

# HAZIR BETON YAŞAM DÖNGÜSÜ REHBERİ



*Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınıdır.*



2021





## **HAZIR BETON YAŞAM DÖNGÜSÜ REHBERİ**

### **İLETİŞİM BİLGİLERİ**

Rüzgarlıbahçe Mah. Özalp Sok. No:2 Plaza K Kat: 3  
Kavacık Beykoz / İSTANBUL  
Tel: +90 216 322 96 70 / Faks: +90 216 413 61 80  
[www.thbb.org](http://www.thbb.org) / [info@thbb.org](mailto:info@thbb.org)

**Eylül 2021**

Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) yayınıdır.  
Tüm yayın hakkı THBB'ye aittir.  
Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.  
İzinsiz çoğaltılamaz ve basılamaz.

# İÇERİK

1.YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ .....	4
1.1.Yaşam Döngüsü Analizi (YDA).....	4
1.2.Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE).....	8
1.3.Yaşam Döngüsü Maliyeti (YDM) .....	8
1.4.Yaşam Döngüsü Analizinin Faydaları .....	9
1.5.Yeşil Bina Sertifikasyonu .....	10
1.6.Gömülü Karbon.....	14
1.7.Çevresel Ürün Beyanı (EPD).....	16
2.HAZIR BETON YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ .....	19
2.1. Hazır Beton.....	19
2.2. Hazır Beton ve Sera Etkisi.....	21
2.3. Hazır Beton ve Sürdürülebilirlik .....	24
2.4. Hazır Betonun Sürdürülebilirlik Açısından Faydaları.....	25
2.5. Hazır Beton Yaşam Döngüsü.....	33
2.6. Türkiye Hazır Beton Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Analizi .....	34
2.7. Beton Sürdürülebilirlik Konseyi .....	38
3.AÇIKLAMALI TERİMLER SÖZLÜĞÜ.....	39

# 1. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

## 1.1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)

Günümüzde endüstriler başta olmak üzere birçok işletme; daha çevreci malzemeler, ürünler, süreçler ve hizmetler kapsamında çevre bilinci arttığı için daha az doğal kaynak ve enerji tüketen, daha çok geri dönüştürülebilir, daha dayanıklı, daha düşük karbonlu ve daha az katı atık açığa çıkaran ürünlerle yanıt vermeye çalışmaktadır.

Çevre kirliliğini önlemek için uygun teknikler ve stratejiler kullanan işletmeler, daha düşük çevresel etkilere sahip ürünler tasarlayarak ve üreterek rekabet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca, hükümetler kullanılan ürünlerin ve gerçekleştirilen faaliyetlerin yaşam döngüsü etkilerini dikkate alma ihtiyacını teşvik eden yeni politikalar ve düzenlemeler de oluşturmaktadır.

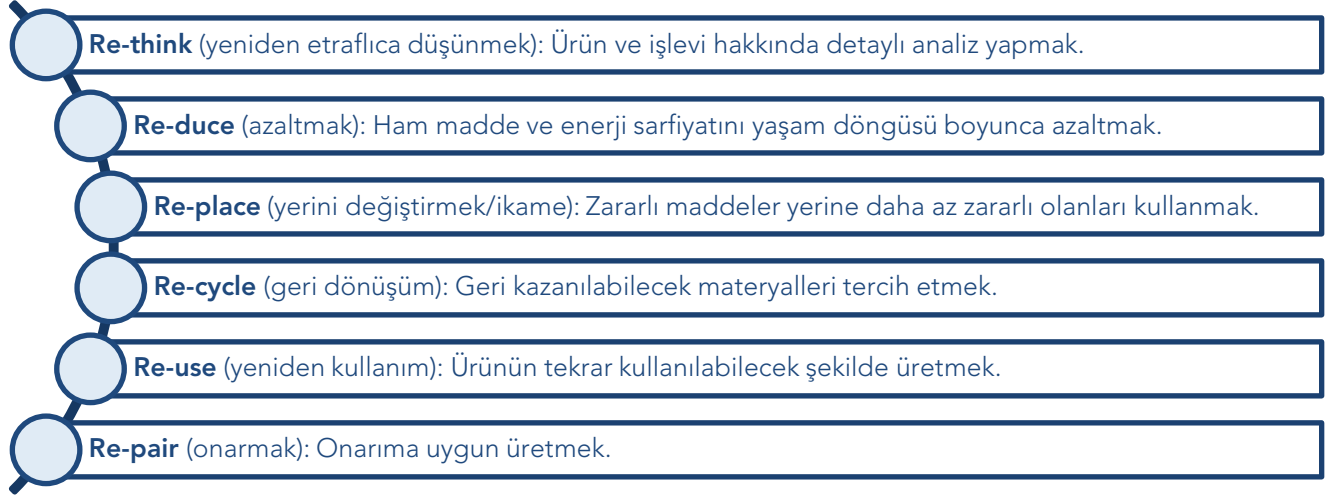
Yaşam döngüsü analizi (YDA ya da LCA), bir ürünün tüm yaşam döngüsüne (beşikten mezara) bütünsel bir bakış açısı getiren çevresel değerlendirme yöntemidir. Son yıllarda YDA aşağıda belirtilen özelliklere sahip bir araç olarak geliştirilmiştir:

- Kullanılan enerji ve malzemeleri ve tüm süreçler kapsamında oluşan emisyon ve açığa çıkan atıkları belirleyip ölçerek bir ürün, süreç veya faaliyetle ilişkili çevresel boyutları ve potansiyel etkileri tanımlamak.
- Kullanılan enerji ve malzemelerin çevre üzerindeki etkisini değerlendirmek ve çevresel iyileştirme fırsatlarının tespit edilip uygulanmasına yardımcı olmak.

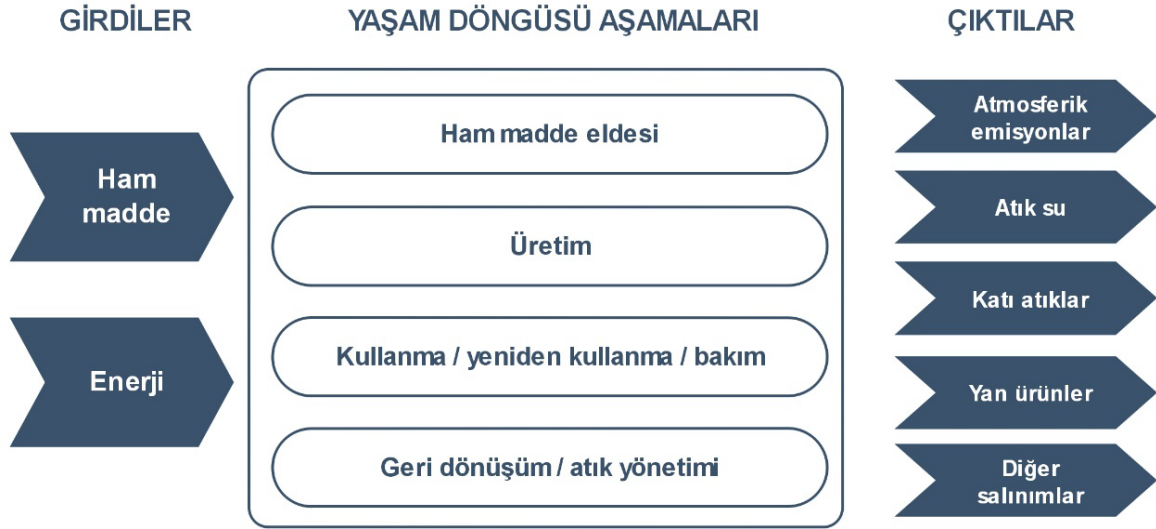
Yaşam döngüsü analizinin temel amaçları:

- Kaynak tüketiminin azaltılması,
- Çevresel salımların (emisyonların) ve dolayısıyla etkilerinin azaltılması,
- Sosyal etmenlerin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi,
- Ekonomik ve çevresel faktörler arasındaki pozitif bağlantıların betimlenmesi ve vurgulanmasıdır.

Yaşam döngüsü düşüncesinin temel prensipleri "6 Re" felsefesi olarak da bilinmektedir. Şekil 1'de görüleceği üzere "Re" bu temel prensipleri niteleyen İngilizce kelimelerin ilk iki harfini temsil etmektedir. Bu sayede daha kolay akılda kalabilmektedir.



Şekil 1. Yaşam döngüsü modelinin temel prensipleri



Şekil 2. Yaşam döngüsünün aşamaları ve sınırları

YDA yaklaşımı, Şekil 2'de belirtildiği üzere tüm yaşam döngüsü boyunca (beşikten mezara) işleme, üretim, nakliye, kullanım ve atık yönetimi faaliyetleri gibi tüm süreçleri içerir. YDA, yalnızca çevresel etkileri ele alır. Ekonomik ve sosyal etkiler gibi insan faaliyetlerinin diğer sonuçlarını ele almaz.

YDA, aşağıdaki uygulamalarda kullanılabilir:

- ürün ve süreç iyileştirme
- stratejik karar verme
- çevre dizaynı
- ürün karşılaştırmaları
- eko-etiketleme ve pazarlama
- kamu politikası geliştirme

YDA çalışmaları; çevresel performansı göstermek dışında teknoloji değerlendirmesi, ürün geliştirme, endüstri kıyaslaması ve ekolojik profillemeye ilgili stratejik ve taktiksel karar vermeye rehberlik etmek için çok değerli veri seti sağlar.

YDA'nın teknik çerçevesi, her biri değerlendirmede çok önemli bir role sahip olan dört bileşenden oluşur. Bu bileşenler, Uluslararası Standardizasyon Organizasyonunun (ISO) mevcut terminolojisine uygun olarak birbirleriyle ilişkilidir. Şekil 3'te görüleceği üzere YDA'nın bileşenleri; amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorumlamadır.

Amaç ve kapsam	Envanter analizi	Etki değerlendirmesi	Yorumlama
<ul style="list-style-type: none"><li>•Amacı belirle</li><li>•Sistemin sınırlarını belirle</li><li>•Gerekli verileri tanımla</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Yaşam döngüsü akış şemasını hazırla</li><li>•Veri topla</li><li>•Hesaplama yap</li><li>•Değerlendir</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•İlgili çevresel etki kategorilerini belirle</li><li>•Etki kategorileri için envanter belirle</li><li>•Etki değerlendirme modellemesi yap</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Önemli sorunları belirle</li><li>•Verilerin eksiksizliğini, hassasiyetini ve tutarlılığını değerlendir</li><li>•Sonuç ve önerilerde bulun</li></ul>

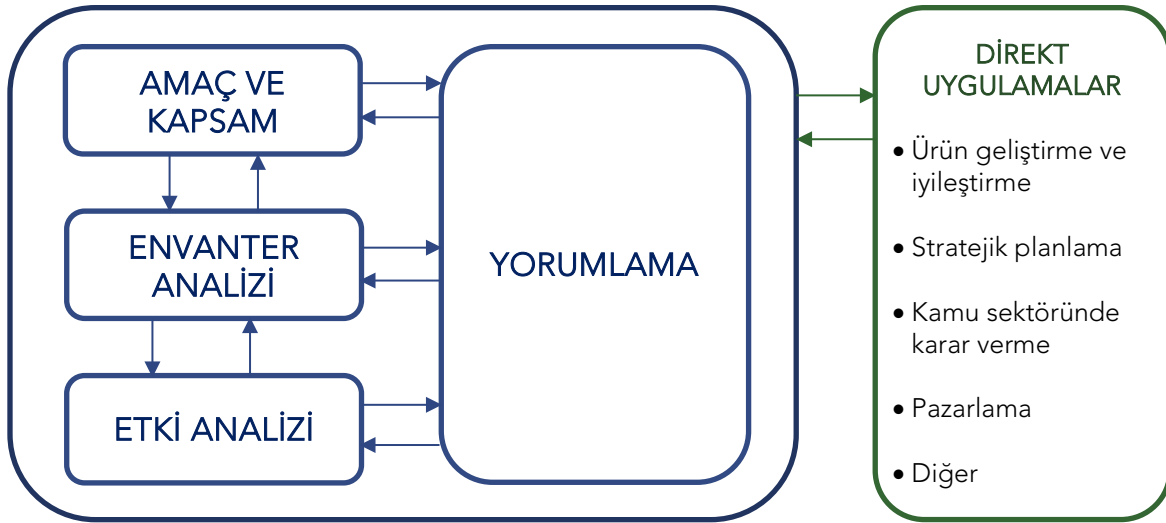
Şekil 3. YDA modelinin bileşenleri

- 1. Amaç ve kapsam tanımı:** Gerçekleştirilen yaşam döngüsü analizinin temel amacı ve bu amaç doğrultusunda izlenecek yöntem ve kapsam açıkça tanımlanmalıdır. Kapsam tanımlanırken fonksiyonel birimler, sistem sınırları ve veri kalitesi gereksinimleri ele alınması gereken konulardan bazılarıdır. Bu ilk aşamada odaklanılan önemli bir konu ise ürün için hangi çevresel etkilerin belirlenip analiz edileceğidir.
- 2. Envanter analizi:** Envanter analizi; bir ürün sisteminin uygun girdi ve çıktılarını ölçen verilerin toplanması, analiz edilmesi ve doğrulanması ile ilgilidir. Sonuçlar, bir süreç akış şemasını ve incelenen ürünle ilişkili tüm çevresel envanterlerin bir listesini (envanter tablosu) içerir. Envanter analizi, ürünün yaşam döngüsü analizi sırasında kullanılan girdiler (enerji, su, ham madde vs.) ile kullanıldıktan sonra oluşan çıktılar (emisyon, atık vs.) belirlendiği bölümdür.
- 3. Etki değerlendirmesi:** Bir etki değerlendirmesinin birincil amacı, ürünün yaşam döngüsü ile bununla ilişkili potansiyel çevresel etkiler arasında bir bağlantı belirlemek ve kurmaktır. Etki değerlendirme aşaması, ürün sistemiyle ilişkili

potansiyel çevresel etkilerin önemini değerlendirmeyi amaçlayan üç aşamadan oluşur. Bu aşamalarda ürünün yaşam döngüsünün hangi aşamalarda ve nasıl çevresel etkilere yol açtığı ortaya koyulmaktadır.

4. **Yorumlama:** Ürün, süreç ve hizmet tasarımındaki değişiklikler ve ham madde ve/veya enerji kullanımındaki iyileştirmeler gibi çevresel yükü azaltmak için ihtiyaçların ve fırsatların sistematik bir değerlendirmesidir. Elde edilen tespitlerle birlikte ürünün yaşam döngüsü analizi göz önüne getirildiğinde hangi aşamada yapılacak iyileştirmelerin hangi çevresel performansı nasıl iyileştirebileceği bu son aşamada yorumlanmaktadır.

1990'ların sonlarında, yaşam döngüsü değerlendirmesi için bir dizi uluslararası standardın geliştirilmesi üzerine çalışmalar başlamıştır. ISO 14040 serisi olarak bilinen bu standartlar yaşam döngüsü analizinin bileşenleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Söz konusu olan ürünün çevresel etkileri bu kapsamda değerlendirilmektedir.



Şekil 4. YDA çerçevesi (ISO 14040-44)

Yaşam döngüsü analizinin ISO 14040-44 kapsamındaki çerçevesi Şekil 4'te özetlenmiştir. YDA için özel bir yazılıma erişim olmasa bile ürünler, süreçler ve hizmetler için yaşam döngüsü analizi yapılabilmektedir. Yaşam döngüsü düşüncesini kullanmaya başlamak ve bu yolda doğru ilerlemek için izlenmesi gereken adımlar aşağıda belirtilmiştir:

1. Kuruluşunuzdan bu iş için bir grup personel atayın.
2. İncelenen ürünün yaşam döngüsü şemasını çizin (yani, ilgili süreçleri ve her birinin girdi ve çıktılarını listeleyen bir akış şeması çizin).
3. Başlıca çevresel etkilerin nerede meydana geldiğini belirleyin.
4. Veri toplayın.

### 1.2. Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE)

Yaşam döngüsü envanteri; bir ürünün, sürecin veya hizmetin tüm yaşam döngüsü boyunca ham madde ve enerji ihtiyaçlarını, açığa çıkardığı emisyonları (atmosfer ve suya) ve atıkları belirleyen ve somut bir şekilde gösteren bir süreçtir. Bu süreçte, bütün ilgili veriler toplanır ve organize edilir. Bu envanter olmadan karşılaştırmalı çevresel etkiler veya bu etkilerdeki potansiyel değişiklikler belirlenemez. Toplanan verilerin detayları ve doğruluk düzeyi yaşam döngüsü analizinin doğruluğunu ve sonuçların kullanılabilirliğini doğrudan etkiler.

YDE, ürünlerin veya süreçlerin karşılaştırılması ve malzeme seçiminde çevresel faktörlerin dikkate alınmasına yönelik kullanılır. Bunların dışında envanter analizleri hükûmetlere, kaynak kullanımı ve çevresel emisyonlar konusunda politika oluşturmaları ve mevzuat geliştirmeleri için faydalı olur.

