

Betonun Yaşam Döngüsü Sürecinde Çevresel Etkilerini Azaltan Yaklaşımlar

Tülay Tıkansak KARADAYI

tesin@gtu.edu.tr

Nilay COŞGUN*

nilaycosgun@gtu.edu.tr

Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, 41400 Gebze / Kocaeli

Özet

Yapıların çevresel etkilerini azaltan stratejilerin en önemlisi yapı malzemesiyle ilgili olanlardır. Çünkü yapıda bir çok görevi üstlenen yapı malzemeleri, kendi ekolojik özellikleriyle de onu çok yönlü etkilemektedir. Bunun için tasarımın başında, yapı malzemesi seçimi ile ilgili çevresel özellikleri de gözeten doğru kararların alınması önemli olmaktadır. Beton günümüzde küresel ve bölgesel olarak en çok kullanılan yapı malzemesidir. Dolayısıyla sahip olduğu özelliklerini kullandıkları yapıların büyük çoğunluğuna yansıtarak toplam çevresel etki seviyesini de belirlemektedir. Bu nedenle özellikle yaygın kullanılan bir yapı malzemesi olması, betonun ekolojik özelliklerinin artırılmasını daha da önemli hale getirmektedir. Bu çalışmada betonun, yaşam döngüsü aşamaları ekolojik yapı malzemesi kriterleri açısından değerlendirilerek çevresel bir analizi yapılmaktadır. Çalışmanın amacı, bu aşamalarda görülen olumsuzlukları önleyecek/azaltacak çözümleri irdelemektir. Elde edilen sonuçların betonun kullanıldığı yapıların daha çevresel/ekolojik/sürdürülebilir özelliklere sahip olmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Beton, yaşam döngüsü, çevresel etki

Approaches on Reducing the Environmental Impacts of Concrete Life Cycle Process

Tülay Tıkansak KARADAYI

tesin@gtu.edu.tr

Nilay COŞGUN*

nilaycosgun@gtu.edu.tr

Gebze Technical University, Faculty of Architecture, 41400 Gebze / Kocaeli

Abstract

The most important of the strategies that reduce the environmental impact of buildings are those related to building materials. Because the building materials, which undertake many tasks in the building, affect them in a versatile way with their ecological characteristics. For that reason, it is important to make the right decisions at the beginning of the design, considering the environmental properties of the building material selection. Concrete is the most widely used building material globally and regionally today. Therefore, it also determines the total environmental impact level by reflecting its properties to the majority of the buildings in which they are used. For this reason, the fact that it is a widely used building material makes it even more important to increase the ecological properties of concrete. In this study, an environmental analysis of concrete is made by evaluating the life cycle stages in terms of ecological building material criteria. The aim of the study is to examine the solutions that will prevent/reduce the negativities seen in these stages. It is thought that the results obtained can contribute to the buildings where concrete is used to have more environmental/ecological/sustainable features.

Keywords: Concrete, life cycle, environmental impact

1. Giriş

Günümüzde yaşanan çevre sorunlarının oluşumunda yapılaşma faaliyetlerinin de önemli bir payı vardır. Ancak, yapıların çevresel etkilerinin azaltılmasıyla bu payın azaltılması mümkün olmaktadır. Bunun için çevresel etkiyi azaltacak stratejilerin bilinmesi ve uygulanması gerekmektedir. Bu stratejilerin belki de en önemlisi yapı malzemesiyle ilgili olanlardır. Çünkü yapıda bir çok görevi üstlenen yapı malzemeleri, kendi ekolojik özellikleriyle de onu çok yönlü etkilemektedir. Bunun için tasarım sürecinin başında, yapı malzemesi seçimi ile ilgili çevresel özellikleri de gözeten doğru kararların alınması önemli olmaktadır.

