinde çeşitli şekillerde kullanılmaktadır [Şentürk, 1996].

Mermer toz atıklarından yararlanılan diğer önemli alanlardan birisi de bozuk zemin özelliklerinin

iyileştirilmesinde kimyasal katkı maddesi olarak kullanılmaktadır ilk çağlardan günümüze kadar insanlar, barınma, savunma vb. amaçlarla inşa ettikleri yapıları, zemin üzerine yada zeminin içine inşa etmişlerdir. Böylece zeminin temel yada inşaat malzemesi olarak kullanılmasıyla çeşitli problemlerle karşılaşmaya başlanmıştır.

Karşılaşılan problemlerde zeminlerin stabilizasyonu çok eski tarihlere kadar dayanmaktadır. Zeminin özelliklerinin iyileştirilmesinde katkı maddeleri olarak ilk uygulamalarda bitki köklerinden yararlanılmıştır. Günümüzde değişik kimyasal maddelerle farklı uygulamalarda bulunmaktadır [Zorluer & Usta, 2003].

Geçirimsizlik, kayma direnci, oturma ve benzeri özelliklerden dolayı kullanım amacına uygun olmayan zeminlerin ortaya çıkardığı problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan üç yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi istenmeyen zemini kazıyarak yerine istenen özellikler taşıyan bir malzeme koymaktır. Ancak yapılacak kazı hacminin çok yüksek olduğu durumlarda yöntem ekonomik olmamaktadır. Bu durumda akla gelen ikinci çözüm, zemini olduğu gibi kabul edip, üst yapıdaki taşıyıcı elemanların boyutlarının ve kullanılan malzemenin kalitesinin artırılmasıdır ki bu durumda maliyet oldukça yüksek olabilmektedir. Üçüncü bir yöntem ise zemin içerisine çimento, kireç, mermer tozu, uçucu kül gibi çeşitli kimyasal maddeler katılarak zemin özelliklerinin iyileştirilmesidir. Kimyasal stabilizasyonda kullanılan kireç orta, ince ve çok ince daneli zeminlerle reaksiyona girerek plastisitenin düşmesine, işlenebilirliğin artmasına, şişmenin azalmasına ve mukavemetin artmasına neden olmaktadır. Zemin sınıfı, CH, CL, MH, ML, ML-CL, SC, SM-SC, SM, GC, GM-GC, GM olan ve silt, kil içeren ince gradasyonlu zeminlerin kireç ile stabilize edilerek ıslah edilmeleri mümkündür. Dolayısıyla kireç stabilizasyonu killi zeminlere uygulanan bir metottur amacı zeminin deformasyona olan direncini arttırmaktır. Mermer tozunun killi zeminlerde kirece benzer bir iyileştirme yaptığı yapılan literatür taramasından bilinmektedir [Okagbue & Onyeobi, 1999]. Dolayısıyla mermer sanayinde meydana gelen toz atıkları killi yol alt yapılarında kimyasal stabilizasyon malzemesi olarak hızlı bir şekilde değerlendirilmesi suretiyle çevre kirliliğinin azaltılması ve bu atıl malzemenin ekonomiye bir inşaat malzemesi olarak kazandırılması sağlanabilir

Mermer tozunun filler katkı malzemesi olarak kullanıldığı bir diğer yapı malzemesi de betondur. Yapılan araştırmalar beton üretiminde ince malzeme oranının yaklaşık % 10'unun mermer tozu ile değiştirilmesi halinde basınç dayanımında belirli bir artış olduğunu göstermiştir [Ünal vd., 2003].

Mermerin gerek üretimi sürecinde gerekse işleme tesislerinde işlenmesi sürecinde açığa çıkan in boyutlu parça mermer atıkları, belirli bir boyuta kırıldıktan sonra farklı kullanım alanları bulabilmektedir. Bunlar beton ve asfalt karışımlarda agrega, yol zemini ve baraj inşaatlarında dolgu malzemesi, suni mermer plağı, karosiman ve bir mermer süsleme sanatı olarak antik taş yapımında kullanılmaktadır. Betonda basınç dayanımını belirleyen önemli özelliklerden birisi de agregaların özellikleridir [Şentürk, 1996]. Mermer kökenli agregaların aşınma ve dane dayanımlarının düşük olmasının bilinmesine karşın belirli beton sınıflarında mermer kökenli agregalar kullanılabilir. Özellikle mermer ocaklarında açığa çıkan mermer parça atıklarının agrega olarak değerlendirilmesi ile ilgili özel girişim örnekleri Afyon çevresinde görülmektedir. Bu sayede doğal kaynakların korunması sağlandığı gibi aynı zamanda atık azaltılması ve faydalanılması gerçekleştirilmiş olur.

Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan malzemenin % 90 dan fazlasını agregalar teşkil eder. Bu nedenle yol dizayn hayatı boyunca agregalar büyük rol oynarlar. Farklı yol katmanlarında farklı agrega özellikleri aranır. Yollardaki aşınma tabakası (en üst tabaka) yol güvenliği açısından en önemli parametrelerden birini oluşturur. Yolun servis süresini güvenli bir şekilde tamamlaması için, kullanılan agregaların sürtünme katsayılarının yüksek olması ve servis ömrü boyunca cıalanmaya karşı yüksek dayanım göstermesi istenir. Bunu sağlamak için asfalt karışımlarda kullanılan agregaların yüksek dayanımlı olması en çok arzu edilen özelliklerdendir. Bununla beraber ülkemizde bol miktarda bulunan kalker türü mineraller (bir tür mermer) yüzey kayma tabakasında kullanılmaktadır. [Akbulut & Gürer, 2003]. Cıalanma direncinin düşük olmasından dolayı sürtünme tabakasında kullanılması şartnamelerle sınırlansa da asfalt kaplamalardaki bir alt tabaka olan binder tabakasında kullanılabilir. Özellikle ağır trafiğe maruz olmayan şehir içi yollarda, köy yollarında kullanılması suretiyle

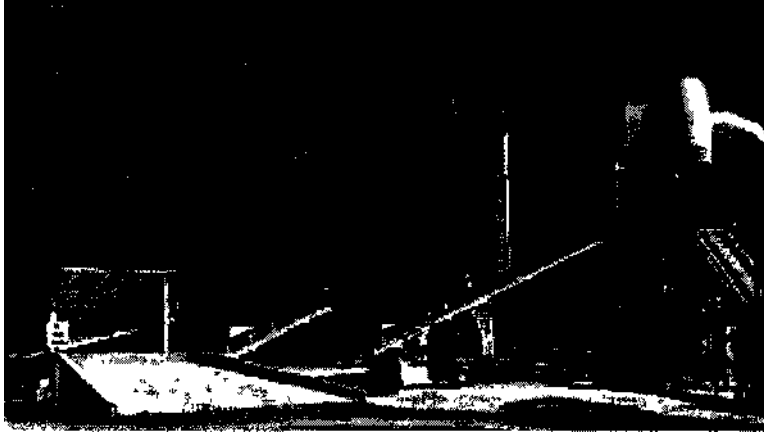
mermer parça atıklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi sağlandığı gibi ekonomik bir agrega kaynağı da elde edilmiş olacaktır.

### 2.3 Asfalt 'ta Geri Dönüşüm

Ne yazık ki ülkemizde şu an için yaygın olarak kullanılmayan fakat Avrupa'daki birçok ülkede ve Amerika'da sıkça kullanılan geri dönüşüm uygulamalarından birisi de asfalt geri dönüşümüdür. Son yıllarda petrol ürünlerin fiyatındaki büyük artış, kaliteli agrega temininin güç olması asfalt kaplamalardaki malzemelerin

yeniden değerlendirilmesine olan ilgiyi oldukça arttırmıştır. Bu uygulamanın önemli bir avantajı da yeni kaplamalarda özellikle şehir içi yollarda büyük problem olan kot artmalarını engellemesidir.

Geri dönüşüm işlemleri kaplamanın kazınıp santrale götürüldükten sonra, yeniden işlemde geçirilip tekrar kaplama malzemesi haline dönüştürülmesiyle veya aynı sıcak veya soğuk karışım asfalttaki gibi özel ekipmanlar kullanmak suretiyle, yerinde kaplamayı kazıma, gençleştirme ve yeniden kaplamanın serilmesi şeklinde gerçekleştirilir.



Şekil 3. Bir Asfalt Geri Dönüşüm Santrali.

Eski kaplamaların ıslah edilmesinde iki ana yöntem kullanılır. Yaygın yöntem, kaplamanın kesici dişli buldozer ekipmanı ile veya beko ile kırılması ve asfalt santraline taşınarak 38 mm veya daha küçük boyutlara sahip granüleT malzeme haline dönüştürülmesidir. Bununla birlikte yerinde öğütme metodu daha üstün bulunur. Eski kaplama uygun derinlikte kazınarak istenen boyuta düşürülür. Kazıma derinliği şartnamelerin müsaade ettiği sınırlara göre, verilmesi gereken enine eğime göre değişiklik gösterir, böylece teker izi ve diğer kaplama hasarlarına karşı önlem alınmış olunur. [Atkms & Harold, 1997].