Yaşam döngüsü envanterinin 4 aşaması vardır:

1. Süreç akış diyagramının oluşturulması
2. Veri toplama planının oluşturulması
3. Verilerin toplanması
4. Değerlendirme ve raporlama

### 1.3. Yaşam Döngüsü Maliyeti (YDM)

Yaşam döngüsü maliyeti; bir varlığın başlangıç sermaye maliyetleri, bakım maliyetleri, işletme maliyetleri ve varlığın ömrünün sonundaki kalıntı değeri dâhil olmak üzere yaşam döngüsü boyunca toplam maliyetini değerlendiren bir yaklaşımdır.

Ayrıca;

- Tasarımcının ürünün kalitesini ve işlevini korurken en düşük toplam sahip olma maliyetini belirlemesini sağlar.
- Bir ürünün ya da hizmetin yaşam döngüsü maliyetini ve performansını değerlendirmek için erken bir aşamada YDM metodolojisini uygulamak projeyi olumlu yönde etkilemek için fırsatların değerlendirilmesine yardımcı olur.
- YDM, tasarım ekibinin sermaye yatırımı konusunda bilinçli kararlar alması için yüksek düzeyde stratejik bilgi sağlayabilir.
- YDM, kararın bir sistemin veya tasarımın çevresel faydalarına dayandığı YDA'nın aksine, finansal faydalara dayalı bir tasarımı seçmede karar desteği sağlar.



- YDM, belirli bir süre boyunca ilk yatırımları gelecekteki maliyetlerle karşılaştırmak için bir temel sağlar.
- YDM, bir varlığın edinimi ve mülkiyeti ile ilgili tüm ilgili maliyetlerin ve gelirlerin sistematik olarak değerlendirilmesini içerir. Binalar bağlamında bu, ilk sermaye maliyetini, kullanım maliyetlerini, işletme maliyetlerini ve elden çıkarılmasından kaynaklanan veya bunlardan yararlanan maliyetleri içerir.
- YDM analizi veri yoğun bir süreçtir. Nihai sonuç; giriş verilerinin erişilebilirliğine, kalitesine ve doğruluğuna bağlıdır.

### 1.4. Yaşam Döngüsü Analizinin Faydaları

Yaşam döngüsü analizi yapmak bir kuruma çeşitli alanlarda faydalar sağlar. Üretim süreçlerinin incelenmesiyle, enerji ve malzeme akışlarında şeffaflık ve süreçlerdeki verimlilik potansiyellerinin bilinmesini sağlar. Böylelikle ürünün çevresel performansı sayısal ifade olarak da açıklanabilir. Aynı zamanda ürünün bütün süreçleri için yapılan iyileştirmeler sonucunda kaynakların en uygun şekilde tüketilmesi ve dolaylı olarak maliyet açısından tasarrufu sağlar. Ayrıca, ürünlerin kendi aralarında karşılaştırılması mümkün olmaktadır.

Bir yaşam döngüsü analizinin iki önemli avantajı şunlardır:

- Projeden sorumlu olanların planlama ve uygulama sürecinde daha bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmak.
- Daha yüksek çevresel kaliteye ve daha iyi verime sahip ürünleri üretme olanaklarını vurgulayarak yeniliği teşvik etmek.

#### Örneğin;

**YDA inşaat müteahhitlerine yardımcı olur.** Başarılı bir yaşam döngüsü analizinin sonuçları, müşteriler ve resmî kurumlar ile iletişimdeki faydasının yanı sıra sürdürülebilirlik kapsamında somut bir belge amacıyla da kullanılabilir. Bu sayede hibe ve teşvikler için onay ararken bir argüman olarak ileri sürülebilir.

**YDA mimarlara ve uzman tasarımcılara yardımcı olur.** Bileşenlerin imalatından kaynaklanan çevresel etkiler, devam eden operasyondan kaynaklanan çevresel etkiler ve ürünün sonunda olası geri dönüşümden kaynaklanabilecek çevresel etkiler hakkındaki bilgiler daha çevreci yapıların planlanmasını ve tasarlanmasını kolaylaştırır.

Tablo 1’de yaşam döngüsü analizinin farklı alanlardaki faydaları belirtilmektedir.

Tablo 1: Yaşam döngüsü analizinin faydaları

Fayda Alanı	Faydalar
İş stratejisi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rekabet avantajı</li> <li>• Ürün kalitesinde iyileştirme potansiyeli</li> <li>• Risk yönetiminin iyileştirilmesi</li> <li>• Kamuoyunda itibar geliştirme</li> </ul>
Pazar gereklilikler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pazar payının artması</li> <li>• Yeni iş fırsatları</li> <li>• Tedarik zinciri yönetimi</li> <li>• EPD, karbon etiketi, eko-etiket gibi ürün yaşam döngüsüne dayanan diğer konseptlere katılım fırsatı</li> </ul>
Ulusal ve uluslararası mevzuat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mevzuata uyumluluk ve cezai yaptırımlara karşı risk azaltma</li> </ul>

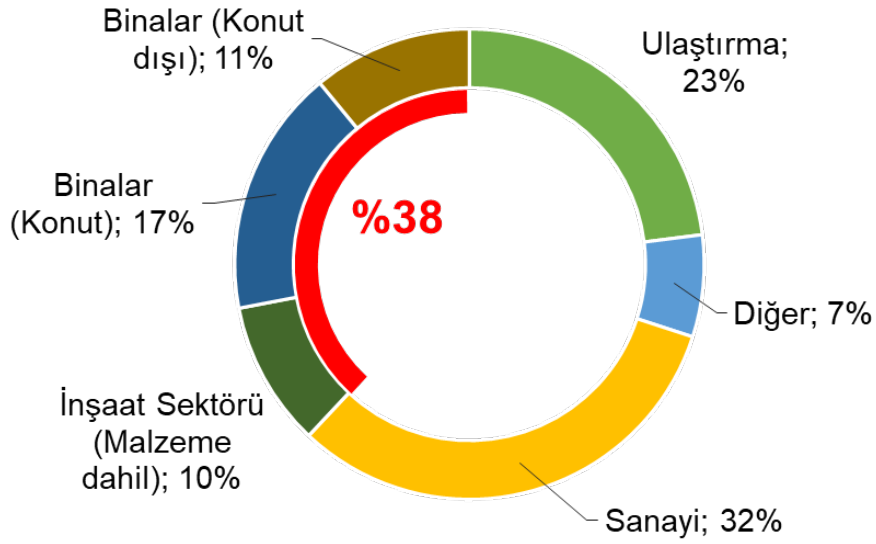
Sonuç olarak yaşam döngüsü analizi ile;

- doğal kaynakların korunması,
- çevresel kirliliğin önlenmesi,
- çevresel eşitliğin sağlanması,
- çevre ile ilgili yasa ve yönetmeliklerin gelişmesi,
- çevre yönetim sistemlerinde çevresel performans değerlendirmesinin gelişmesi,
- çevreye duyarlı ürünlerin üretiminin sağlanması,
- ürün gelişimi ve kullanımı sonucu oluşan toplam çevresel etkilerin ve sağlık risklerinin azaltılması mümkün olmaktadır.

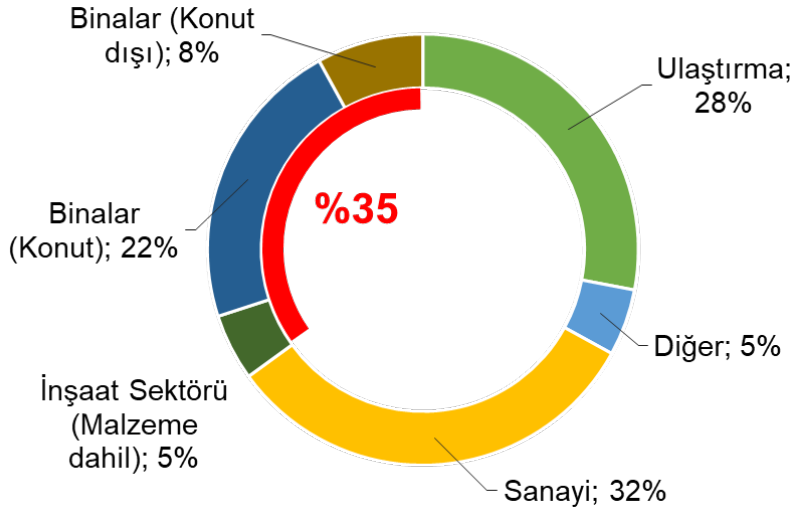
## 1.5. Yeşil Bina Sertifikasyonu

“2020 Global Status Report for Buildings and Construction” Raporu’na göre binalar insan kaynaklı emisyonun %38’inden sorumludur. Binaların neden olduğu CO<sub>2</sub> emisyonu hem doğrudan hem de dolaylı olarak hesaplanmaktadır. Doğrudan emisyonlar binalardan yayılan, dolaylı emisyonlar ise elektrik tüketimi ve ısınma kaynaklı emisyonlardır. Şekil 5’te görüldüğü gibi malzeme dâhil binaların yapımından kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonu %10’luk bir orana sahiptir.

Binaların enerji tüketimi ise toplam içinde %35’lik bir paya sahiptir. Şekilde 6’da görüldüğü gibi binaların inşa edilmesinden (malzeme dâhil) kaynaklı enerji tüketimi %5 oranındadır.



Şekil 5. Binaların CO<sub>2</sub> emisyonu



Şekil 6. Binaların enerji tüketimi

Sürdürülebilirlik kavramı global anlamda ve en etkin şekilde 1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan bir bildiriye tanımlanmıştır. Bu tarihten sonra başta Amerika'da ve bazı Avrupa ülkelerinde olmak üzere "sürdürülebilir büyüme" kavramı hem ulusal hem de küresel bir politikaya dönüşmüştür. Sera gazı etkisi, ozon tabakasının incilmesi, iklim değişikliği, eriyen buzullar, nesli tükenen canlılar, azalan petrol ve diğer kaynaklar, artan enerji talebi ve sayılabileceğimiz birçok etken dünyanın yeni bir döneme, "yıpranma dönemi" denilebilecek bir aşamaya geldiğini göstermekteydi. Akademik çevrenin de katkıda bulunduğu sürdürülebilir büyüme, sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir üretim, sürdürülebilir tasarım gibi hedefler hem ülkelerin hem de şirketlerin gündeminde ilk sıralarda yer almaya başlamıştır.

Sürdürülebilirlik bir noktadan sonra kendi endüstrisini yaratmıştır. Yeşil, organik, ekolojik, çevreci, dayanıklı, çevre dostu vb. sıfatlar çok fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bazı üreticiler de bu sıfatların içini gerçek anlamda doldurmadan pazarlama argümanı olarak kullanmış ve fayda sağlamıştır. Self-declaration yani kendi beyanları ile kullanıcının dikkatini çekmeye çalışmışlardır.

Sürdürülebilirlik kavramının inşaat alanındaki yansıması “yeşil bina” ve “çevreci malzemeler” ile olmuştur. İnsanların aklına doğayı, huzuru ve güveni getiren “yeşil” renk bu sefer yapıların çevresel performansını belirtmek için kullanılmıştır. Yeşil bina sertifikalandırılması binalarda kalite, enerji etkinliği, su tasarrufu, çevreye duyarlılık ve iç ortam kalitesini arttıracak tasarım yapılması ve böylece yapının uluslararası sertifikalı yapılar listesinde yer almasını ve değerinin artmasını sağlamaktadır.

Dünya genelinde birçok farklı yeşil bina sertifikasyonu bulunmaktadır. Bu sertifikasyonların global ölçekte en önde gelenleri LEED, BREEAM ve DGNB’dir. Ayrıca ülkelerin yerel sertifikasyonları da bulunmaktadır. Ülkemizde B.E.S.T sertifikası buna örnektir.

### LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)



USGBC (Amerikan Yeşil Binalar Konseyi) tarafından geliştirilmiş yeşil bina ya da diğer bir tabir ile çevre dostu bina değerlendirme/puanlama sertifikasıdır. 1998’den beri verilmekte olan LEED (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik) sertifikası bugün tüm dünyada en çok bilinen gönüllü yeşil bina sertifikasıdır. Ülkemizde de en çok tercih edilen yeşil bina sertifikasıdır.

Aşağıda belirtilen 9 kategoride değerlendirme yapılmaktadır.

1. Bütünleştirici ön süreç
2. Lokasyon ve ulaşım
3. Sürdürülebilir alanlar
4. Su verimliliği
5. Enerji ve atmosfer
6. Malzemeler ve kaynaklar
7. İç mekân kalitesi
8. Tasarımda yenilikler
9. Bölgesel öncelik

Ülkemizdeki bazı LEED sertifikalı binalar:

- Boğaziçi Üniversitesi Ulusal Deprem İzleme Merkezi (GOLD)
- TÜPRAŞ Rafinerisi Merkezi Kontrol Binası (GOLD)
- Konya Bilim Merkezi (GOLD)
- BRİSA Akademi (GOLD)
- Türkiye Müteahhitler Birliği Merkez Binası (PLATINUM)

### BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)

**BREEAM**<sup>®</sup> BREEAM ilk olarak 1990 yılında İngiltere’de oluşturulan daha sonra dünyanın birçok ülkesinde tercih edilen yeşil bina sertifikasyon sistemidir. Tasarım, yapım ve işletme performanslarının kabul edilen ölçütlere göre karşılaştırılmasına dayanan bu sistem bina sahiplerine ve işletmecilere binanın performansını ölçme imkânı vermektedir. BREEAM sisteminde 10 ana başlık altında değerlendirme yapılmaktadır.

1. Yönetim
2. Sağlık ve Refah
3. Enerji
4. Ulaşım
5. Su
6. Malzeme
7. Atık
8. Toprak kullanımı ve ekoloji
9. Kirlilik
10. Yenilik (inovasyon)

Ülkemizdeki bazı BREEAM sertifikalı binalar:

- Sabancı Üniversitesi
- Küçükçekmece Belediyesi Binası
- Grontmij Mühendislik Müşavirlik ve Tasarım LTD. ŞTİ.

### DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)



DGNB, Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi’nin kendi adıyla vermiş olduğu bir sertifikalandırma sistemidir. DGNB Sistem adı verilen sertifika diğer benzer sertifikalarda olduğu gibi çevre dostu ve insan sağlığını ön planda tutan, enerji verimli binalara verilen bir sertifikadır. Diğer sertifikalara göre şartları daha ağırdır. DGNB sertifikalı bina olarak Türkiye’den Quasar İstanbul örnek olarak verilebilir.

### B.E.S.T (Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım) Sertifikası



B.E.S.T, Türkiye’nin ilk ve tek yerli yeşil bina sertifikasyonudur. Yeşil binalar alanındaki araştırmalara ve çalışmalara devam eden Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği, yeni konut projelerinde uygulanmak üzere Türkiye koşullarına uygun sertifika sistemi B.E.S.T-Konut oluşturmuştur. B.E.S.T-Konut Sertifikası kapsamında konutlar; Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi, Arazi Kullanımı, Su Kullanımı, Enerji

Kullanımı, Sağlık ve Konfor, Malzeme ve Kaynak Kullanımı, Konutta Yaşam, İşletme ve Bakım, Yenilikçilik olmak üzere 9 başlık altında değerlendirilmektedir.

B.E.S.T Konut Sertifikasının amacı; sağlıklı toplumlar, yaşanabilir bir çevre ve gelişmiş bir ekonomi yaratmaktır. Bununla birlikte bu sertifika, bina standardında çıtaı yükseltmeyi hedeflemektedir. Yapılı çevrede sürdürülebilirliği ölçerken, çeşitli çözümlerle ideal duruma yaklaşmaya çalışmaktadır.

B.E.S.T Konut Sertifikasına başvuran projeler 9 farklı kategoride değerlendirilir. Projeler bu kategoriler altında uyguladıkları stratejilere göre 110 puan üzerinden değerlendirilir ve 4 farklı sertifika derecesinden biri ile sertifikalandırılır.

- Onaylı (46-64 puan)
- İyi (65-79 puan)
- Çok İyi (80-99 puan)
- Mükemmel (100-110 puan)

### 1.6. Gömülü Karbon

Bir binanın veya altyapının tüm yaşam döngüsü boyunca malzeme ve inşaat süreçleriyle ilişkili karbon emisyonları için "gömülü karbon" terimi kullanılmaktadır. Gömülü karbon şunları içermektedir: Malzeme çıkarma (A1), üreticiye nakliye (A2), imalat (A3), sahaya nakliye (A4), inşaat/yapım (A5), kullanım aşaması (B1), bakım (B2), onarım (B3), değiştirme (B4), yenileme (B5), yıkım (C1), kullanım ömrü sonu atık alanlarına ya da ilgili tesislere taşıma (C2), işleme (C3), bertaraf (C4) ve sistem sınırlarının dışındaki faydalar (D).

Gömülü karbon, yenilenemeyen enerji kaynaklarından veya insan faaliyetinin bir sonucu olarak doğal kaynaklardan atmosfere salınan karbondan kaynaklanır. Doğal süreçler, örneğin orman yangınları bu amaçlar için dikkate alınmaz. Gömülü karbon bir yaşam döngüsü temelinde değerlendirilir; böylece tedarik zincirinin tüm noktalarında ortaya çıkan emisyonlar dikkate alınır.