Beton günümüzde küresel ve bölgesel olarak en çok kullanılan yapı malzemesidir. Dolayısıyla sahip olduğu özelliklerini, yapıların büyük çoğunluğuna yansıtarak toplam çevresel etki seviyesini de belirlemektedir 2013 verilerine göre dünyada ve Avrupa Hazır Beton Birliği'ne (ERMCO) üye ülkelerde hazır beton üretimi miktarı 722,40 milyon m³ olarak açıklanmıştır [URL-1]. Bu nedenle özellikle yaygın kullanılan bir yapı malzemesi olması, betonun ekolojik özelliklerinin artırılmasını daha da önemli hale getirmektedir. Yapı malzemelerinin çevresel özelliklerini iyileştirmek için öncelikle yaşam döngüleri sürecinde çevre üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi (Life Cycle Assessment), daha sonra da elde edilen sonuçlara göre olumsuzları giderecek/azaltacak çözümlerin üretilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada; betonun, hammaddesinin doğadan elde edilmesinden başlayıp geri kazanım aşamasına kadar süren yaşam döngüsü aşamaları, doğal kaynak korunumu, enerji ve su etkinliği, atık üretimi-kirlilikler, çevre ve insan sağlığının korunması gibi *ekolojik yapı malzemesi kriterleri* açısından değerlendirilerek çevresel bir analizi yapılmaktadır. Çalışmanın amacı, bu aşamalarda olumsuzlukları önleyecek/azaltacak çözümlerin üretilmesidir. Elde edilen sonuçların, yaygın olarak kullanılan betonun, dolayısıyla bu malzemenin kullanıldığı yapıların daha çevresel/ekolojik/sürdürülebilir özelliklere sahip olmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

2. Ekolojik Yapı Malzeme Kriterleri

Çevresel etkisi az ekolojik yapı malzemelerinin özellikleri aşağıda özet halinde sunulmaktadır. Bu özellikler, çalışmada betonun çevresel açıdan değerlendirilmesinde kriter olarak kullanılacaktır (Tablo 1).

Doğal kaynakların korunması

Yapı malzemeleri, üretimlerinde dönüştürülmüş maddeler kullanılmasıyla, yeniden kullanılabilir, dönüştürülebilir ve dayanıklı olmalarıyla, doğal kaynak tüketimini azaltılmasını ve kaynak korunmasını sağlamaktadırlar. Bu şekilde aynı zamanda enerji korunumu ve zararlı atık azaltılması da gerçekleşmektedir.

- Malzemenin dönüştürülmüş içerikli olması: Üretiminde dönüştürülmüş içerik kullanılması ekolojik yapı malzemelerinin önemli özelliklerindedir [Wilson, 2002]. Ancak, dönüştürülmüş içerik miktarıyla ilgili kesin bir oran belirlenmemişse de, bu miktarın arttığı oranda yapı malzemesinin ekolojik olarak değerlendirileceği açıktır. Bu şekilde, çeşitli atıklar yeni bir doğal kaynak olarak kabul edilip değerlendirildiği için kaynak korunumu sağlanmakta ve atıkların neden olduğu kirlilikler azalmaktadır.

- Malzemenin kolay dönüşebilir olması: Bir yapı malzemesi veya elemanın kullanım ömrü sona erdiğinde, bazı işlemlerden sonra tekrar yeni bir malzeme üretiminde hammadde olarak kullanılması, önemli çevresel ve ekonomik yararlar sağlamaktadır. Bu şekilde, yeni kaynak kullanımı önlenmesi gibi atık halinin ortadan kalkmasıyla kirlilikler de azalmıştır. Ancak bu tür yapı malzemelerinin yenilerine göre daha az dayanıklı ve az ömürlü olabileceği de göz önüne alınmalıdır. Dönüştürülmeleri sonucunda sağlanan enerji korunum oranı, yapı malzemesi türüne göre değişik değerlerde olabilir. Örneğin, en büyük orana enerji kullanımının % 80 azaldığı dönüştürülmüş alüminyum sahiptir. Dönüştürülmüş çelik %40, dönüştürülmüş ahşap ise %7 enerji tasarrufu sağlamaktadır [Gao vd., 2001].