Genellikle asfalt geri dönüşüm santrallerinde % 70 oranında geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak

üretim yapılır. Yani agrega hızlı bir şekilde ısıtıldıktan sonra, geri dönüştürülmüş malzeme yeni malzemeye yan yana bir oranda eklenerek sıcak gazlarla tekrar ısıtılır. Farklı bir tankta yeni asfalt eklemek suretiyle karışım tamamlanır. Sonuçta elde edilen karışım asfalt çimentosunun kalite açısından orijinale yakın olmalıdır. Şekil 3'de bir asfalt geri dönüşüm santrali görülmektedir. Santralde kanşınlmış geri dönüşüm asfaltlarda aynı yeni asfalt betonu gibi Marshall ve Hveen kanşım dizayn metodlan uygulanır. Yaklaşık % 4-1,5 oranında yeni asfalta ihtiyaç vardır. Buda yeni malzeme açısından % 4-7 arasında tasarruf anlamına gelmektedir. Yeni asfalt, AC 10 (pen 85-100) yerine AC 5 (pen 120-150) gibi, eskisine nazaran daha yumuşaktır.



Şekil 4. Yerinde Asfalt Geri Dönüşüm Ekipmanları (Tren Operasyonu).

Yerinde asfalt geri dönüşüm uygulaması; yerinde sıcak karışım, yerinde soğuk karışım olmak üzere ikiye ayrılır, fakat uygulama çok küçük farklar dışında benzerlik gösterir. Sıcak karışımda eski asfaltta yumuşatma yapılırken soğuk karışımda eski asfaltta doğrudan yumuşatma yapılmaz. Yerinde sıcak karışımda sırasıyla şu işlemler yapılır:

- Eski kaplama enfraruj ısıtma yöntemi ile ısıtılır.
- Isıtma işleminden sonra 25-50 mm arasında değişen derinliklerde kazıma yapılır.
- Malzeme miksere yerleştirilerek yeniden gençleştirici maddeler (asfalt emülsiyonu, hafif yağ v.b.) eklenir, karışım istenen kıvama eriştikten sonra serme ve sıkıştırma işlemleri yapılır. Yeni malzemeye istenirse işlenmemiş malzemede eklenebilir.

Yerinde geri dönüştürülmüş kaplama daha sonra istenirse yeni bir sürtünme tabakası ile kaplanarak, emülsiyondan sonra küre bırakılır. Bu yöntemle üretilen kaplamalar oldukça ekonomiktir ve bu yöntem yansıma çatlaklarına karşı dirençli bir rehabilitasyon yöntemidir. Yöntemin uygulaması esnasında trafik kesintisi çok az sürer ve sıkıştırma işleminden 1 saat sonra yol trafiğe açılabilir. Bununla birlikte bu yöntem hafif trafik hacimli yollar için önerilir. Şekil 4'de yerinde asfalt geri dönüşüm ekipmanlarının şematik çalışma düzeni görülmektedir. Yerinde geri dönüşüm metodu, karışım dizayn metodları kadar yaygın değildir, bununla birlikte kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

#### 2.4 Ahşap'da Geri Dönüşüm İmkanları

Ahşap en eski yapı malzemelerinden biridir. İnşaatlarda kullanılan malzemeler arasında kaynağı yenilenebilen tek malzemedir. Betonarmenin bulunmasının ardından önemini büyük ölçüde yitirmiş olan bu malzeme (en azından Türkiye'de), şimdilerde betonarme elemanlarının oluşturulmasında geçici işler dediğimiz kalıplıkta

kullanılmaktadır. Betonarme inşaat maliyetinin %70'i kalıplara gitmektedir. Ülkemizde kalıp sistemi olarak geleneksel kalıplar ağır bastığından ahşap tüketimi bir kat daha artmaktadır; çünkü geleneksel kalıp sisteminde kullanılan çam kerestelerde düz tahtanın ömrü ortalama üç, kadronların kullanımı ise beştir [Kürkü & Ergün, 2001].