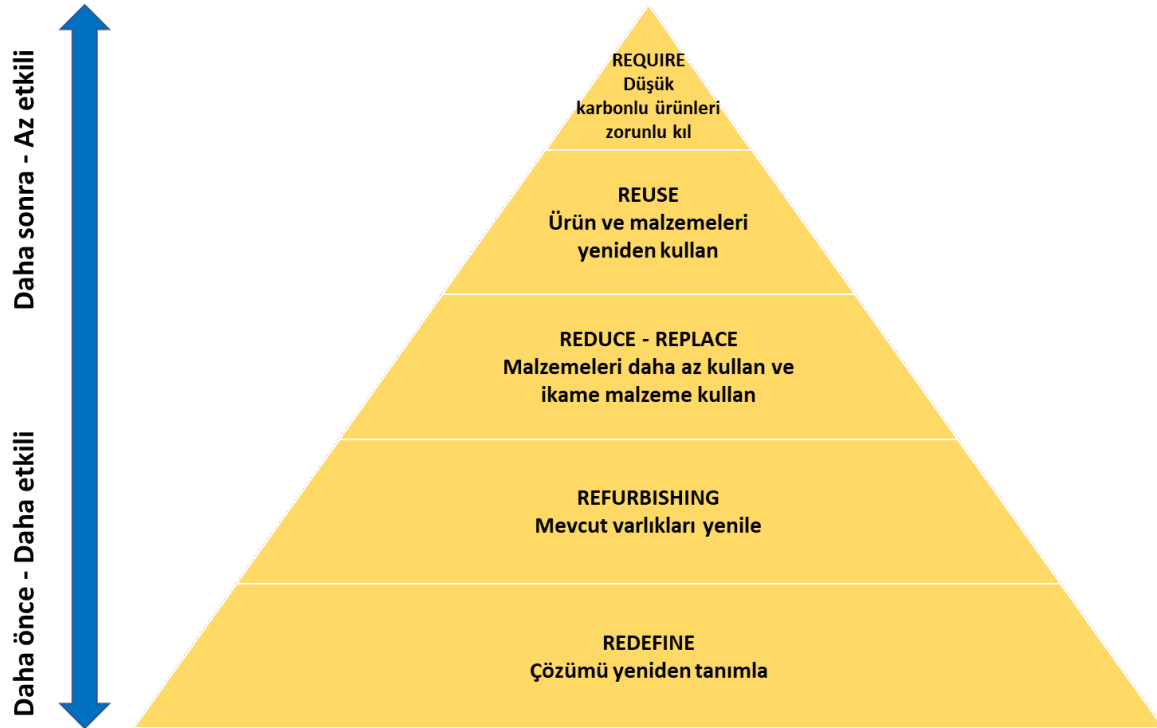
Azalan etki sırasına göre, gömülü karbon emisyonlarının ana kaynakları şunlardır:

- Malzeme üretiminde ısı kaynağı olarak fosil yakıt (örneğin kömür, doğal gaz) kullanımına bağlı emisyonlar
- Malzeme üretiminde kullanılan elektrik enerjisinin fosil yakıt kaynaklarından temin edilmesi sonucu açığa çıkan emisyonlar

- Çimento, alüminyum ve demir imalatında kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan karbon emisyonları
- Nakliye ve diğer saha araçlarında fosil yakıtların kullanılmasına bağlı emisyonlar
- Plastik bazlı ürünlerin yakılması veya ahşabın çöplükte metana dönüştürülmesi dâhil, malzemelerin kullanım ömrünün sonunda oluşan karbon emisyonları
- Ormancılığın bozulmasından ve topraktan kaynaklanan karbon emisyonları (genellikle arazi kullanımı ve arazi kullanımı değişikliği emisyonları olarak ayrı ayrı rapor edilir)

İnşaat sektöründe gömülü karbon hesaplaması, Avrupa Standartları EN 15804 ve EN 15978 ile Uluslararası Standart ISO 21930'a uygun olarak yapılmaktadır. Gömülü karbon emisyonları yaşam döngüsü değerlendirme yazılımı kullanılarak hesaplanır ve bu yazılımlar gerekli standartlarla uyumluluğu sağlarken temeldeki karmaşıklığın bir kısmını çözer.

Gömülü karbon azaltma önlemleri Şekil 7'de belirtilen şekilde sınıflandırılabilir. Bu sayede önlemlerin önceliğine ve etkisine daha kolay karar verilebilir.



Şekil 7. Gömülü karbon azaltma önlemlerinin sınıflandırılması

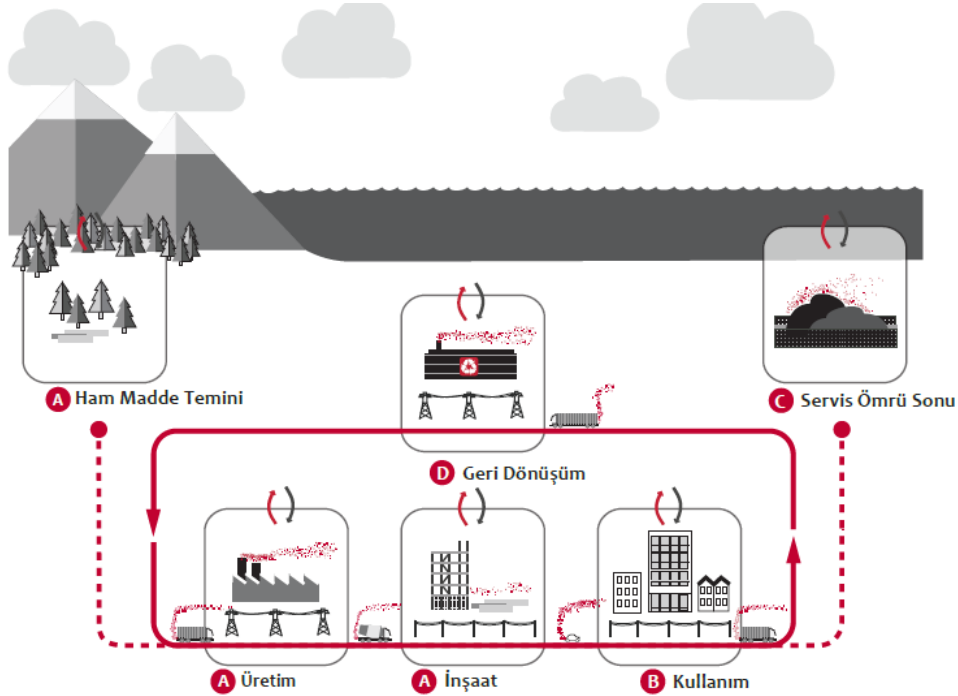
## 1.7. Çevresel Ürün Beyanı (EPD)

Çevresel ürün beyanı (EPD); ürünlerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri hakkında şeffaf ve karşılaştırılabilir bilgileri içeren, bağımsız olarak doğrulanmış ve tescilli bir belgedir. Bir ürün için EPD'ye sahip olmak, beyan edilen ürünün çevresel olarak alternatiflerden daha üstün olduğu anlamına gelmez.

EPD; YDA hesaplamaları temelinde üretilir, ürün ve hizmetlerin karşılaştırılması için nicel bir temel sağlar. Normalde veriler üretici tarafından sağlanır ve bağımsız bir uzman tarafından doğrulanması gerekir. EPD'nin beş yıllık geçerliliği vardır.

EPD'nin temeli ISO 14025 normudur. Bu belgede, EPD'ler Tip III çevre beyanları olarak adlandırılır. EPD, aynı kategori altındaki tüm çevresel ürün beyanlarının aynı tür bilgileri rapor etmesini sağlamak için hesaplama kuralları ve yönergeler sağlayan belirli bir Ürün Kategori Kurallarına (PCR) göre üretilmelidir. Çevresel ürün beyanı, bir YDA raporunun kısa bir versiyonudur. Okuması daha basittir ve dolayısıyla iletişimde kullanımı bir YDA raporundan daha kolaydır.

EPD'lerin genel amacı, çevre üzerinde daha düşük olumsuz etkisi olan ürünlere olan talebi ve tedariki teşvik etmek için doğrulanabilir bilgileri sağlamak ve sunmaktır. EPD'ler genellikle yeşil kamu alımlarında, özel şirketlerin ihalelerinde ve LEED, BREEAM ve GreenStar gibi bina değerlendirme programlarında gereklidir.



Şekil 8. Çevresel ürün beyanında yer alan yaşam döngüsü aşamaları



Şekil 8’de çevresel ürün beyanlarında ürünün yaşam döngüsünün ele alındığı 5 ana aşama görülmektedir. Tablo 2’de ise bu aşamaları detaylıca kapsayan sistem sınırları belirtilmiştir. Çevresel ürün beyanı bu sınırların hepsini ya da bir kısmını kapsayabilir. Bu durum X (dâhil) ya da MND (dâhil değil) olarak tabloda belirtilir.

Tablo 2. Yaşam döngüsü sistem sınırları

HAM MADDELER			ÜRETİM SÜREÇLERİ		KULLANIM							YAŞAM SONU				SİSTEM SINIRLARI DIŞINDA KALAN YARAR VE YÜKLER
Ham madde temini	Nakliye	Üretim	Kapıdan tesise nakliye	Kurulum	Kullanım	Bakım	Tamir	Yenileme <sup>1)</sup>	Yenileştirme <sup>1)</sup>	Operasyon enerji tüketimi	Operasyon su tüketimi	De-konstrüksiyon/Yıkım	Nakliye	Atık prosesi	Tasfiye	Tekrar kullanım – geri dönüşüm/kazanma potansiyeli
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND	X/ MND

Yaşam döngüsü analizi sonuçları ve göstergeleri Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’te belirtilen parametreleri içerecek şekilde Tablo 2’deki sistem sınırları kapsamında EPD’de gösterilir.

Tablo 3. Çevresel etkiler

Parametre	Birim
GWP: Küresel Isınma Potansiyeli	[kg CO <sub>2</sub> eq.]
ODP: Ozon İncelme Potansiyeli	[kg CFC11 eq.]
AP: Asidifikasyon Potansiyeli	[kg SO <sub>2</sub> eq.]
EP: Ötrofikasyon Potansiyeli	[kg PO <sub>4</sub> eq.]
POCP: Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli	[kg ethene eq.]
ADPE: Kaynak Tüketim Oluşumu Potansiyeli (fosil olmayan)	[kg Sb eq.]
ADPF: Kaynak Tüketimi Oluşumu Potansiyeli (fosil kaynaklardan)	[MJ eq.]

Tablo 4. Kaynak tüketimi

Parametre	Birim
PERE: Ham madde kaynağı olarak kullanılmayan yenilenebilir birincil enerji kaynağı tüketimi	[MJ]
PERM: Ham madde kaynağı olarak kullanılan yenilenebilir birincil enerji kaynağı tüketimi	[MJ]
PERT: Toplam yenilenebilir birincil enerji kaynağı tüketimi	[MJ]
PENRE: Ham madde kaynağı olarak kullanılmayan yenilenemeyen birincil enerji tüketimi	[MJ]
PENRM: Ham madde kaynağı olarak kullanılan yenilenemeyen birincil enerji tüketimi	[MJ]
PENRT: Toplam yenilenemeyen birincil enerji kaynağı tüketimi	[MJ]
SM: İkincil malzeme tüketimi	[kg]
RSF: İkincil yenilenebilir yakıt tüketimi	[MJ]
NRSF: İkincil yenilenemeyen yakıt tüketimi	[MJ]
FW: Net tatlı (temiz) su tüketimi	[m <sup>3</sup> ]

Tablo 5. Atık kategorileri

Parametre	Birim
HWD: Tehlikeli atık miktarı	[kg]
NHWD: Tehlikesiz atık miktarı	[kg]
RWD: Radyoaktif atık miktarı	[kg]
CRU: Tekrar kullanılan komponentler	[kg]
MFR: Geri dönüşüm malzemeleri	[kg]
MER: Enerji içeriği için kullanılan malzemeler	[kg]
EE: Açığa çıkarılan enerji	[MJ]

## 2. HAZIR BETON YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

### 2.1. Hazır Beton

Beton, en çok kullanılan insan yapımı malzemedir. Dünyada beton üretiminin yıllık kişi başı 1 m<sup>3</sup>'ün üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Küresel hazır beton üretimi hakkında net bir veri bulunmasa da güncel durumda yıllık dünya çimento üretiminin 4,1 milyar ton olduğu bilinmektedir.

Beton; barajların, yolların, tünellerin ve birçok yapının inşasında kullanılır. Mekanik özellikleri, dayanıklılığı, kolay üretimi, maliyeti ve kaynakların kolay erişilebilir olması nedeniyle beton; bina inşaatı için en yaygın yapısal malzeme konumundadır.

Hızla genişleyen kentleşmeye paralel olarak giderek daha çok artan beton tüketimi, dünya çapında daha fazla doğal rezerv kullanımına neden olmaktadır. Sürdürülebilirlik ve maliyet açısından düşünülmesi gereken bu durum, daha çevreci alternatif ham maddelerin ve üretim yöntemlerinin araştırılmasını teşvik etmektedir.

Dünyada kişi başı yıllık beton tüketiminin 1 m<sup>3</sup> olduğu varsayıldığında, beton üretimi için gerekli ham madde ihtiyacının yaklaşık 18 milyar ton olduğu ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de ise yıllık kişi başı beton tüketimi 2020 yılı itibarıyla 1,13 m<sup>3</sup>tür. Bu değerlerin gelecekte daha da yükseleceği beklenmektedir. 2050 yılına kadar beton üretiminin 1990'dakinden dört kat daha fazla olacağı tahmin edilmektedir.

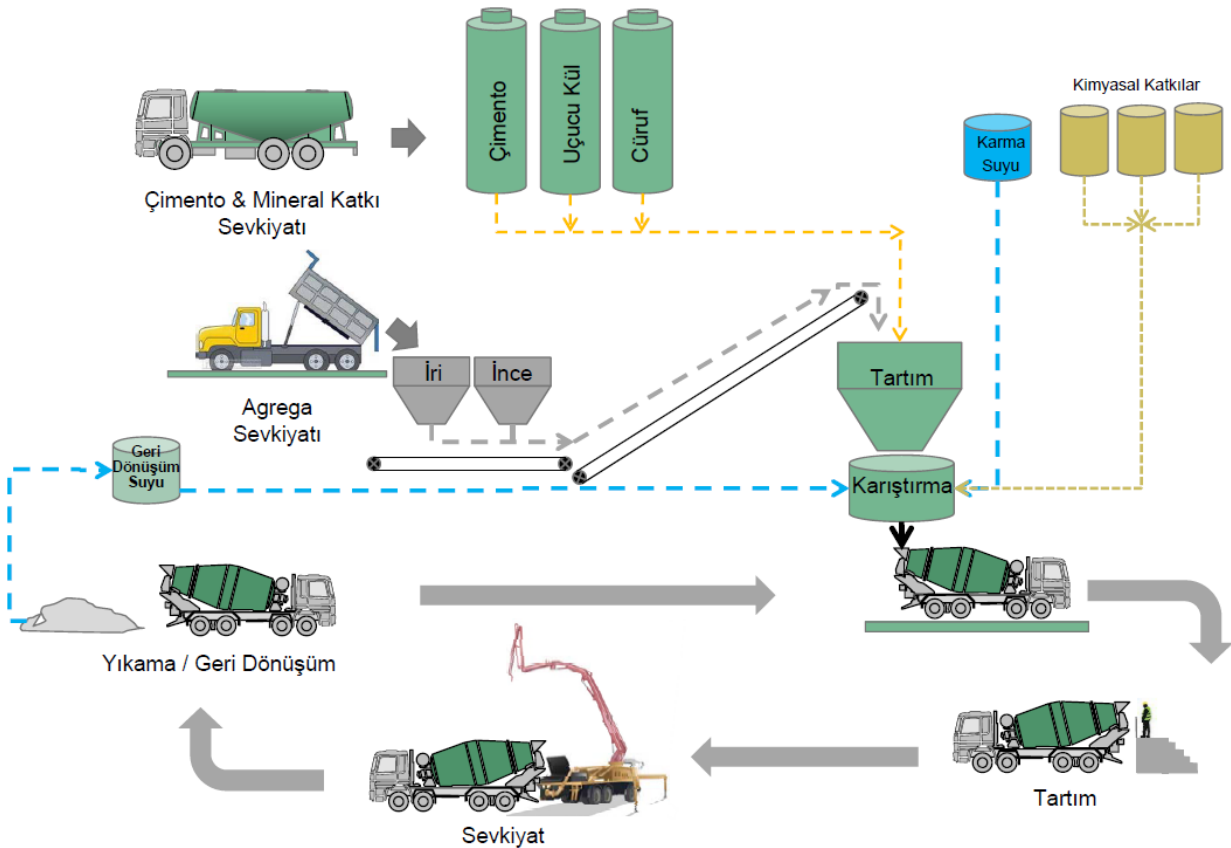
Birleşmiş Milletler; küresel olarak önümüzdeki 40 yıl içinde 230 milyar m<sup>2</sup>lik yeni bir alan inşa edileceğini, dünyadaki binaların mevcut taban alanının iki katına çıkacağını tahmin etmektedir. Bunun büyük çoğunluğu Afrika ve Asya'da olacaktır, ancak 2060 yılına kadar 25 milyar m<sup>2</sup> yeni inşaat alanı eklenecek olan Avrupa'da da hâlâ önemli bir büyüme beklenmektedir. Pratik bir alternatifi olmayan beton, yeni bina ve altyapı talebini karşılamada önemli bir rol oynamaktadır ve oynamaya da devam edecektir.