- **Malzemenin yeniden kullanılabilir olması:** Bir yapıda yeni bir malzeme yerine, daha önce kullanılmış, fakat özelliklerinden fazla bir şey kaybetmemiş malzemenin kullanılmasıyla önemli ölçüde doğal kaynak ve enerji tasarrufu sağlanmış olmaktadır. Dolayısıyla bir yapı malzemesi veya elemanının yapılarda fazla bir işlem görmeden yeniden kullanılması ona önemli bir ekolojik özellik sağlamaktadır.

- **Malzemenin dayanıklı olması/az bakım onarım gerektirmesi:** Bu tür malzemeler çevresel açıdan olumlu olarak kabul edilirler. Çünkü daha az bakım ve yenilenme dolayısıyla daha az kaynak tüketimi demektir.

- **Malzemenin hızlı yenilenebilir kaynak-
tan elde edilmesi:** Bir malzemenin üretiminde hammadde olarak hızlı yenilenebilir kaynakların kullanılması, onun ekolojik olarak nitelendirmesinde göz önüne alınmaktadır. Sınırlı ve yenilenemeyen kaynakların yerine bu tür kaynakların kullanılması kaynak tüketimi sorunu için etkili bir çözüm olmaktadır.

- **Suyu etkin kullanması:** Bazı malzemele-
rinin üretimi sırasında önemli miktarda su tüketilmekte ve/veya su kaynakları kirletilmektedir. Yapı malzemelerinin üretiminde önemli bir doğal kaynak olan suyun da verimli kullanılması önemlidir.

Enerjinin korunması

Yapı malzemelerinin üretiminden kullanımına kadar enerjinin her aşamada etkin kullanılması veya kullanım sırasındaki işleviyle bunun sağlanması, malzemenin ekolojik olarak değerlendirilmesinde önemli bir kriter olmaktadır. Bu

durum aynı zamanda malzemenin kullanıldığı yapının enerji etkinliğini de önemli ölçüde belirlemekte, bunun için de öncelikle yapı malzemesinin kendi üretim sürecinin enerji etkin olması gerekmektedir [Tiwari, 2001].

Bir yapı malzemesinin üretimi aşamasında çok fazla enerji tüketiliyorsa ekolojik yönden olumsuz olarak değerlendirilmektedir. Genel olarak doğal ve basit işlemlerle üretilen yapı malzeme ve elemanları az enerji tüketmektedirler. Bu durumun çevreye daha az zararlı madde yayması başta olmak üzere birçok çevresel ve ekonomik yararı olmaktadır. Bir malzemenin hammaddesinin üretim alanına, yapı malzemesi olarak üretildikten sonra da yapı alanına taşınması için kullanılan enerji miktarı da onun enerji etkinliğini belirlemektedir. Bu nedenle, yapı malzemesi diğer ekolojik kriterlere uygun olsa bile, çok uzak mesafelerden taşınması malzemenin enerji etkinliğini olumsuz etkilemektedir.

Çevre ve insan sağlığına zarar vermemesi

Yapı malzemeleri yaşam döngüsü aşamalarının herhangi bir bölümünde (üretim, kullanım, yok ediliş vs.) buldukları ortama yaydıkları zararlı emisyonlar ve katı atıklar nedeniyle kirliliklere neden olmaktadır. Bu, insan sağlığı ve çevre sağlığı için istenmeyen bir durumdur. Bir çok yapı malzemesi, bazı yönlerden ekolojik sayılsalar bile bu özellikleri nedeniyle de olumsuz bir durum yaratırlar. Örneğin birçok çevresel yarar sağlayan bazı malzemelerin aynı zamanda ozon tabakasını tüketen HCFCs (Hidrokloroflorokarbonları) ve insan sağlığı için zararlı VOCs (Uçucu Organik Bileşikleri) yaydıkları bilinmektedir.