Betona kalıplık yapma görevini tamamlayan tahtalar daha sonra yakacak olarak kullanılmaktadır. Yani bu atık malzemeyi değerlendirme de geri dönüşüm değil, geri kazanım yöntemi uygulanmaktadır. Peki ülkemizde kullanılan bu geri kazanım yöntemi ile ne kadar bir kazanç sağlanmaktadır? Geleneksel olarak uygulanan üç tane taşın üzerine oturtulmuş tencere gibi bir şekil düşünülecek olursa o şartlar altında yakılmakta olan odunun enerjisinin ancak yüzde onundan yararlanılır. Bunun yanı sıra karbon monoksit, parçacıklar ve kansere neden olan çeşitli maddeler açığa çıkmaktadır. Geri kazanım yönteminin daha gelişmiş yöntemi Avrupa'da uygulamaya geçmiştir. 1994 yılı kışında Finlandiya'daki Ahlstrom mühendislik firması ile Sydkraft adlı İsveç Elektrik Kurumu İsveç'in güneyindeki Varnamo Kasabası'nda yeni bir ısıtma tesisini devreye sokuyorlardı. Burada en son jet teknolojisi kullanılmakla beraber enerji kaynağı olarak yarım milyon seneden beri mevcut bir olanaktan yararlanılmaktaydı. Odun Varnamo tesisinde odun gaz haline getirilip bir jet motorunda yakılmakta ve böylece 6 megavatlık elektrik ve şehrin merkezi ısınması için 9 megavatlık enerji meydana getirilmekteydi. Bu sayede odunun içindeki enerjinin yüzde sekseni binaların ısıtılması, aydınlatılması ve motorların çalışması için kullanılmakta ve bu arada atmosfere hiç kükürt salınmamakta ve çıkan karbondioksit, kesilen ağaçların yerine ekilenlerin geri alabilecekleri kadar olmaktadır.

Varnamo tesisi, en eski enerji kaynağını yirminci yüzyıla taşıyan yeni teknoloji kuşaklarının bir ürünüydü. Makine Mühendisliği, biyoteknoloji ve

ormancılık değişik bitkilerden sıvı ve gaz yakıt olarak yararlanma olanaklarını ekonomik bir biçimde sağlamakta ve buradan da elektrik elde edilmekteydi. Biyokütle enerjisi teorik bir potansiyele sahipse de, pratikte ne kadar başarılı sonuçlar vereceği belirsizdir. Bazı uzmanlar dünya üzerindeki tarımsal ve ormansal kaynaklar sayesinde biyokütlenin yirmi birinci yüzyılın enerji ekonomisinin temelini oluşturacağını ileri sürmektedir. 1992 yılındaki Çevre ve Kalkınma Konferansı (Conference on Environment and Development) için Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanmış bir çalışma özellikle bu amaca dönük bir şekilde yetiştirilmiş bitkiler sayesinde 2050 yılı civarında bugünkü dünya enerji gereksiminin %55'i kadarının karşılanabileceğini ortaya koymuştur. Buna benzer vizyonların gerçekleşmesi tarım yapılacak arazinin, suyun ve gübrelerin sağlanabilmesine bağlıdır. Önümüzdeki senelerde ise bu konularda sıkıntılar yaşanmasının beklendiğini unutmamak gerekir [Flavin & Lenssen, 1996].

Avrupa Birliği'nin yeni belirlemiş olduğu hedefler ve tanımlardan yola çıkarak doğru uygulandığında geri kazanımın iyi bir yöntem olduğu gözükse de, en iyi geri kazanımın geri dönüşüm olduğu da belirtiliyor. Bu sebeple inşaatta kullanılan ahşapların yeniden değerlendirilmesinde geri dönüşüm yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir. Bu noktada akla ilk gelende kağıt ve karton üretimidir. Bildiğiniz üzere kağıt hammaddesi olan selüloz üretimi proses gereği kimyasal bir üretimdir. Bu nedenle kullanılmış ahşap kalıpların kullanımı üzerlerindeki beton artıklarından arındırılmak kaydıyla inşaatlarda kullanılan tahta kalıplardan kağıt üretilebileceği düşünülebilir. Kavak ağacı, eski kağıtlar, paçavralar ve buğday, arpa, ay çekirdeği sapı gibi yıllık bitkiler bile kağıt üretiminde kullanıldıktan sonra kalıp tahtası niçin kullanılmasın? Üretilen kağıt, kullanılan odunun kalitesiyle yakından ilgili olduğu için, inşaat kalıplarındaki ahşap malzemenin niteliği üretilecek kağıdın niteliğini derinden etkileyecektir. Ancak, bu konuda öğrenmemiz gereken bir şey var. Beton üretiminde kullanılan malzemeler tahtanın kimyasal yapısını (lif özelliklerini) olumsuz etkiler mi? Bu konuda araştırmalar yapılmalı ve verimlilik noktasında en etkili yöntem hayata geçirilmelidir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