Beton, ağırlıkça düşük karbonlu (karbon emisyonu) bir malzemedir. Kilogram başına beton, çelikteki gömülü karbonunun sadece %7'sine sahiptir. Bununla birlikte, malzemenin yoğunluğu açısından, bir metreküp betonun karbon ayak izi genellikle 200 kg – 500 kg arasında değişmektedir.

Çimento üretimi, büyük enerji tüketimi ve dolayısıyla yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları ile ilişkilidir. Geçen yüzyılın ikinci yarısında dünya çimento üretimi 12 kat artmıştır; çimento endüstrisi şu anda küresel insan kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %7-8'sini üretmektedir. Çimento, betonun ağırlıkça ortalama %12'sini temsil eder; ancak betondaki gömülü karbonun yaklaşık %90'ını oluşturur. Toplumların konut ve altyapı gibi sosyal ihtiyaçları ile iklimle mücadele hedeflerini birlikte başarılı bir şekilde yönetmek için odaklanması gereken konulardan birisi de çimento üretimi kaynaklı karbon emisyonunu düşürmektir.

Son yirmi yılda betondaki mevcut gelişmeler, üretim teknolojisi ve beton yapıların gelişimi, teknik parametrelerde ve ilgili çevresel etkilerde kalite değişikliğine yol açmıştır. Karışım optimizasyonu nedeniyle beton; dayanım, mekanik performans, dayanıklılık ve aşırı yüklere karşı direnç açısından önemli ölçüde daha iyi özelliklere sahiptir. Beton giderek çevresel etkiyi azaltma potansiyeli yüksek bir yapı malzemesi haline gelmektedir.

Betonun teknik ve teknolojik nitelikleri, tüm yaşam döngüsü boyunca yapı sürdürülebilirliğinin birçok yönü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sürdürülebilirliğin (çevresel ve ekonomik) tüm önemli ve ilgili yönleri dikkate alınarak kalitenin değerlendirilmesi bütünsel bir yaklaşım gerektirir.



Şekil 9. Hazır beton üretim şeması

## 2.2. Hazır Beton ve Sera Etkisi

### 2.2.1. Sera Etkisi

Dünya, üzerine düşen güneş ışınlarından ziyade yüzeyinden yansıyan güneş ışınlarıyla ısınır. Bu yansıyan ışınlar başta karbondioksit, metan ve su buharı olmak üzere atmosferde bulunan gazlar tarafından tutulur ve bu da ısınmaya neden olur. Işınların bu gazlar tarafından tutulmasına sera etkisi denir.

1. Güneşten gelen kısa dalgalı ışınların %51'i yeryüzü tarafından tutulur. Bu enerji ile yeryüzü ısınır. Yeryüzü tarafından emilen bu enerjinin bir kısmı atmosfere geri gönderilir.
2. Güneşten gelen enerjinin bir kısmı yeryüzüne ulaşmadan atmosferden uzaya geri döner.
3. Isınan yeryüzünden bir kısım enerji uzun dalgalı ışınlar hâlinde atmosfere verilir. Bu enerjinin bir kısmı atmosferdeki sera gazları tarafından tutulur. Bu tutulan enerji atmosferin alt kısımlarını ısıtır. Bu ısınma atmosferin sera etkisidir.
4. Sera gazları tarafından tutulan enerjinin bir kısmı yeniden uzaya geri verilir.
5. Yeryüzünden uzaya verilen enerjinin bir kısmı doğrudan uzaya gider.

### Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve Diğer Sera Gazlarının Etkisi

Küresel ısınma üzerinde etkili olan sera gazları arasında CO<sub>2</sub>'in ayrı bir yeri ve önemi vardır. Karbondioksit (CO<sub>2</sub> güneşten doğrudan gelen kısa dalgalı ışınları büyük ölçüde geçirdiğinden, ancak yerden yansıyan uzun dalgalı ışınları tuttuğundan, atmosferin alt kısımlarının ısınmasında çok önemli rol oynayan bir sera gazıdır. Bilindiği üzere atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarı, birinci derecede fosil yakıtların çeşitli alanlarda kullanımı sonucunda hızlı bir biçimde artmaktadır. Bununla birlikte ormansızlaşma ve özellikle de tropikal yağmur ormanlarındaki aşırı tahribat, ayrıca dünyanın diğer bölgelerindeki orman örtülerinin yerini alan yeni bitki örtüsü de bu artışa katkıda bulunmaktadır.

### İklim Değişikliklerinin Türkiye Üzerindeki Olası Etkileri

Bilim adamlarına göre olası bir iklim değişikliğinin ülkemizde neden olabileceği çevresel ve sosyoekonomik sorunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Sıcak ve kurak devrelerin süresindeki ve şiddetindeki artış, kuraklık ve çölleşme ile tuzlanma ve erozyon gibi olayları hızlandıracaktır.
- İklim kuşaklarının kuzeye kayması sonucu Türkiye, daha sıcak ve kurak iklim koşullarının etkisinde kalabilecektir.

- Türkiye'nin mevcut su kaynakları sorununa yeni sorunlar eklenecek, içme ve kullanma suyunda büyük sıkıntılar yaşayacaktır.
- Tarımsal üretim potansiyeli değişebilecektir. (Bu değişiklik bölgesel ve mevsimsel farklılıklarla birlikte, türlere göre bir artış ya da azalış biçiminde olabilir).
- Karasal ekosistemler ve tarımsal üretim sistemleri, zararlılardaki ve hastalıklardaki artıştan zarar görebilecektir.
- Sıcaklıktaki artış insan ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yapacak, aşırı sıcaktan kaynaklanan hastalık ve ölüm oranları artacaktır.
- Deniz seviyesi yükselmesine bağlı olarak Türkiye'nin yoğun yerleşme, turizm ve tarım alanlarının yer aldığı alçak alanları su altında kalacaktır.
- Mevsimlik kar ve kalıcı kar-buz örtüsünün kapladığı alanlarda, erimelere bağlı olarak kar çığları, sel ve taşkın olaylarında artış olacaktır.
- Deniz akıntılarındaki değişimler, deniz ekosistemleri üzerinde olumsuz etkiler yaratacak, deniz ürünleri azalacaktır.

### 2.2.2. Hazır Beton Üretimi Kaynaklı CO<sub>2</sub> Emisyonu

Hazır beton üretim süreçleri kapsamlı bir şekilde analiz edildiğinde CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olan faaliyetler aşağıda belirtilmiştir:

**Ham madde ve nakliye:** Hazır beton üretiminde başlıca girdiler çimento, agrega, su, kimyasal katkı ve bazı durumlarda mineral katkılardır. Bu girdiler içinde en fazla emisyonuna neden olan bileşen çimentodur. Çimento kaynaklı emisyonun dünyadaki insan faaliyetleri kaynaklı emisyonun %7-8'ine denk geldiği bilinmektedir. Bu oran ülkemizde %12-13 seviyesindedir. Türkiye'nin dünyanın en fazla çimento üreten ilk beş ülkesinden biri olduğu düşünülürse bu oran oldukça normaldir. Çimentonun ana bileşeni klinker üretiminde neredeyse bire bir oranda CO<sub>2</sub> emisyonu oluşmaktadır. Yani 1 ton klinker üretimi için yaklaşık 0,9 – 1 ton arasında CO<sub>2</sub> emisyonu oluşmaktadır. Agrega tarafında ise ocaktan malzemenin çıkarılması ve kırılması işlemlerinden kaynaklanan emisyon oluşmaktadır. Mineral katkılar ise çimentoyu belirli bir oranda ikame eden ikincil bağlayıcılardır. Bir prosesin yan ürünü oldukları için emisyonuna neden olmaz. Sadece yüksek fırın cürufunda olduğu gibi öğütülme işleminden kaynaklanan emisyonuna neden olabilir. Tüm bu girdilerin üretim alanına nakliyesi de CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olur. Özellikle büyük şehirlerde kaynakların uzak olması nakliye nedeniyle emisyonu arttırmaktadır.

**Üretim:** Üretim aşamasında fabrika alanında malzeme taşınması (stok alanında) ve üretimin gerçekleştirilmesi için gereken yakıt ve elektrik kaynaklı emisyonlar oluşur. Birim üretimde bu değer büyük olmasa da Türkiye'nin dünyanın sayılı beton üreticilerinden biri olduğu düşünüldüğünde toplamda büyük rakamlara ulaşılmaktadır.

**Sevkiyat ve Yerleştirme:** Hazır beton, belirli bir süre içinde taşınması gerektiği için sevkiyat mesafesi sınırlıdır. Bu mesafe en fazla 40-50 km civarındadır. Özellikle büyük şehirlerde üretici sayısının fazla olması bu mesafeyi 10-20 km'lere düşürmektedir. Şantiyede ise betonun pompalanması, sıkıştırılması gibi işlemlerden de bir miktar emisyon açığa çıkmaktadır. Önemli bir parametre de sefer başı taşınan beton miktarıdır. İstiap haddi nedeniyle taşıma yükü sınırlandırılmaktadır.

### Hazır beton kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmak için yapılması gerekenler:

- 1) Yüksek dayanımlı beton kullanarak toplam beton ihtiyacını azaltmak.
- 2) İstenilen performansı sağlamak için çimentoyu bir miktar ikame edebilecek mineral katkıları ve etkili kimyasal katkıları kullanmak.
- 3) Kendiliğinden yerleşen beton kullanımını arttırmak.
- 4) Katkılı çimento kullanmak ve mümkünse alternatif yakıt ve ham madde içeriği yüksek çimento tercih etmek.
- 5) Üretim yerine yakın kaynaklardan malzeme tedarik etmek.
- 6) Yakıt tasarrufu sağlamak için periyodik araç bakımlarını zamanında yapmak ve personeli ekonomik ve güvenli sürüş konusunda eğitmek.
- 7) Sevkiyat süreçlerini planlayarak ve iyi organize ederek şantiyedeki bekleme süresini ve dolayısıyla gereksiz yakıt sarfiyatını engellemek.
- 8) Özellikle agrega ve su kullanımında en yüksek oranda geri dönüşümden faydalanmak.

### Betonda Karbonatlaşma Kaynaklı CO<sub>2</sub> Bağlanması

Karbonatlaşma, havadaki CO<sub>2</sub>'nin beton boşluklarında bulunan kalsiyum hidroksit [Ca(OH)<sub>2</sub>] ile reaksiyona girmesi ile oluşur. Kalsiyum hidroksitin, karbondioksit ile reaksiyona girmesi ile birlikte çözülmüş kireç konsantrasyonu azalır ve beton pH derecesi düşer. Karbonatlaşma olayı beton yüzeyinden başlar ve azalan bir hızla betonun içine doğru ilerler. İlerleme hızı betonun geçirgenlik özelliklerine bağlıdır. Yüksek kaliteli ve düşük boşluklu betonlarda karbonatlaşma etkisi çok azdır. Ayrıca, çevre koşulları da karbonatlaşma olayında etkili olur. Karbonatlaşma derinliği ile betonun su/çimento (ya da su/bağlayıcı) oranı arasında lineer bir bağıntı vardır.

Karbonatlaşma; zamana, ortam rutubetine, ortamdaki CO<sub>2</sub> oranına, ortam sıcaklığına, beton ve yapı özelliklerine bağlı olarak meydana gelir. Karbonatlaşmanın donatı çeliğinde korozyona neden olması gibi olumsuz etkilerinin yanında betondaki kılcal boşlukların çapının azalması, gaz difüzyonunun azalması gibi kısmen olumlu etkileri de bulunmaktadır.

Karbonatlaşma yapıdaki betonun servis ömrü boyunca süren bir reaksiyondur. Aynı hacimdeki beton ile yapılan yapılardan/elemanlardan yüzey alanı fazla olanda karbonatlaşma daha çok olmaktadır. Karbonatlaşma kalınlığı hesabında kullanılan katsayı betonun bulunduğu ortama göre değişmektedir. Karbonatlaşma potansiyelini belirleyen en önemli parametre çimentodaki  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarıdır. 1 m<sup>3</sup> betonun CO<sub>2</sub> bağlama yeteneği oldukça yüksek olmakla beraber bu pratikte ulaşılabilecek bir değer olamamaktadır. Çünkü 1 m<sup>3</sup> betonun sadece bir bölümü karbonatlaşmaya maruz kalmaktadır. Hatta yıkılan binaların atık olan betonu daha fazla yüzey alana sahip olduğu için servis ömrü bitse bile karbonatlaşmaya maruz kalmaktadır. Özellikle Kuzey Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmalarda betonun servis ömründen sonraki süreçte daha fazla CO<sub>2</sub> bağladığı tespit edilmiştir.

Günümüzde yapılan araştırmalarda betonun çimento üretimi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunun %30'unu karbonatlaşma ile azaltabildiği tespit edilmiştir.

### 2.3. Hazır Beton ve Sürdürülebilirlik

Toplumlarda sürdürülebilirlik konusu üzerindeki güncel odaklanma ve bu yönde artan talepler, azalan kaynaklar, iklim değişikliğiyle mücadelenin birçok ülkede yasal zemine oturması inşaat sektörünün daha yenilikçi bir anlayışa geçmesini kaçınılmaz kılmaktadır.

Beton ile ilgili olarak; çimento üretimi sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu üzerinde durulması gereken en önemli gündemdir. Eğer üretimde fosil yakıt kullanılmışsa ve herhangi iyileştirici bir yöntem uygulanmadysa genel olarak 1 ton klinker üretimi sonucu neredeyse 1 ton CO<sub>2</sub> emisyonu açığa çıkmaktadır.

Küresel karbon ayak izini düşürmek için çimento üreticileri kömür ve petrokok gibi fosil yakıtlar yerine kalorifik değeri yakın ya da denk alternatif yakıtlar ve atıklar kullanmakta, ayrıca klinker oranını azaltıp ikincil bağlayıcı malzemeler (mineral katkıları) kullanarak katkılı çimentolar üretmektedir ancak çimento çok geniş bir alana yayılmış uygulamalara yönelik olan, farklı müşteri gruplarına arz edilen ve belirli standartları sağlamak zorunda olan bir üründür. Bu nedenle yapılacak iyileştirmeler de belirli limitler dâhilinde olabilmektedir. Son yıllarda gündemde olan ancak henüz tam olarak genel bir uygulama aşamasına geçmeyen karbon yakalama, depolama ve kullanma teknolojisi bu sorunun çözülmesinde çok daha etkin bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Yine de bunun için bir süre daha beklenmesi gerekecektir.

Öte yandan beton, performans kriterleri önceden belirlenmiş nihai bir üründür ve uygulamalara bağlı olarak sürdürülebilirlik performansı iyileştirilebilir. Bunlar:



- Beton içerisindeki çimentoyu daha fazla mineral katkı ile yer değiştirmek ya da katkıli çimento kullanmak,
- Beton içerisindeki çimentoyu mineral katkı kombinasyonları ile yer değiştirerek betonun dayanım ve dayanıklılığını iyileştirmek,
- Su azaltıcı katkı kullanımı ile beton içerisindeki çimento miktarını azaltmak,
- Kaynağı yakın (yerel) agrega ile beton üretmek.
- Gerektiğinde yakın bir kaynaktaki reaktif bir agregayı, tasarımda bağlayıcı kombinasyonlarını optimize etme yoluyla daha uzak mesafeden gelecek zararsız bir agregaya tercih etmek,
- Betonarme yapı yıkıntılarında elde edilen geri dönüşümlü agrega ile beton üretmek,
- Daha az bakıma ihtiyaç duyan ve daha uzun servis ömrü olan dayanıklı beton üretmek,
- Yüksek dayanımlı beton ile daha narin yapılar yapmak (birim beton hacminde daha fazla çimento kullanılsa da toplam beton hacmi düşük olmaktadır),
- Betonun ısı kapasitesi sayesinde ofis ve evlerde ısıtma/soğutmada daha az enerji sarfiyatı sağlamak,
- Klasik donatı yerine lifler (fiberler) kullanmak,
- Hafif agrega kullanmak,
- Kendiliğinden yerleşen (sıkışan) beton kullanmak.