Tablo 1. Ekolojik yapı malzemeleri özellikleri

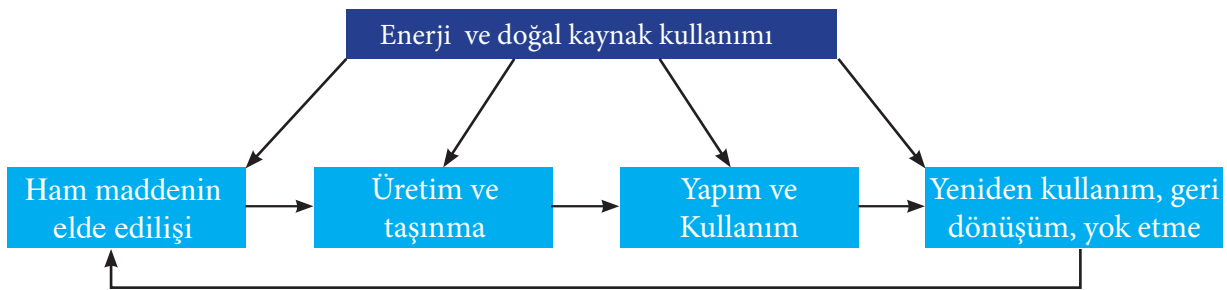
Doğal kaynakları korunması	Dönüştürülmüş içerikli olması Kolay dönüştürülebilir olması Yeniden kullanılabilir olması Dayanıklı olması Hızlı yenilenebilir kaynaktan elde edilmesi Suyu verimli kullanması
Enerjinin korunması	Enerjinin etkin kullanılması Doğal ve basit işlemlerle üretilmesi Yerel malzeme olması
Çevre ve insan sağlığına zarar vermemesi	Atıklara/Kirliliklere neden olmaması

3. Betonun Yaşam Döngüsü Çevresel Etki Analizi

Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi (YDD), bir ürünün hammaddesinin elde edilmesinden başlayıp üretimi, nakliyesi, kullanımı, atık haline gelmesi veya geri kazanılmasını kapsayan bütün aşamalarda çevresel değerler üzerinde oluşan etkilerin analiz edilmesidir. Yapı malzemelerinin yaşam döngüleri boyunca çevre üzerinde oluşturdukları etkileri analiz etmek ve değerlendirmede yapı malzeme hammaddesinin elde edilişi, yapı malzeme üretim süreci, ambalajla-

ma, taşınma, kullanım sırasında bakım-onarım, atık yok edilmesi ve geri dönüşümü kapsayan her aşama için yapılmalıdır.

Yapı malzeme ve elemanlarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yaşam döngüleri boyunca doğal kaynak kullanımı, enerji kullanımı, atık ve zararlı kimyasallar üretmesi gibi nedenlerle olmaktadır (Şekil 1). Betonun yaşam döngüsü çevresel etkisi önceki bölümde verilen ekolojik yapı malzemesi kriterleri açısından değerlendirilerek aşağıda sunulmaktadır;



Şekil 1. Yapı malzemesi yaşam döngüsünde enerji ve doğal kaynak kullanımı

- Hammaddenin doğadan elde edilmesi Worldwatch Enstitüsü verilerine göre yapılaşma faaliyetleri her yıl küresel olarak kullanılan taş, çakıl ve kumun % 40'ını tüketmektedir [Roodman ve Lenssen, 1995]. Beton bileşimini yaklaşık %34 oranında ince agrega, %48 oranında iri agrega, %12 oranında çimento ve %6-12 oranında su oluşturmaktadır. Bunların doğadaki kaynaklarından çıkarılışları sırasında, kullanılan yöntemlere bağlı olarak, bitki ve hayvan yaşam alanlarının yok olması, topoğrafik değişiklik, erozyon, toz emisyonları, gürültü, görüntü kirliliği, su tüketimi ve kirliliği gibi olumsuzluklar meydana gelmektedir [Willis, 1998]. Taş ocaklarında uygun olmayan yöntemlerle yapılan üretimlerde 20 m'den 200 m'ye kadar varabilen yükseklikte aynalar oluştuğu ve doğal yapının bozulması yanında iş güvenliği açısından da sakıncalı durumlar ortaya çıktığı bilinmektedir. Agreganın kayalardan elde edilmesi durumunda ise, kırma işlemi için enerji tüketilmektedir. Ayrıca, bazı kayaların radon gazı içerme tehlikesi olduğundan, bu tür agregaların kullanıldığı betonun insan sağlığına etkileri ile ilgili endişeler bulunmaktadır. Agregası ve kum

akarsu yataklarından elde edilirlerken akarsu tabanında sınırlar değişmekte ve yine yaşam alanları olumsuz etkilenmektedir. Hammaddelerin elde edilmesi sırasında kullanılan ekipmanların tükettikleri enerji ile de olumsuz çevresel etki oluşmaktadır.