- Kaynaklarımızın sınırlı olduğu dünyamızda geri dönüşüm uygulamalarının özellikle inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olduğu unutulmamalıdır.
- Dünyadaki en büyük hammadde ihtiyacı olan sanayilerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Dolayısıyla geri dönüşümden; enerji, hammadde tüketilmesinin azaltılması, atık sınırlanması ve faydalanılması bakımından en büyük oranda yarar sağlanacak sektör inşaat sektörüdür.
- Meydana gelen atık bakımından hammaddenin en hor kullanıldığı inşaat sanayilerinden birisi mermercilik sektörüdür. Mermer atıkları etkin bir şekilde inşaat sanayisinde değerlendirilerek ekonomik olarak geri kazanılmak ve çevresel zararları azaltılmalıdır.
- Ülkemizde beton kaplamaların yollarda henüz yaygın bir şekilde uygulama bulmamasına karşın, bu tür rijit kaplamaların kullanıldığı ülkelerde beton agrega geri dönüşüm (RCA) uygulamaları çok sık kullanılmaktadır. Elde edilen ekonomik kazanç ve hammadde miktarı düşünüldüğünde bu tür kaplamaların ülkemizde de kullanılmaya başlanmasıyla beton agrega geri dönüşümü gündemdeki konulardan biri olacaktır.
- Ülkemizde yaygın olarak uygulanmayan fakat dünya'da en çok geri dönüşümü yapılan malzemelerin başında yer alan asfalt malzemesi bizim gibi petrol ürünlerinin çok pahalı olduğu ve şehir içi yol kaplamalarının % 100'ü asfalt kaplama olan ülkelerdeki yerel yönetimler tarafından hızla uygulamaya geçilmesi gereken bir geri dönüşüm yöntemidir.
- İnşaatlarda kullanılan ahşap malzemeler alternatif malzemelerle kıyaslanıp karlı ve uzun ömürlü olanları tercih edilmelidir.
- Ülkemizde orman gençleştirme politikalarının yetersizliği ve bunun yanı sıra orman vasfını yitirmiş arazilerin satışı konusundaki çalışmalar; mevcut kaynakların plansız kullanılması ülke geleceği için ciddi sıkıntılar doğuracaktır.
- İnşaat sanayindeki atık ve artık konulan iyi değerlendirilmeli ve bunların verdiği ekonomik ve çevresel kayıplar en aza indirilmeye çalışılmalıdır.



## KAYNAKLAR

- ÇEVKO, Kadıköy İstanbul, Entegre Atık Yönetimi Ve Gen Kazanım, Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı, Cenap Sahabettin Sokak No 94 Koşuyolu.
- Akbulut, H. & Güner, C., 3 Haziran 2003. *Recycle-Geri Dönüşüm*, 5 Haziran Dünya Çevre Günü Etkinlikleri, Afyon Ticaret ve Sanayi Odası, Afyon, Türkiye.
- Akbulut, H. & Güner, C., 2003. *Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım imkanları*, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık 2003, Afyon
- Sagoe-Crentsil, K. & Brown, T., 1998. *Guide for Specification of Recycled Concrete Aggregates (RCA) for Concrete Production-Final Report*, CSIRO, Building, Construction and Engineering, Victoria, Australia.
- Little, N.D. & Epps, J.A., 2001. *The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt*, National Lime Association, USA
- Terzi, S. & Kardeşahin, M., 2003. *Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt 14, Sayı 2.
- Çetin, A. & Tuncan, M., 1997. *Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. & Sanışık, A., 1996. *Mermer Teknolojisi*, S.D.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İsparta
- Zorluer, İ. & Usta, M., 2003. *Zemimlerin Atık Mermer Tozu ile iyileştirilmesi*, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 18-19 Aralık 2003, Afyon
- Okagbue, CO. & Onyeobi, T.U.S., 1999. *Potensial of marble dust to Stabilise Red Tropical Soils For Road Construction*, Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:53, pp 371-380.
- Ünal, O., Demir, İ. & Ergün, A., 2003. *Mermer Tozu (Havuz Çökeltisi) Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması*, AKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri
- Atkins, Harold, N., 1997, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio, *Highway Materials, Soils and Concretes*, Third Edition, ISBN: 0-13-212862-4, Prentice Hall.
- Kürklü, G. & Akbulut, H., 2004. *Tüm Yönleriyle Beton ve Betonarme Kalıpları*, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Flavin, C. & Lenssen, N., 1996. *Enerjide Arayışlar*, TEMA Vakfı Yayını No: 12.
- Tunç, A., 2001. *Yol Malzemeleri ve Uygulamaları*, Atlas Yayınevi, ISBN:975-6574-003, Temmuz 2001, İstanbul.
- web site, [www.agc.org](http://www.agc.org)
- web site, [www.matbaaturk.org](http://www.matbaaturk.org)