## 2.4. Hazır Betonun Sürdürülebilirlik Açısından Faydaları

### Albedo Etkisi

Beton; güneş radyasyonunu diğer yapı malzemelerine göre daha fazla yansıtarak, özellikle kentsel alanlarda ısınmayı azaltmaya yardımcı olur. Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) raporuna göre 2025 yılına kadar, dünyanın sanayi öncesine göre 1,5°C derece üzerinde ısınması ihtimali %40 oranındadır. Paris İklim Anlaşması'nın belirlediği düzenlemeler küresel ısınmanın 2°C derecenin altında tutulmasını, sınır hedefin de 1,5°C derece olmasını öngörmektedir.

Beton dâhil yüksek yansıtıcı yüzeylerin seçimi, kentsel alanların beyazlığını ve dolayısıyla yansıtıcılığını artırmaya odaklanan ve güneş radyasyonu yönetimi (SRM) olarak bilinen jeomühendislik sınıfına girer.

Albedo, bir malzemenin yüzeyinden yansıyan güneş radyasyonunun oranıdır. Betonun albedosu 0,4 iken asfaltın albedosu sadece 0,1'dir (değer ne kadar yüksekse yansıtma da o kadar yüksek olur). Bu nedenle, dikey (bina cepheleri) ve yatay yüzeylerde (çatılar ve

kaldırımlar) daha koyu renkli malzemelere oranla daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. Beton kullanımı, kentsel ısı adalarında yaşanan sıcaklık artışını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Binaların etrafındaki dış sıcaklık daha düşük olduğundan, binalarda soğutma sistemlerinin kullanımının sınırlandırılmasına da yardımcı olabilmektedir.

### Yerel Ürün

Betonun kolay bulunan, yerel ve uygun maliyetli bir yapı malzemesi olması hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomiler için sürdürülebilir bir yapı malzemesi olmasına neden olmaktadır. Sürdürülebilir inşaatın temel ilkelerinden biri, gelecek nesiller için bu tür malzemelerin mevcudiyetini korumayı da içeren, ham maddelerin sorumlu kullanımudur. Bu hedef, beton ve bileşenlerinde olduğu gibi bol, mevcut ve tamamen geri dönüştürülebilir malzemeler için kolayca elde edilir. Bu yaygın mevcudiyet betonun ve bileşenlerinin yerel tedarikine izin verirken, aynı zamanda onu uygun fiyatlı ve optimum maliyetli bir inşaat malzemesi olması konusunda avantajlı hâle getirir.

Betonun ve bileşenlerinin yerel olarak tedarik edilmesi çeşitli faydalar sağlar. Örneğin, daha uzak yerlerden veya politik risk bölgelerinden tedarik edilmesi gereken malzemelerin aksine, arz güvenliğini ve kullanılabilirliğini sağlar. Ayrıca, ulaşımın inşaat sahasına olan mesafesini en aza indirerek ulaşımdan kaynaklanan küresel emisyonların sınırlandırılmasına yardımcı olur.

Yerel kaynak kullanımı ayrıca beton ve bileşenlerinin sorumlu bir şekilde tedarik edilmesi kapsamını en üst düzeye çıkararak hem çevresel hem de sosyal etkilerin ve inşaat sürecinin iyi yönetilmesini sağlamaya yardımcı olur. Yerel beton ve agrega tedarikçileri ile iş yapan inşaat şirketleri, yerel standartlara ve düzenlemelere uyulduğundan emin olabilirler. Yerel kaynaklı inşaat malzemelerinin kullanımı aynı zamanda, örneğin yerel halkın istihdam edilmesi ve yerel halka vergilerin ödenmesi yoluyla bir inşaat projesinin yürütüldüğü yerel ve bölgesel topluluk için ekonomik ve dolayısıyla sosyal fayda sağlar.

Son olarak, betonun ve bileşenlerinin yaygın olarak bulunabilirliği, arz kısıtlamaları ve kesintilerle (pratik veya politik) karşılaşan diğer ham maddelerin aksine, uygun maliyetli olmasına yardımcı olur.

### Termal Kütle

Betonun ısı depolama yeteneği, onu önemli bir enerji depolama çözümü hâline getirebilir ve en yüksek üretim zamanlarında yenilenebilir enerjiyi esnek bir şekilde kullanarak elektrik şebekelerini dengelemeye yardımcı olabilir.

Termal kütle, beton gibi ağır yapı malzemelerinin enerjisi depolama ve daha sonra açığa çıkarma yeteneğini göstermektedir. Termal kütle özelliği sayesinde beton; yaz aylarında binalarda aşırı ısınmayı önler, kış aylarında ise ısının korunmasını sağlar. Termal kütle, binaların enerji verimliliğini artırmak ve sabit bir iç ortam sıcaklığı sağlamak için kullanılır. Başka bir fayda ise, enerji şebekelerinde esneklik sağlamak için yapı tarafından sunulan termal depolama kapasitesini kullanmak ve böylece yenilenebilir enerji alımını kolaylaştırmaktır.

### Pasif Soğutma

Isıyı emme ve depolama özelliğinden dolayı beton, binaları pasif olarak soğutmak için kullanılabilir. Bu da klimalar tarafından tüketilen enerjiyi ve/veya aşırı ısınma riskini azaltır.

Uluslararası Enerji Ajansına (International Energy Agency) göre binaları soğutmak için klima kullanımı, enerjinin en hızlı büyüyen kullanım çeşitlerinden biridir ve enerji verimliliğine yönelik önlem alınmadığı takdirde, 2050 yılına kadar alan soğutması için enerji talebinin üç kattan fazla artması beklenmektedir.

Pasif soğutma sağlamak için betonun termal kütlesini kullanmak, binaların CO<sub>2</sub> performansını artırmak için kullanılabilen en önemli yollardan biridir. Bir bina içinde açıkta kalan (veya boyanmış) beton, gün boyunca fazla ısıyı emerek sıcaklık dalgalanmalarına karşı termal atalet sağlayarak mekanik soğutma ihtiyacını azaltır veya ortadan kaldırır.

Mekanik soğutma ihtiyacını ortadan kaldırarak veya en aza indirerek gerçekleştirilebilecek CO<sub>2</sub> tasarrufu projeye ve lokasyona özeldir. Birleşik Krallık'taki The Concrete Center için Arup tarafından yapılan bir araştırmada pasif soğutma kullanılarak elde edilebilecek yıllık CO<sub>2</sub> tasarrufunun, tipik bir ofis binasının beton ve zemin işlerinde oluşan CO<sub>2</sub>'yi yaklaşık 50 yılda tamamen dengelemek için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, tamamen klimalı bir çözüm benimsemek yerine binanın tamamen termal kütle kullanılarak soğutulabileceğini varsaymaktadır. Daha yüksek soğutma yüküne sahip, biraz iklimlendirme gerektiren binalarda, betonun termal kütlesine dayalı pasif soğutma kullanımı yine de yıllık emisyonları azaltabilmektedir.

### Karbon Bağlama

Beton ömrü boyunca atmosferdeki CO<sub>2</sub>'yi bağlama yeteneğine sahiptir. Buna da karbon bağlama ya da yeniden karbonatlaşma (rekarbonasyon) denilmektedir. Betonun, temel bileşeni olan çimentonun üretildiği karbon yoğun sürecin bir sonucu olarak, önemli CO<sub>2</sub>

emisyonlarından sorumlu olduğu iyi bilinmektedir. Daha az bilinen şey, betonun yaşam döngüsü boyunca CO<sub>2</sub>'yi bağlamasıdır.

Karbonatlaşma, betonun havadaki CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girdiğinde meydana gelen doğal bir süreçtir. Karbon bağlama miktarı; direnç sınıfı, maruz kalma koşulları, beton elemanın kalınlığı gibi bir dizi parametreye bağlıdır. Tüm beton tarafından sağlanan küresel karbon tutma potansiyeli çimento üretimi sırasında açığa çıkan proses emisyonlarının %30'udur.

Karbon bağlama süreci farklı hızlarda gerçekleşir. Donatısız ürünlerde veya ince/gözenekli uygulamalarda (sıvalar, harçlar, beton bloklar ve mineral köpükler) nispeten hızlı, ancak betonarme ve daha kalın elemanlarda daha yavaş gerçekleşir. Havaya maruz kalan duvar gibi güçlendirilmemiş gözenekli uygulamalar birkaç yıl içinde tamamen yeniden karbonatlaşabilir.

Betonda karbon bağlama, yüzey alanı arttığı ve havaya maruz kalma süreci hızlandığı için betonarme yapılar yıkıldığında da meydana gelir. Beton içeren inşaat atıkları yeniden kullanılmadan (geri dönüşüm) önce atmosferik koşullara maruz bırakıldığında karbon bağlamaları daha da fazladır.

### Sağlıklı Binalar

Beton, gürültüye karşı yalıtım sağlar, doğası gereği uçucu organik bileşikler (VOC) yaymayan bir kaynaktır ve insanların yaşaması ve çalışması için daha sağlıklı alanlar yaratarak elektromanyetik (EM) radyasyona karşı korunmaya yardımcı olur.

Şehirlerde yaşayan ve çalışan insan sayısının yüksek olması, sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesi ile ilgili birçok zorluğu gündeme getirmektedir. Beton, daha sağlıklı yaşam alanları yaratan ve milyonlarca insanın refahını artıran, akustik bir yalıtkan ve doğası gereği uçucu organik bileşikler (VOC'ler) yaymayan, yangına, sele ve aşırı rüzgâra karşı dirençli bir malzemedir. Beton ayrıca elektromanyetik (EM) radyasyona karşı korunmaya da yardımcı olabilir.

Akustik yalıtım, bir malzemenin duvarlardan geçen ses dalgalarının enerjisini azaltma yeteneğidir ve malzemenin yoğunluğu ve duvarın kalınlığı ile orantılıdır. Yüksek yoğunluğu nedeniyle beton, minimum maliyetle iyi akustik konfor sağlayabilen bir üründür.

Uçucu organik bileşikler, havaya kaçabilen ve hastalığa ve alerjik reaksiyonlara neden olabilen birçok yaygın yapı malzemesinde bulunan kimyasallardır. Bu emisyonlar, bina sakinlerinin sağlık ve konforunu olumsuz etkileyebilmektedir. Beton; çürümeye, haşere ve

yangına dayanıklılık için işlemlere ihtiyaç duyan diğer yapı malzemelerinin aksine, doğası gereği VOC yaymayan bir kaynaktır. Bu nedenle beton kullanımı, hem bu tür malzemeleri işleyen kişilere hem de uzun süreli bina sakinlerine fayda sağlar.

Kentleşmenin sonucunda telekomünikasyon ve yayıncılık, endüstriyel ekipman ve ev aletlerinde radyo-elektronik cihazların kullanımı artmaktadır ancak bu tür cihazların çokluğu, elektromanyetik dalgaların elektrikli ekipmanın performansını düşürebileceği bir ortam yaratmaktadır. Giderek artan sayıda insan, elektromanyetik radyasyonun sağlık ve yaşam standartları üzerindeki etkisine daha çok dikkat çekmektedir.

Mevcut araştırmalar, yalnızca elektronik cihazlar için değil, aynı zamanda bir binanın kullanıcıları için de koruma sağlamak amacıyla binaların kalkanlama (zırhlama) kapasitesini geliştirmeye odaklanmaktadır. Tipik olarak beton, kayda değer ölçüde manyetik veya iletken değildir ancak koruma özellikleri, elektro-iletken veya grafen bazlı malzemeler ile geliştirilebilmektedir.

### Dayanıklılık

Dayanıklılık, bir binanın ömrü boyunca tasarlandığı performansı sürdürme yeteneğidir. Yetersiz dayanıklılık, çevresel ve sosyal etkilerin yanı sıra onarım veya yeniden yapılanma nedeniyle beklenmeyen ek maliyetlere neden olabileceğinden sürdürülebilir inşaatın önemli bir parçasıdır. Daha yüksek dayanıklılıkla binaların çevresel etkileri hem daha uzun bir süreye yayılabilir hem de yıllık etkiler azaltılmış olur.

Beton donma-çözülme döngülerine, kimyasallara (örneğin atık su), deniz suyuna ve aşınmaya maruz kaldığında da dayanıklılığını koruyabilmektedir. Beton yapılarıdaki bozulma genel olarak çelik donatının korozyonundan kaynaklanmaktadır. İyi tasarlanmış, inşa edilmiş ve bakımı yapılmış betonarme yapılar tüm çevresel etkilere karşı yüksek performans göstererek tasarım ömürlerini dahi aşabilir, çünkü betonun doğal alkalinitesi çeliği korozyondan korumak için idealdir.

Sonuç olarak betonarme yapılar, metaller (korozyona karşı direnci zayıf) ve ahşap (çürümeye karşı korunması gereken) gibi diğer yapı malzemelerine göre daha uzun ömürlüdür ve daha az bakım gereksinimlerine sahiptir. Bu arada, bir afet durumunda beton yapılar daha az onarım ve yeniden inşa gerektirir ve daha hızlı bir şekilde kullanılabilir duruma getirilebilir.

### Yangın Direnci

Betonun yangına karşı direnci; yangın olayları sırasında bina sakinlerinin, itfaiye ekibinin ve komşuların güvenliğini artırır ve hasarı en aza indirir.

Bir yangın sırasında, dakikada onlarca santigrat derecelik termal gradyanlarla sıcaklıklar çok hızlı bir şekilde 1.000°C'nin üzerine çıkabilir. Bu koşullarda yapı malzemeleri mekanik özelliklerini kısmen veya tamamen kaybedebilir ve yapının çökmesine neden olabilir. Acil güvenlik endişelerine ek olarak, bu tür tam bir bina çöküşü daha uzun vadeli sosyal ve ekonomik bozulmayı beraberinde getirir.

Sonuç olarak, yangın direnci (yapısal elemanların belirli bir özelliği) ve yangına dayanıklılık (bir binanın yangın sonrasında işlevini sürdürme kapasitesi) birbiriyle bağlantılıdır. Uygun şekilde tasarlanırsa, beton hem yangına dirençlidir hem de bulunduğu çevreye yangına dayanıklılık sağlayabilir. Betonun bu kapsamda avantajları:

- Yanmaz, erimez veya zehirli gazlar üretmez.
- Yangın bariyeri görevi görerek yangının komşu alanlara veya binalara yayılmasını azaltır.
- Bitişik alanlara ısı transferini azaltan bir yalıtkan görevi görür.
- Söndürme de dâhil olmak üzere bir yangın sırasında, büyük deformasyonlar geliştirmeden bütünlüğün korur ve yapısal çökme riskini azaltır.
- Yangında insanlar veya çevre için tehlikeli CO<sub>2</sub> emisyonu veya zararlı madde emisyonu yoktur.
- Beton doğası gereği yangına dirençli olduğundan, yangın güvenlik önlemlerindeki (yangın kapıları, alarmlar, havalandırma stratejileri, sprinkler) olası hataların oluşturduğu riski azaltır.

### Afetlere Dayanıklılık

Beton; afetler karşısında alternatif yapı malzemelerine göre daha dirençlidir, yeniden yapılanma ihtiyacını azaltır ve toplumun daha hızlı toparlanmasını sağlar.

Doğal afetlerin giderek yaygınlaştığı bir dünyada, sel ve şiddetli rüzgâr olaylarına dayanıklı yapılar inşa etmek ekonomik, toplumsal ve çevresel sürdürülebilirliğin kilit bir bileşenidir. Betonun afetlere karşı dirençli olması yeniden yapılanma ihtiyacını, ham madde tüketimini ve atık oluşumunu azaltır. Bu sayede ilave sera gazı emisyonu oluşumu engellenir. En önemlisi de işletmeler faaliyetlerine ve bina sakinleri konutlarına daha hızlı dönebildiğinden sosyal hayatın hızlıca toparlanmasını destekler.

Fırtınalar, kasırgalar, hortumlar ve diğer şiddetli rüzgâr olaylarının binalar ve bina sakinleri üzerinde yıkıcı etkileri vardır. Betondan yapılan elemanlar, şiddetli rüzgârlara ve bunun sonucunda oluşacak olumsuzluklara karşı dayanıklıdır. Nitekim okullar, hastaneler gibi birçok beton bina fırtına olaylarında güvenli alan olarak kullanılmaktadır.

Taşkınlar binalar üzerinde büyük bir baskı oluştururken, sel sularının taşıdığı enkaz ve ayrıca suyun dinamik kuvvetleri yapılar üzerinde ek yük oluşturur ancak betonun rijit yapısı ve yüksek yoğunluğu, yüksek su basınçlarına dayanmasını sağlar. Şiddetli rüzgâr olaylarında olduğu gibi beton binalar da genellikle barınak imkânı sağlar ve selden kaynaklanan ölümleri önler.

### Döngüsel Ekonomi






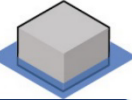



Döngüsel ekonomi ve endüstriyel ekoloji ilkeleri; diğer endüstrilerin yan ürünlerini, belediye atıkları ve beton yıkım atıkları dâhil olmak üzere çeşitli diğer ikincil malzemeleri kullanan çimento ve beton endüstrisi tarafından onlarca yıldır uygulanmaktadır.

Klinker oranını çimentoda veya doğrudan betonda azaltmak için genellikle kömürle çalışan elektrik santrallerinin atığı uçucu kül ve demir cevheri üretiminden gelen öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (GGBS) gibi endüstriyel yan ürünlerin kullanılması yaygındır.