- Betonun üretim aşaması Betonun üretim aşamasındaki çevresel kaygılar ise üretim yöntemine göre değişmektedir. Dünyada ve ülkemizde gittikçe yaygınlaşan hazır beton üretimi, birçok yönden geleneksel yöntemle üretilen betona göre üstünlükleri olmakla birlikte, gerekli önlemler alınmadığında çevresel açıdan olumsuz durumlar yaratabilmektedir. Hazır beton üretim aşamalarında en büyük çevresel kaygı su tüketimi ve su kirliliğidir. Transmikserlerin ve tesis alanının yıkanması ile oluşan atık suların denetimi kirliliğin azaltılması açısından önemlidir. Yıkama alanlarında her gün bir aracın yıkanması için yaklaşık 2.273 lt su tüketilmekte ve yıkama suyunun alkanite seviyesi pH12 den daha yüksek olabilmektedir [URL-2]. Toz emisyonları, katı atık oluşumu ve enerji gereksinimi de hazır beton üretiminde çevresel sorun

olarak görülmektedir. Günümüzde insan kaynaklı CO₂ salınımının %5'inin betonun önemli bileşenlerinden çimento üretiminden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu durum betonun üretim sürecindeki karbon ayak izinin de artmasına neden olmaktadır. 2014 yılı itibariyle dünyada yıllık çimento üretiminin 4,3 milyar ton olduğu [Köleli, 2015] düşünüldüğünde bu etkinin önemi ortaya çıkmaktadır. Yapılmış bir çalışmaya göre, beton üretimi için tüketilen toplam enerjinin %94'ünün çimento üretiminden kaynaklandığı, bunu %5.9'luk oranla kırma taş üretiminin takip ettiği ifade edilmektedir [URL-2].

•**Yapım aşaması** Hazır betonun üretim aşamasından sonra şantiyeye getirilerek dökümünün gerçekleşmesi aşamasını içerir. Geleneksel beton üretimine kıyasla daha güvenli bir yapım süreci izlenir. Kalıpların hazırlanarak donatıların yerleştirilmesiyle döküm işlemine başlanır. Pompa kullanımı inşaatın yapım hızını da yükselttiğinden ek kazanç getirmektedir. Yapım süresince yoğun bir enerji tüketimi olmamaktadır. Transmikserden pompalar vasıtasıyla kalıplara dökülerek imal edilmekte ve kalıpların çakılmasında insan gücünden yararlanılmaktadır. Su etkinliği açısından kalıplara dökülen betonun karışım suyunu belirli bir süre betonun bünyesinde tutabilmek için genelde iki yöntem uygulanmaktadır. Birincisi betonu sık sık ve devamlı sulama, ıslak çuvallarla örtme, buhar verme, kum, nemli toprak veya saman sererek sürekli ıslatmak gibi önlemlerdir. İkincisi ise mastarı biter bitmez beton yüzeyini piyasadan hazır olarak temin edilebilecek sıvı kür maddeleri ile kaplamaktır. Bu maddeler, püskürtme yoluyla veya fırça ile beton yüzeyine uygulanırlar ve yüzeyde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak beton karışım suyunun kaybolmasına engel olurlar. Yapım sonrasında uygulanan sulama işlemi su sarfiyatını artırmaktadır. Geleneksel sisteme kıyasla hazır beton üretimi çevreye daha az atık bırakmaktadır. Transmikserlerle yapılan döküm sırasında inşaat alanında oluşan artıklar geleneksel yöntem uygulamasına kıyasla çok daha az olmaktadır. Hazır betonun şantiyeye ulaştırılması süresinde araçlara takılan ekolojik kapak

sayesinde etrafa beton sıçraması engellenmiştir. Betonun prizini aldıktan sonra sökülen kalıpların temizlenerek yeniden kullanımına olanak verdiği için atık oluşturmamaktadır.