Benzer şekilde belediye atıkları da dâhil olmak üzere endüstriyel yan ürünler ve atık maddelerden elde edilen alternatif yakıtlar, çimento fırınında kömür ve petrokok gibi geleneksel fosil yakıtların kısmi ikamesi olarak kullanılabilir. Birlikte işleme, daha fazla karbon yoğun yakıtların kullanımını azaltır ve aynı zamanda çöp sahasına gönderilmek üzere olan malzemeleri kullanarak döngüsel ekonomiye katkıda bulunur. Ek olarak, kullanılmış lastikler gibi bazı alternatif yakıtlar, klinker üretiminde gerekli olan elementleri içerir (hurda lastiklerin içindeki demir teller gibi) ve ham madde tüketimini azaltmaya yardımcı olur.

Doğal bir kaynak olan agregaların mevcudiyeti ülkeden ülkeye ve bölgeden bölgeye değişir. İyi bir planlama sonucunda mevcut kaynaklar erişilebilir olacaktır ancak mümkün olduğunca geri dönüştürülmüş malzeme kullanımına odaklanılmalıdır. Ayrıca, gelişmekte olan birçok ülke artan miktarda inşaat ve yıkım atıkları ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, geri dönüştürülmüş agregaların kullanımı son yıllarda üzerinde çokça durulan bir konudur.

Geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanımı, döngüsel ekonominin açık ve bariz bir örneğidir ve doğal kaynakların kullanımını ve atık depolamayı azaltmayı içeren faydaları vardır. Beton endüstrisinin sürdürülebilirliğe katkıda bulunması için önemli bir fırsat sağlar.

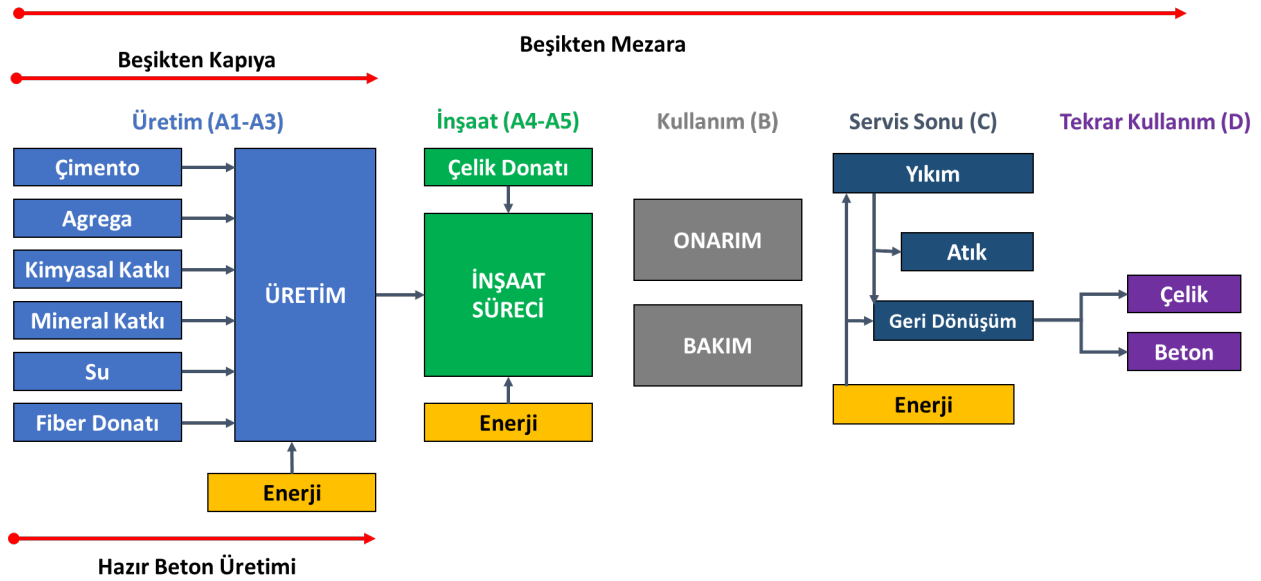
	 YANGIN DİRENCİ	 TERMAL KÜTLE	 DAYANIKLILIK	 AKUSTİK YALITIM PERFORMANSI	 SAĞLAMLIK VE GÜVENLİK	 SU TAŞMASINA KARŞI DİRENÇ
 ÇEVRE	Beton yanmazdır. Bu sayede yangın sonucu atık malzeme ve zararlı emisyon oluşumu düşüktür.	Betonun termal kütlesi yapıların ısınma ve soğuma enerjisi yükünü azaltır.	Betonarme yapıların uzun ömürlü olması sonucu malzemelerin çevre üzerindeki etkisi düşüktür.	Betonun akustik performansı iyidir. Yalıtım için malzeme ihtiyacı düşüktür. Bu sayede potansiyel atık miktarı azalır.	Betonarme yapılar sağlamdır ve hasar görme riski düşüktür. Servis ömrü boyunca malzeme kullanımı azdır.	Su taşkını gibi durumlarda betonarme yapı bütünlüğünü korur.
 TOPLUM	Betonun yangına karşı direnci can kaybı ve maddi hasar riskini azaltır. İnşaat aşamasında çevre açısından yangın riski taşımaz.	Betonun termal kütlesi çevrenin aşırı ısınmasını azaltır. 2050'de aşırı ısınma sonucu ölümlerin 3 kat artacağı öngörülmektedir.	Betonarme yapılar dayanıklı olduğu için bakım ve onarım gibi durumlarda kullanım dışı kalmazlar. Sosyal hayata etkisi düşüktür.	Beton kütlesi, sesi dalgalarını emerek insanların yüksek sestten etkilenmesini engeller.	Betonarme yapılar insanlar için güvenli bir ortam sağlar.	Betonarme yapılar su penetrasyonuna dirençli şekilde tasarlanırlar. Sel gibi durumlarda insanların zarar görmesini engeller.
 EKONOMİ	Betonarme yapılar yangında insanların can güvenliğini korumaya göre tasarlanırlar. Hasar görse bile onarım maliyeti yüksek değildir.	Betonun termal kütlesi ısınma ve soğuma enerjisi ihtiyacını azaltır. Bu sayede binaların işletme maliyeti düşer.	Beton stabil ve dayanıklı bir malzemedir. Servis ömrü boyunca onarım masrafı düşüktür.	Betonun akustik performansı daha az maliyetle istenen performansın elde edilmesini sağlar.	Bakım ve onarım maliyetlerinin düşük olması ve periyodunun fazla olması işletme maliyeti açısından olumludur.	Binaların sağlam kalması iş ve toplum hayatının durmasını engeller ve olumsuz bir ekonomik etki oluşmaz.

Şekil 10. Betonun sürdürülebilirlik performansı



## 2.5. Hazır Beton Yaşam Döngüsü

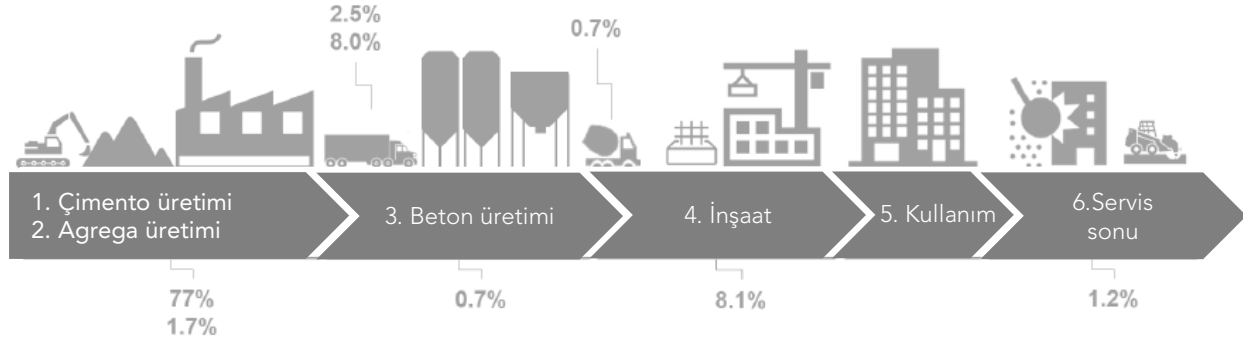
Hazır betonun yaşam döngüsü aşamaları Şekil 11’de belirtilmiştir. Üretim aşamasında (A1-A3) beton bileşenlerin çevresel etkileri (gömülü karbon ve su), bu bileşenlerin nakliyesi, üretim esnasında tüketilen enerji ve açığa çıkan emisyon, tüketilen su ve proses sonucu açığa çıkan atıklar dikkate alınır. İnşaat aşamasında (A4-A5) ise üretilen betonun inşaat sahasına nakliyesi, tüketilen enerji, sahadaki uygulamalar kaynaklı çevresel etkiler incelenir. Kullanım aşamasında (B) ise betonun servis ömrü boyunca ihtiyaç duyacağı onarım ve bakım kaynaklı tüketimlerin oluşturacağı çevresel etkilere ve bu süre içindeki karbonatlaşma potansiyeline bakılır. Beton yapının servis ömrü sonunda (C) yıkılması, atıkların nakliyesi, işlenmesi, depolanması ve tasfiye edilmesi gibi süreçlerden kaynaklanan çevresel etkiler ve en sonunda ise tekrar kullanım (D) aşaması incelenir.



Şekil 11. Hazır beton yaşam döngüsü aşamaları

Hazır betonun yaşam döngüsü analizi genellikle üretim (A1-A3) aşaması ya da A1-A5 aşaması kapsamında incelenir. Özellikle hazır beton üreticisinin yaşam döngüsü analizinde karşısına çıkan en önemli sorun kendi sorumluluğu dışındaki süreçlerin verilerine kolay bir şekilde ulaşamamasıdır. Örneğin, beton bileşenlerinden kaynaklanan karbon ve su ayak izinin hazır beton üreticisinin hesaplaması tahminden öteye geçememektedir. Bu nedenle çimento, agrega ve kimyasal katkı üreticilerinin bu verileri sağlaması gerekmektedir. Bu konuda son yıllarda az sayıda da olsa hesaplama yapılabilen platformlar ve uygulamalar kullanılmaya başlanmıştır.

2019 yılında çimento ve beton üretimi, küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının tahminen %9-10'undan sorumlu olmuştur. Şekil 12’de görüldüğü gibi çimento üretimi, çimento ve betonun tüm yaşam döngüsünden kaynaklanan toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının %77'sine neden olmaktadır.



Şekil 12. Hazır beton ve çimentonun yaşam döngüsü

## 2.6. Türkiye Hazır Beton Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Analizi

Ülkemizdeki hazır betonun ortalama karbon ayak izini (gömülü karbon) hesaplamak için dayanım sınıfı bazında ortalama beton reçetelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır ve THBB tarafından bu konuda sektörel bir araştırma yapılmıştır. Ayrıca, araştırma kapsamında sektörün yakıt ve elektrik tüketimi ile ham madde kaynaklarının ortalama mesafeleri de araştırılmış ve bu veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

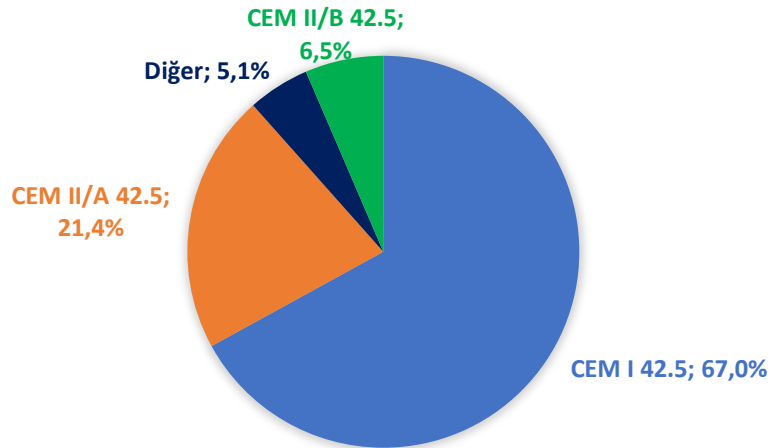
Yapılan araştırmaya katılan üreticilerin toplam üretimi Türkiye hazır beton üretiminin %25'ini oluşturmaktadır. Bu oran da güvenilir temsil için yeterli görülmüştür.

Tablo 6'da beş farklı dayanım sınıfına ait ortalama beton reçeteleri görülmektedir. Bu verilerin ağırlıklı ortalaması ile de tek bir beton reçetesi temin edilmiştir. Ağırlıklı ortalama ile bulunan betonun, C30/37 sınıfı betona çok yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Türkiye'de üretilen hazır betonların dayanım sınıfı bazında ortalama karışım içerikleri

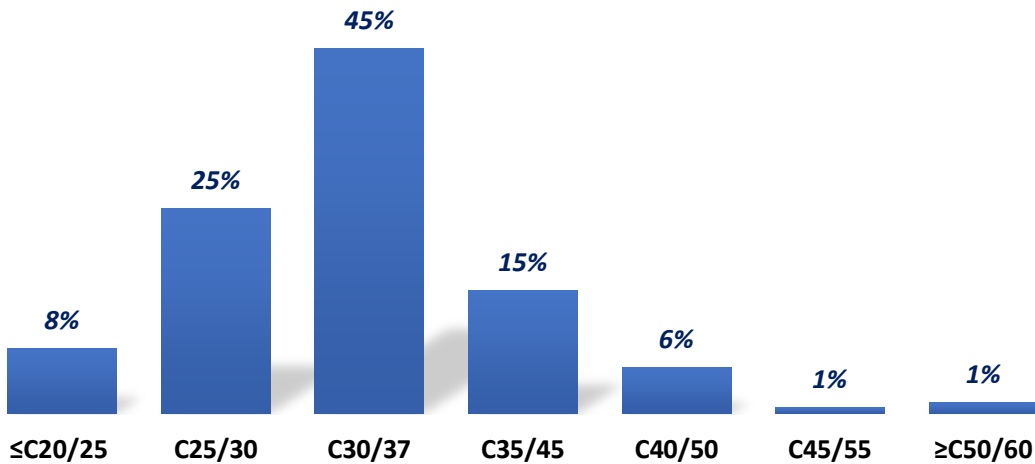
Bileşen	Ortalama Beton Reçetesi					Ağırlıklı Ortalama
	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	
Ort. Çimento Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	263,8	288,1	321,1	355,3	382,8	290,5
Ort. Uçucu Kül Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	18,8	23,6	28,2	23,7	24,5	22,7
Ort. Cüruf Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	11,2	14,7	16,8	19,6	27,6	14,6
Ort. İri Agrega Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	871,0	877,3	883,6	898,0	912,6	878,0
Ort. İnce Agrega Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	1019,6	1003,1	957,1	918,9	901,6	995,5
Ort. Su Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	166,9	163,1	160,9	159,1	157,4	163,6
Ort. Kimyasal Katkı Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	3,3	4,0	4,5	5,1	5,4	4,0
Ort. Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2354,6	2374,0	2372,2	2379,7	2411,9	2368,8

Betondaki gömülü karbonun neredeyse %90'ı çimento kaynaklıdır. Bu nedenle çimento miktarı kadar üretimde kullanılan çimentonun cinsinin bilinmesi de gerekmektedir. Yapılan araştırma kapsamında Türkiye'de hazır beton üreticilerinin kullandığı çimento cinslerinin kullanım oranları da tespit edilmiştir. Şekil 13'te görüleceği üzere hazır beton sektörü tarafından %67 oranında CEM I 42.5, %21,4 oranında CEM II/A 42.5, %6,5 oranında CEM II/B 42.5 ve %5,1 oranında diğer çimento cinsleri kullanılmaktadır. Bu veriler ışığında çimento cinslerinin TS EN 197-1 Standardı kapsamındaki bileşen oranları dikkate alınmış ve ortalama çimentonun klinker oranı ve diğer bileşen oranları tahminen hesaplanmıştır.



Şekil 13. Türkiye'de hazır beton üretiminde kullanılan çimento cinslerinin oranı

Şekil 14'te Türkiye'de dayanım sınıfı bazında beton üretim oranları görülmektedir. Beklendiği gibi en çok üretilen beton dayanım sınıfı %45 ile C30/37'dir. Daha sonra ise %25 oran ile C25/30 sınıfı gelmektedir. C20/25 ve altı dayanım sınıfı %8, C35/45 dayanım sınıfı %15, C40/50 ve üzeri dayanım sınıfı ise %8'dir. Ağırlıklı ortalamaya bakıldığında ise ülkemizde üretilen betonun ortalama C30/37 sınıfı olduğu tespit edilmiştir.

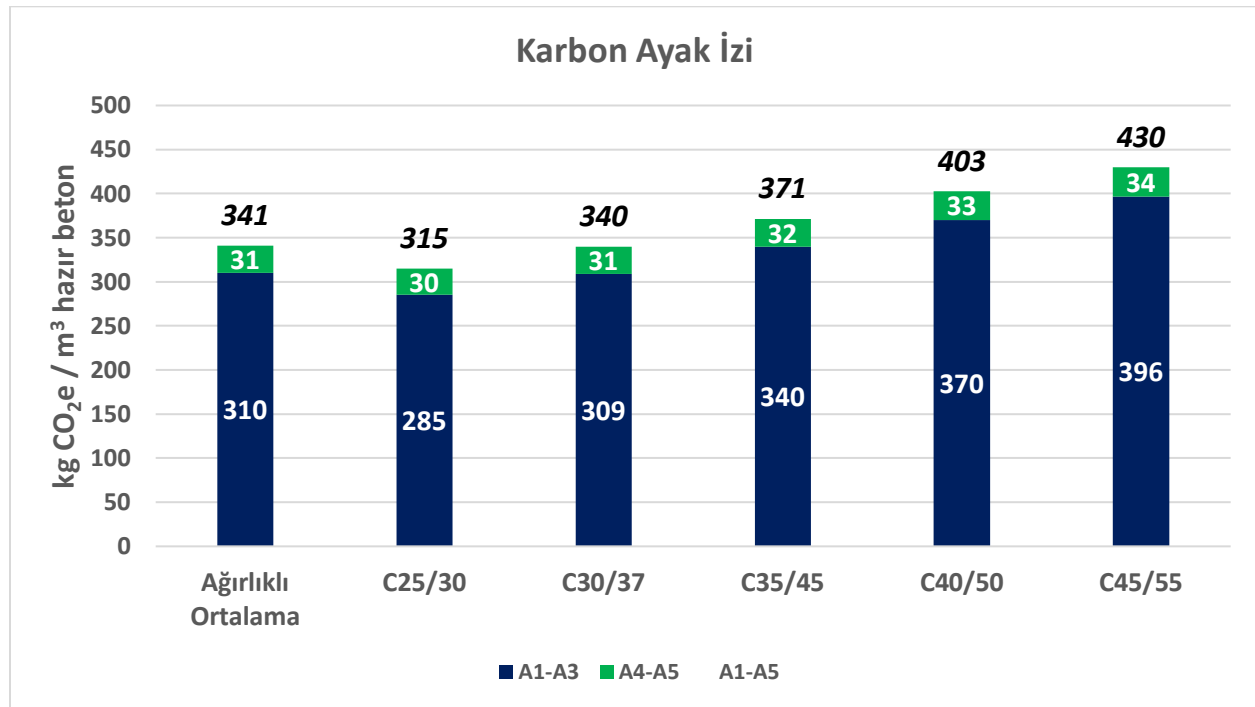


Şekil 14. Türkiye'de üretilen hazır betonların basınç dayanım sınıfı ortalaması

Beton bileşenlerinin çevresel etkilerini özellikle karbon ayak izini tespit etmek amacıyla çimento için Türkiye Çimento Sanayicileri Birliğinin (TÜRKCİMENTO) yayınları ve çimento üreticilerinin faaliyet/sürdürülebilirlik raporlarındaki veriler, agrega için Agrega Üreticileri Birliği (AGÜB) verileri ve kimyasal katkı için Katkı Üreticileri Birliği (KÜB) verilerinden faydalanılmıştır. Ayrıca, bu konuda literatür çalışmalarına da başvurulmuştur. Tüm veriler ışığında Tablo 7’de ve Şekil 15’te görüldüğü gibi dayanım sınıfı bazında betonun farklı yaşam döngüsü aşamalarına ait karbon ayak izi, Global Cement and Concrete Association (GCCA) EPD hesaplama programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Dayanım sınıfları bazında 1 m<sup>3</sup> hazır betonun karbon ayak izi

		Karbon Ayak İzin (kg CO <sub>2</sub> eq.)					Ağırlıklı Ortalama
		C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	
A1-A3	Ham maddeler	285,17	308,96	339,57	370,16	396,43	310,47
A4-A5	İnşaat Süreci	29,93	30,73	31,61	32,63	33,58	30,75
B1	Kullanım	-7,00	-7,64	-8,52	-6,48	-6,98	-7,69
C1-C4	Servis Ömrü Sonu	36,65	36,88	36,86	36,95	37,32	36,82



Şekil 15. Dayanım sınıfları bazında A1-A5 kapsamında hazır beton karbon ayak izi

Örnek teşkil etmesi amacıyla Türkiye’de üretilen 1 m<sup>3</sup> hazır betonun çevresel performansı hesaplanmış ve Tablo 8’de belirtilmiştir.

Tablo 8. Türkiye’de üretilen 1 m<sup>3</sup> hazır betonun çevresel performansı

Çevresel Etkiler		A1-A3	A4-A5	C1-C4
GWP	[kg CO <sub>2</sub> eq.]	310,466	30,746	36,820
ODP	[kg CFC11 eq.]	1,17E-05	4,00E-06	8,38E-06
AP	[kg SO <sub>2</sub> eq.]	1,150	0,186	0,303
EP	[kg PO <sub>4</sub> eq.]	1,17E-01	1,20E-02	1,11E-02
POCP	[kg ethene eq.]	0,720	0,179	0,338
ADPE	[kg Sb eq.]	1,98E-04	4,90E-05	5,71E-05
ADPF	[MJ eq.]	1478,466	356,373	697,596
Kaynak tüketimi		A1-A3	A4-A5	C1-C4
PERE	[MJ]	113,596	11,057	14,431
PERM	[MJ]	0	0	0
PERT	[MJ]	113,596	11,057	14,431
PENRE	[MJ]	0	0	0
PENRM	[MJ]	0	0	0
PENRT	[MJ]	1608,354	386,473	753,884
SM	[kg]	42,118	0	0
RSF	[MJ]	34,733	0	0
NRSF	[MJ]	57,929	0	0
FW	[m <sup>3</sup> ]	3,178	0,241	0,478
Atık kategorileri		A1-A3	A4-A5	C1-C4
HWD*	[kg]	-	-	-
NHWD	[kg]	30,995	0	0
RWD*	[kg]	-	-	-
CRU	[kg]	0	0	0
MFR	[kg]	0	0	0
MER	[kg]	0	0	0
EE	[MJ]	0	0	0

\*Tehlikeli atıklar ve radyoaktif atıklar için değerlendirme yapılmamıştır.

### 2.7. Beton Sürdürülebilirlik Konseyi

Beton, dünyada kullanılan en yaygın yapı malzemesidir. Dolayısıyla betonun sürdürülebilir olması geleceğimiz için önemlidir. Bu doğrultuda, beton ve çimento sektöründe faaliyet gösteren uluslararası kuruluşlar, sorumlu kaynak kullanımı belgelendirme sisteminin geliştirilmesi için 2013 yılında bir araya gelmiştir. Bunun sonucunda, 2016 yılında Beton Sürdürülebilirlik Konseyi (CSC) kurulmuştur. Beton Sürdürülebilirlik Konseyi (The Concrete Sustainability Council) projesi, Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyinin (WBCSD) Çimento Sürdürülebilirlik Girişimi (CSI) tarafından başlatılmış ve birçok şirket, birlik ve enstitü kurucu üye olmuştur.



THBB, 2017 yılında Beton Sürdürülebilirlik Konseyinin "Bölgesel Sistem Operatörü" olmaya hak kazanmıştır. Aynı zamanda THBB Kalite Güvence Sistemi de "Belgelendirme Kuruluşu" olmuştur. Kalite Güvence Sistemi (KGS), Beton Sürdürülebilirlik Konseyinin belirlediği kurallara göre bağımsız bir şekilde beton üreticilerini denetlemekte ve başarılı olan üretim tesislerini belgelendirmektedir. Bu sertifika sayesinde, üreticiler sorumlu kaynak kullanımı konusunda uluslararası normlara uygunluklarını kanıtlamış olmaktadır.

Beton Sürdürülebilirlik Konseyi; beton, agrega ve çimento üreticilerine güvenilir, bağımsız, verilere dayanan bir sertifika sistemi ile ödüllendirilmesi imkânı sunmaktadır. Beton Sürdürülebilirlik Konseyi "Bölgesel Sistem Operatörü" olarak atadığı kuruluşlar ile beton üreticilerini; yönetim, çevre, ekonomi ve sosyal konu başlıkları altında bilgilendirmektedir. Bu kapsamda Bölgesel Sistem Operatörü olarak THBB, belgelendirme şartlarını belirlemekte ve KGS de bağımsız olarak denetimleri sürdürmektedir.

#### CSC Kaynakların Sorumlu Kullanımı Belgelendirmesinin Beton Üreticilerine Faydaları

1. Beton tesislerinin sürdürülebilirlik performansı belgeli bir şekilde ortaya koymak.
2. CSC Belgeli beton; LEED, BREEAM, DGNB gibi yeşil bina sertifikasyon sistemlerince ilave puanlar alacağı için yeşil bina sertifikasyonu sürecindeki projelerde tercih edilir hâle gelmektedir.
3. Kamu ihalelerinde yeni bir kavram olan "Yeşil Alım" dâhilinde önemli bir avantaj sağlamaktadır.
4. Firmaların sürdürülebilirlik konusundaki üstünlüklerini iletişim ve tanıtım faaliyetlerinde gösterebilmek.
5. Sürdürülebilir inşaat için mali teşviklerden yararlanabilmek.
6. Kendi kurumları için daha sürdürülebilir/sorumlu bir iş gelişimi sağlamak.

### 3. AÇIKLAMALI TERİMLER SÖZLÜĞÜ

#### Albedo Etkisi

Albedo etkisi (Latince albus = beyaz), yüzeylerin yansıtma gücü veya bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yansıtma kapasitesi olarak tanımlanır. Genel olarak bir malzemenin güneş ışığını yansıtma kapasitesi için kullanılır. Albedo; cismin yüzey dokusuna, rengine ve alanına bağlı olarak değişir.

Albedo değerinin artması ışığın daha fazla yansıtılması anlamına gelmektedir. Düşük albedo değeri, ışığın daha az yansıtılması yani ısının tutulması demektir. Asfalt yol ısıyı tutarak kentsel ısıl ada sıcaklığını arttırmaktadır Buna aklık derecesi de denebilir. Betonun asfalta oranla bir önemli özelliği beyaz çimento, yüksek fırın cürufu, metakaolin, açık renkli agrega kullanımı sonucu renginin daha da açık olabilmesidir. Asfalt ise koyu renklidir.



#### Alternatif Yakıtlar

Yüksek ısı enerjisi gereken proseslerde fosil yakıtlar yerine kullanılan endüstriyel atıklar, tekstil ve ahşap atıkları, yağ ve petrol atıkları ile belediye katı atıklarının işlenmesi ile üretilen yakıtlar ve kurutulmuş kentsel atık su arıtma çamurlarına alternatif yakıt denilmektedir. Özellikle çimento gibi fosil yakıt tüketimi fazla olan üretimlerde alternatif yakıt kullanımı karbon emisyonlarının ve doğal kaynak tüketiminin azalmasına katkı sağlamaktadır.

#### Antropojenik Karbon Emisyonu

Doğada insanoğlunun neden olduğu karbon emisyonudur.

#### Asidifikasyon

Asidifikasyon; asitleştirici maddelerin toprak, yeraltı suyu, yüzey suyu, organizmalar, ekosistemler ve malzemeler üzerinde yarattığı toksik etkiyi ifade eden etki kategorisidir. Asidik gazların atmosferdeki su ile reaksiyona girmeleri sonucunda "asit yağmuru" denilen olay gerçekleşmektedir. Asit yağmurlarının oluşumu da ekosistem içerisindeki çeşitliliğin azalmasına sebep olmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında asidifikasyon "kg SO<sub>2</sub>" eş değeri cinsinden ifade edilmektedir.

### Avrupa Yeşil Anlaşması

Avrupa Komisyonu tarafından tüm politika alanlarında iklimsel ve çevresel zorlukları fırsatlara dönüştürerek ve bu geçişi herkes adına adil ve ulaşılır kılarak AB ekonomisini sürdürülebilir duruma getirmek için hazırlanan bir yol haritasıdır. 2050 yılına kadar sıfır karbonu hedefleyen bu anlaşma; ekonominin tüm sektörlerini, özellikle taşımacılık, enerji, tarım, yapılar ile birlikte çelik, çimento, bilgi ve iletişim teknolojileri, tekstil ve kimya gibi sanayi sektörlerini kapsamaktadır.

### Beşikten Beşiğe

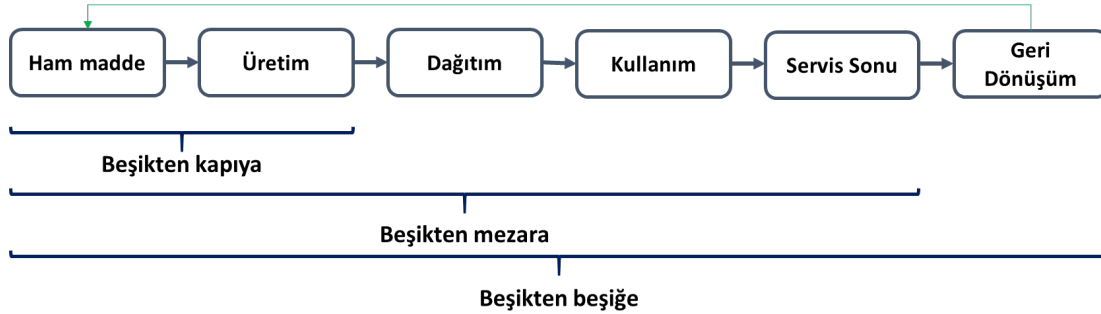
Bir ürünün yaşam döngüsünün, beşikten yani üretimde kullanılan ham maddelerin ilk kaynağından başlayarak kullanım ömrü tamamlandıktan sonra sıfır atık prensibi ile tekrar beşiğe yani başlangıca dönmesidir. Betonun kullanıldığı bir yapının hizmet ömrü sonunda yıkılması ve oluşan atığın hazır beton üretiminde tekrar kullanılması örnek olarak verilebilir.

### Beşikten Kapıya

Bir ürünün beşikten yani üretimde kullanılan ham maddelerin ilk kaynağından başlayarak üretilmesine ve müşteriye teslim edilmeden yani fabrika kapısına kadar olan süreçtir.

### Beşikten Mezara

Bir ürünün beşikten yani üretimde kullanılan ham maddelerin ilk kaynağından başlayarak servis ömrünü tamamlamasına kadar geçen süreci kapsar.



### Biyoçeşitlilik

Biyoçeşitlilik terimi (biyolojik çeşitlilik), genlerden ekosistemlere kadar tüm seviyelerde dünya üzerindeki yaşam çeşitliliğini ifade eder ve yaşamı sürdüren evrimsel, ekolojik ve kültürel süreçleri kapsar.

### Çevre Etiketleri

Ham madde temin sürecinden bertaraf sürecine kadar geçen süreçte çevresel etkileri azaltılmış ürünleri/hizmetleri teşvik etmek ve tüketicilere doğru, yanıltıcı olmayan, bilim temelli bilgi sağlamak için oluşturulmuş gönüllü bir ödüllendirme sistemini temsil eden işarettir.



### Çevresel Ürün Beyanı (EPD)

EPD'ler, ISO 14025'e göre tanımlanan, bir ürünün veya servisin çevre performansını ISO 14040/44 serisi çerçevesinde belirtilmiş parametreler bazında önceden belirlenmiş kategorilere göre (ham madde temini, enerji kullanımı ve verimliliği; malzeme ve kimyasal madde içeriği, hava, su ve toprağa verilen emisyonlar; atık oluşumu) nicel olarak değerlendiren ve beyan eden deklarasyonlardır.

EPD'ler yaşam döngüsü analizi kapsamında ekonomik faaliyetlerin ekolojik ayak izini ve üretim sürecinde meydana gelen çeşitli emisyon değerlerini dikkate alır. Bağımsız şekilde, üreticinin sağladığı bilgilerle hazırlanan EPD'ler, ürünün teknik tanımı, üretici firma detayları ve YDA sonuçlarından meydana gelir.

### Dayanıklılık

Dayanıklılık; bir malzemenin (örneğin beton) istenen mühendislik özelliklerini korurken hava koşullarına, kimyasal saldırılara ve aşınmaya direnme yeteneği olarak tanımlanır. Sorun yaşanmadan gerçekleşen performansın süresini veya ömrünü ifade eder.

### Dekarbonizasyon

Düşük karbonlu kaynaklarının kullanımı yoluyla karbondioksit emisyonlarının azaltılması ve atmosfere daha düşük sera gazı çıkışı sağlanmasıdır.

### Doğrudan Emisyon

Kuruluş tarafından kontrol edilen veya sahibi olduğu kaynaklardan yapılan emisyonlardır.

### Dolaylı Emisyon

Kuruluşun faaliyetlerinden ortaya çıkan ancak başka kuruluş tarafından sahip olunan veya kontrol edilen kaynaklardan meydana gelen emisyonlar. Bir kuruluşun dolaylı emisyonları, satın aldığı elektriğin vb. üretim ile ilişkili emisyonlarını içerir.

### Döngüsel Ekonomi

Ham maddelerin, bileşenlerin ve ürünlerin mümkün olduğunca az değer kaybettiği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı ve sistem düşüncesinin merkezinde yer aldığı kapalı döngülerden oluşan ekonomik bir sistemdir.