•**Kullanım / bakım - onarım aşaması** Betonun dayanıklı bir malzeme olması, dolayısıyla kullanımın süresinin de uzun olması çevresel etkiyi azaltmaktadır. Betonun dayanıklılığın-dan dolayı kullanım ömrünün uzun olması nedeniyle fazla bakım - onarım gerektirmektedir. Bu durum, beton malzemeyi kaynak etkin hale getirmektedir. Betonun inşaat sektöründe kullanımının yoğunluğu göz önüne alındığında bakım ve onarımına ihtiyaç olması ve dayanıklılığı önemli ekolojik özellik sağlamaktadır.

•**Yıkım ve geri kazanım aşaması** Betonun kullanıldığı yapıların yıkımı esnasında etrafa saçılan toz emisyonları çevre kirliliği oluşturmaktadır. Prizini tamamlamış betonun yeniden kullanımı mümkün olmadığı için geri dönüştürülerek çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Ancak geri dönüştürülme işlemi için de enerji kullanımı gerekmekte ve buna bağlı olarak çevresel etki oluşmaktadır.

4. Sonuç: Betonun Çevresel Etkisini Azaltan Yaklaşımlar

Betonun dayanıklı bir malzeme olması, kullanım sürecinde fazla bakım onarım gerektirmemesi, ona ekolojik bir özellik kazandırmaktadır. Ancak yaşam döngüsünün bütün aşamalarında değişik seviyelerde doğal kaynak ve enerji tüketmesi, emisyon ve katı atık üretmesi çevresel bir etki oluşturmaktadır. Çevre ve insan sağlığı için önemli olan bu olumsuz etkinin yok edilmesi/azaltılması alınacak bazı önlemlerle mümkün olmaktadır. Bunun için öncelikle yaşam döngüsünün tüm aşamalarında ortaya çıkan olumsuzluklar ve bunların nedenleri iyi bilinmelidir. Önceki bölümde açıklanan beton yaşam döngüsü sürecinde ortaya çıkan olumsuzluklar için alınabilecek önlemler şöyle sıralanabilir;

• Beton hammaddelerinin doğadan elde edilimleri sırasında yaşam alanlarının zarar görmesini ve biyolojik çeşitliliğinin azalmasını önlemek için daha az zarar verici yön-

temler geliştirilmelidir. Ancak daha etkili bir yöntem ise doğadan alınacak yeni hammadde edinimini azaltarak, üretimde geri kazanılmış içerik kullanılmalıdır. Bu şekilde yaşam alanları korunurken aynı zamanda kaynak korunumu ve kirliliklerin azaltılması gibi önemli çevresel yararlar da sağlanmış olacaktır.

- Beton bileşenlerinin ve betonun üretim süreci yoğun enerji ve doğal kaynak tüketimi, emisyon ve katı atık oluşması nedenleriyle çevresel etkinin en çok olduğu aşamadır. Bu nedenle betonun toplam çevresel etkisinin azaltılmasında bu süreçte alınacak önlemler daha önemli olmaktadır. Beton bileşenlerinden çimentonun enerji yoğun bir üretim sürecine sahip olması betonun üretim sürecini de dolaylı olarak enerji yoğun hale getirmektedir. Bu nedenle, enerji yoğun çimento miktarının azaltılarak yerine uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü gibi sanayi atıklarının kullanılması etkili bir çevresel yaklaşım olmaktadır. Bu şekilde betonun toplam enerji tüketimi azalarak CO₂ emisyon değeri düşmektedir. Üretim aşamasında atık suların dönüştürülerek yeniden kullanılması, yaş beton atıkların başka üretimler için yeniden kullanılması da bu aşamada oluşan çevresel etkiyi azaltmaktadır.

- Betonun dayanıklı ve uzun ömürlü bir malzeme olması ve fazla bakım onarım gerektirmemesi gibi nedenlerle çevresel etkisinin en az olduğu aşama kullanım aşamasıdır. Çünkü betonun uzun süre kullanılması, yeni kaynak tüketimini dolayısıyla da atık üretimini geciktireceği için çok yönlü çevresel yarar-

lar sağlamaktadır. Ancak, bu aşamada beton özelliklerinin iyileştirilerek daha çevresel hale getirilmesi mümkün olmaktadır. Örneğin yapısında titanyum dioksit (TiO₂) bulunan çimentoyla üretilen beton malzeme fotokatalitik etki göstererek kendisine tutulan kirletici maddeleri ışık etkisi altında parçalamaktadır. Bu şekilde beton yüzeylerinin temizlenme gereksinimleri ortadan kalkarak çevresel etki azalmaktadır. Yoğun taşıt trafiğinin olduğu alanlarda bariyerle bu tür betonlar kullanılmasıyla kirlilikler azaltılabilir.

- Yıkım ve geri kazanım aşamalarındaki çevresel etkiyi azaltmak için daha etkin ve yeni yıkım teknolojilerinin araştırılarak kullanılması gerekmektedir. Yıkım sonrası ortaya çıkan ve büyük kirlilikler oluşturan beton atıklarının ise akılcı atık yönetimiyle değerlendirilmesi, yeni bir hammadde şeklinde yeniden kullanılması bu süreçteki çevresel etkiyi azaltmaktadır.

Beton dünyada ve ülkemizde kullanılan en yaygın bir yapı malzemesidir. Bu nedenle betonun yaşam döngüsü boyunca oluşan toplam çevresel etkinin azaltılmasında en etkili yöntem kullanım miktarının azaltılmasıdır. Üretim miktarının azalmasıyla oluşan çevresel etki de doğal olarak azalacaktır. Kullanıldığı yapının güvenliğinden ödün vermeden miktarının azaltılması için daha yüksek basınç dayanımına sahip, taşıyıcı gücü daha fazla beton üretilmesi gerekmektedir. Bu şekilde yapının taşıyıcı elemanları daha küçük kesitlerde tasarlanabilmekte ve gereksinim duyulan beton miktarı azalabilmektedir.

Kaynaklar

- Gao W., Ariyama T., Ojima T., Meier A., (2001). Energy Impacts of Recycling Disassembly Material in Residential Buildings, *Energy and Building*, 33 (6), 553–562.
- Köleli Y., (2015). Çimento sektörü raporu 2015, Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı.
- Roodman DM., Lenssen N., (1995). Worldwatch Paper 124: A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction, *Worldwatch Institute*, March. <http://www.worldwatch.org/bookstore/publication/worldwatch-paper-124-building-revolution-how-ecology-and-health-concerns-are-t> (Erişim tarihi: 23.05.2017).
- Tiwari P., (2001). Energy Efficiency Building Construction in India. *Building and Environment*, 36 (10), 1127–1135.
- URL-1, THBB, 2013-2014 yılı hazır beton sektörü istatistikleri, <http://www.thbb.org/media/74449/2013-2014-hazir-beton-sektoru-verileri22062015.pdf> (Erişim tarihi: 23.05.2017).
- URL-2, BuildingGreen, Cement and Concrete: Environmental Considerations, *EBN*, 2 (2), 1993, www.buildinggreen.com (Erişim tarihi: 23.05.2017).
- Willis AM., (1998). Concrete and not so Concrete Impacts, *Information Ecology EcoDesign Foundation*, <http://www.changedesign.org/Resources/EDFPublications/Articles/Papers/Concrete.pdf> (Erişim tarihi: 23.05.2017).
- Wilson A., (2002). Building Materials: What Makes a Product Green? *Environmental Building News, Special reprint*, 9 (1), <https://www.buildinggreen.com/print/7986> (Erişim tarihi: 23.05.2017).