### Düşük Karbon

Karbon ayak izi azaltılmış ürün ve hizmetleri tanımlamak için kullanılır.

### Endüstriyel Simbiyoz

Endüstriyel simbiyoz, bir endüstrinin veya endüstriyel sürecin atıklarının veya yan ürünlerinin bir başkası için ham madde hâline geldiği süreçtir. Bu konseptin uygulanması, malzemelerin daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına izin verir ve döngüsel bir ekonominin yaratılmasına katkıda bulunur.

### Fosil yakıtlar

Hidrokarbon ve yüksek oranlarda karbon içeren doğal enerji kaynağıdır. Kömür, petrol ve doğal gaz; bu türden yakıtlara başlıca örnektir. Ölen canlı organizmaların oksijensiz ortamda milyonlarca yıl boyunca çözülmesi ile oluşur.

### Fotokimyasal Oksidasyon

Fotokimyasal Oksidasyon olarak ifade edilen foto oksidan oluşumu, tarımsal ürünlere, insan sağlığına ve ekosisteme zarar veren reaktif maddelerin oluşumunu açıklayan etki kategorilerinden biridir. Yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında fotokimyasal oksidasyon "kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>" eş değeri cinsinden ifade edilmektedir.

### Geri Dönüşüm

Geri dönüşüm, atık malzemeleri yeni malzeme ve nesnelere dönüştürme işlemidir. Atık malzemelerden enerjinin geri kazanımı genellikle bu konseptte dâhil edilir. Bir malzemenin geri dönüştürülebilirliği, orijinal durumunda sahip olduğu özellikleri yeniden elde etme yeteneğine bağlıdır. Malzeme tasarrufu sağlayabilen ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olan "geleneksel" atık bertarafına bir alternatiftir. Geri dönüşüm, potansiyel olarak yararlı malzemelerin israfını önleyebilir ve taze ham madde tüketimini azaltabilir, böylece enerji kullanımını, hava kirliliğini (yakmadan kaynaklanan) ve su kirliliğini (çöp depolamadan kaynaklanan) azaltabilir.

### Geri Dönüşüm (aşağı)

Aşağı dönüşüm (downcycle) malzemeleri ve ürünleri, daha düşük kalitede yeni malzemeler haline getirmeyi içerir.

### Geri Dönüşüm (ileri)

İleri dönüşüm (upcycle), yaratıcı yeniden kullanım olarak da bilinir. Yan ürünleri, atık malzemeleri, kullanışsız veya istenmeyen ürünleri, daha iyi kalitede veya daha iyi çevre değeri için yeni malzemeler veya ürünler hâline getirme işlemidir.

### Gömülü Karbon

Gömülü karbon, bir ürün veya hizmetin üretimi ve kullanımıyla ilişkili karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) veya sera gazı (GHG) emisyonlarıdır. İnşaat ürünleri için bu, inşaat malzemelerinin ve

ürünlerinin çıkarılması, üretilmesi, taşınması, kurulması, bakımı ve bertarafı ile ilişkili CO<sub>2</sub> veya GHG emisyonu anlamına gelir. Bir inşaat ürünü için gömülü karbonun çoğunluğu, inşaat malzemelerinin çıkarılması ve imalatında fosil yakıtların kullanımından ve imalattan kaynaklanan süreç emisyonlarının bir sonucu olarak yayılan CO<sub>2</sub>'dir.

### Gri Su

Gri su, siyah su (tuvalet suyu) haricinde bir evden kaynaklanan atık suların genel adıdır. Yani duştan, küvetten, lavabodan, mutfaktan, bulaşık ve çamaşır makinesinden gelen atık sulara verilen isimdir. Gri su kirletici olarak sabun, şampuan, diş macunu gibi temizlik maddelerinin atıklarını, yiyecek parçaları, pişirme yağı, deterjan ve saç gibi maddeleri içerir. Gri su evsel atık sular içinde en büyük orana sahiptir. Genellikle evsel atık suyun minimum %50'si gri sudur.

### İklim Değişikliği

İklim değişikliği, hem insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınmayı hem de bunun sonucunda hava modellerinde meydana gelen büyük ölçekli değişiklikleri içerir. Daha önce iklim değişikliği dönemleri olmasına rağmen, 20. yüzyılın ortalarından bu yana insanlar, dünyanın iklim sistemi üzerinde benzeri görülmemiş bir etkiye sahip oldu ve küresel ölçekte değişime neden oldu.

### Kapsam

Kapsam kavramı, Sera Gazı Protokolü'nde farklı tip doğrudan ve dolaylı emisyonlar arasındaki sınırları belirlemek için kullanılır: Kapsam I, raporlama yapan kurumun yaptığı doğrudan sera gazı emisyonlarını; Kapsam II raporlama yapan kurumun elektrik, ısıtma/soğutma veya tüketim amaçlı satın aldığı buhar kaynaklı sera gazı emisyonlarını; Kapsam III raporlama yapan kurumun Kapsam II dışındaki dolaylı emisyonlarını belirtmektedir.

### Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi birim karbondioksit cinsinden ölçülen, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın ölçüsüdür. İki ana parçadan oluşur: doğrudan ayak izi ve dolaylı ayak izi.

### Karbon Döngüsü

Karbon döngüsü, karbon atomlarının sürekli olarak atmosferden Dünya'ya ve daha sonra atmosfere geri döndüğü süreci tanımlar. Gezegenimiz ve atmosferi kapalı bir ortam oluşturduğu için bu sistemdeki karbon miktarı değişmez. Karbonun bulunduğu yer sürekli bir akış (döngü) hâindedir.

### Karbon Envanteri

Genellikle emisyonlarını azaltmak isteyen bir kuruluş veya hükûmet tarafından tutulan, geçmiş emisyon verilerinin kapsamlı ve doğrulanmış bir arşividir.

### Karbon Kaçağı

Gelişmiş ülkeler (Kyoto Protokolü kapsamındaki zorunlu sınırlara uymaya çalışan ülkeler) adına gerçekleştirilen sera gazı emisyonlarındaki azaltımın, söz konusu sınırların bağlayıcı olmadığı başka ülkelerde emisyon oluşumuna neden olması sonucu ortaya çıkan emisyon oluşumudur. Örneğin, çok uluslu şirketler emisyon sınırlamalarından kaçınmak amacıyla fabrikalarını gelişmiş ülkelere kaydırabilir. Kaçak, belirli bir ülkede veya projede uygulanan, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik tasarlanmış kanunlar veya faaliyetlerin sebebiyle hedeflenen emisyon kaynağı faaliyetlerin azalmasından ziyade yer değiştirdiği durumlarda meydana gelir.

### Karbon Nötr

Bir faaliyetin, olayın, hanenin, işletmenin veya kuruluşun hiçbir net sera gazı emisyonundan sorumlu olmadığı ve bu sebeple o alanda karbon-nötr olarak ilan edilebileceği gönüllü bir mekanizmadır. Karbon nötrlük, emisyonlar mümkün olduğunca azaltılarak (örneğin enerji verimliliği, yenilenebilir enerjinin satın alınması) ve daha sonra sıfır net emisyonla ulaşabilmek amacıyla artık emisyonlar için denkleştirme birimleri satın alınarak elde edilebilir.

### Karbon Piyasası

Ülkelerin, Kyoto Protokolü kapsamında veya Avrupa Birliği üye devletleri arasındaki gibi başka bir anlaşma kapsamında ulusal emisyon sınırlarına uymak amacıyla sera gazı emisyon birimlerini satın aldıkları veya sattıkları ticaret sistemidir.

### Karbondioksit Eş Değeri

Karbondioksit eş değeri kavramı, sera gazlarının küresel ısınma potansiyelinin karbondioksit gazı cinsinden ifade edilmesidir.

### Karbon Yakalama ve Depolama

Karbon yakalama ve depolama (CCS) veya karbon yakalama ve ayırma, yayılan karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) yakalanması, bir depolama sahasına taşınması ve atmosfere girmeyecek bir yerde bırakılması işlemidir. Genellikle CO<sub>2</sub>, bir kimyasal tesis veya biyokütle enerji santrali gibi büyük nokta kaynaklarından yakalanır ve daha sonra bir yeraltı jeolojik oluşumunda depolanır. Amaç, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacıyla ağır sanayiden CO<sub>2</sub> salımını önlemektir. CO<sub>2</sub>, geliştirilmiş petrol geri kazanımı dâhil olmak

üzere çeşitli amaçlar için onlarca yıldır jeolojik oluşumlara enjekte edilmiş olsa da CO<sub>2</sub>'nin uzun vadeli depolanması nispeten yeni bir kavramdır.

### Kaynak Tüketimi

Kaynak Tüketimi, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında doğal kaynakların (petrol, demir cevheri vb.) tüketimini ifade eden etki kategorilerinden biridir. Küresel, bölgesel ve yerel etki boyutuna sahiptir ve kullanılan mineral miktarını ve kullanılan fosil yakıt miktarını ifade eder. döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında kaynak tüketimi "kg Sb (Antimon)" cinsinden ifade edilmektedir.

### Küresel Isınma

Küresel Isınma, iklim değişikliği sebebiyle atmosferin ısınmasını ifade eden bir kavramdır. Küresel ısınmaya en fazla neden olan insan faaliyetlerinden biri de petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil kaynakların yakılmasıdır. Küresel ısınma "kg CO<sub>2eq</sub>" eş değeri cinsinden ifade edilmektedir.

### Ozon Tabakası İncelmesi

Ozon Tabakası İncelmesi, insan kaynaklı emisyonlar (CFC, HCFC, klor, brom vb.) tarafından stratosferdeki ozon miktarının azalmasını ve ozon deliği olarak adlandırılan ozon tabakasının incelmelerini ifade eden bir kavramdır. Ozon tabakasının delinmesi insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerinde kanserojen etki yapmaktadır. Ozon tabakası incelmesi "kg CFC-11" eş değeri cinsinden ifade edilmektedir.

### Ötrofikasyon/Nütrifikasyon

Ötrofikasyon, havaya, suya ve toprağa besi maddelerinin (nutrients) aşırı salımı nedeniyle oluşan makro besi maddelerinin artışının sebep olduğu etkileri ifade eden etki kategorisidir. Nitrat ve fosfat gibi besi maddelerinin var olması ekosistem içerisindeki yaşamın devamlılığı için büyük önem taşıyor olsa da yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları sonucu sulak alanlarda alg patlamalarına neden olmaktadır ve bu da su içerisindeki oksijen miktarının azalmasına sebep olur. Bu durum ekosistemin zarar görmesine neden olur. "kg PO<sub>4</sub>" eş değeri cinsinden ifade edilmektedir.

### Puzolan

Puzolan reaktif formda silika içeren doğal veya yapay bir malzemedir. Kendi başlarına puzolanların çimento değeri çok azdır veya hiç yoktur. Bununla birlikte, ince öğütülmüş bir biçimde ve nem varlığında, çimentomsu bileşikleri oluşturmak için alkalilerle kimyasal olarak reaksiyona girer. Puzolanik malzeme örnekleri volkanik kül, pomza, opalin şeyl, pişmiş kil ve uçucu küldür.

### Sera Gazı

Dünya atmosferi çeşitli gazlardan oluşur. Ayrıca küçük miktarlarda bazı asal gazlar bulunmaktadır. Güneşten gelen ışınlar (ısı ışınları/kısa dalgalı ışınlar), atmosferi geçerek yeryüzünü ısıtır. Atmosferdeki gazlar, yeryüzündeki ısının bir kısmını tutar ve yeryüzünün ısı kaybına engel olur. Atmosferin, ışığı geçirme ve ısıyı tutma özelliği vardır. Atmosferin ısıyı tutma yeteneği sayesinde suların sıcaklığı dengede kalır. Böylece nehirlerin ve okyanusların donması engellenmiş olur. Bu şekilde oluşan, atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine "sera etkisi" denir.

### Sıfır Atık

İsrafın önlenmesini, kaynakların daha verimli kullanılmasını, atık oluşum sebeplerinin gözden geçirilerek atık oluşumunun engellenmesi veya minimize edilmesi, atığın oluşması durumunda ise kaynağında ayrı toplanması ve geri kazanımının sağlanmasını kapsayan atık yönetim felsefesi olarak tanımlanan bir hedeftir.

### Su Ayak İzi

Su ayak izi, bir tüketici veya üreticinin hem doğrudan hem de dolaylı olarak temiz su kullanımının bir göstergesidir. Bir bireyin, topluluğun veya işletmenin su ayak izi, birey veya topluluk tarafından tüketilen veya işletme tarafından üretilen mal ve hizmetleri üretmek için kullanılan toplam temiz su hacmi olarak tanımlanır.

### Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

Sürdürülebilir kalkınma hedefleri diğer bir deyişle "küresel amaçlar", yoksulluğu ortadan kaldırmak, gezegenimizi korumak ve tüm insanların barış ve refah içinde yaşamasını sağlamak için evrensel eylem çağrısıdır.



Bu 17 Amaç, Birleşmiş Milletler Binyıl Kalkınma Hedeflerinin başarılarının üzerine inşa edilmekte; bir yandan da diğer önceliklerin yanı sıra iklim değişikliği, ekonomik eşitsizlik, yenilikçilik, sürdürülebilir tüketim, barış ve adalet gibi yeni alanları içermektedir. Amaçlar birbiriyle bağlantılıdır; bir amaçta başarının anahtarı, birbiriyle ortak yönleri olan sorunları hep birlikte ele almaktır.

### Sürdürülebilirlik

İlk kez 1987'de Birleşmiş Milletlerin Brundtland Raporu ismini verdiği raporunda bugünkü anlamıyla yer verilen sürdürülebilirlik kavramı, başlangıçta sürdürülebilir kalkınmayla özdeş bir şekilde kullanılmakta ve "Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmaktadır.

### Sürdürülebilirlik Raporu

Sürdürülebilirlik raporlaması; çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) hedeflerinin yanı sıra bir şirketin bunlara yönelik ilerlemesinin açıklanması ve iletilmesidir.

### Temiz Su

Tatlı su, deniz suyuna nazaran az miktarda tuz ve diğer çözülmüş katıları barındıran sudur. Tatlı su kavramı genellikle suyun içilebilir kimyasal özelliklere sahip olduğunu anlatmaktadır. Ekolojik döngü ile doğada oluşabileceği gibi insan yapımı gölet ve sarnıçlarda biriktirme, damıtma yoluyla da elde edilebilir.

### Termal Kütle

Termal kütle, bir malzemenin ısı enerjisini emme ve depolama yeteneğidir. Beton, tuğla ve kiremit gibi yüksek yoğunluklu malzemelerin sıcaklığını değiştirmek için çok fazla ısı enerjisi gerekir. Bu nedenle yüksek termal kütleye sahip oldukları söylenir. Ahşap gibi hafif malzemeler düşük termal kütleye sahiptir. Bir evin her yerinde termal kütle kullanımı, konfor, ısıtma ve soğutma faturalarında büyük bir fark yaratabilir.

### Ürün Veri Şablonu (PDT)

Üreticilerin, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) yöntem ve kavramlarını uygulayan projelerde kullanmak üzere ürünleri hakkında grafiksel olmayan bilgiler sağlamalarına olanak tanıyan standart formlardır.

### Ürün Bilgi Şablonu (PDS)

Ürün veri şablonu mekanizmasına dâhil edilmiş müşteriye özel gereksinimlere göre her bir ürünün, malzemenin veya bileşenin performansını ve diğer teknik özelliklerini özetleyen dokümandır.

### Ürün Kategori Kuralları (PCR)

Ürün Kategori Kuralları, PCR belli bir ürün kategorisine ait EPD belgesi için başlıca kural ve gereklilikleri tanımlayan belgelerdir.

### Yan Ürün

Yan ürünler, üretim süreci sırasında üretilen ve kârlı bir şekilde satılabilen veya yeniden kullanılabilen ikincil mallardır. Ürün veya süreç benzerlikleri nedeniyle genellikle birlikte veya sıralı olarak üretilen ürünler de olabilir. Yüksek fırın cürufu buna bir örnektir.

### Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)

Yapı bilgi modellemesi, mekânların fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin dijital temsillerinin üretilmesini ve yönetilmesini içeren çeşitli araçlar, teknolojiler ve sözleşmeler tarafından desteklenen bir süreçtir.

### Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)

YDA, bir ürün ya da hizmetin üretiminden tüketimine kadar (beşikten mezara) tüm süreçleri kapsayacak şekilde değerlendirilmesidir. YDA bir ürün, proses ya da hizmet için kullanılan enerji, ham madde ve bundan dolayı oluşan atık ve emisyonların çevresel etkilerini ve bu süreçte doğal kaynakların tüketimini ve çevresel iyileştirme fırsatlarını değerlendiren bir araç ve yöntemdir. ISO 14040/44 serisi standartları ile nasıl yapılacağı ve çerçevesi belirlenir.

### Yaşam Döngüsü Envanteri

Yaşam döngüsü envanteri (LCI), bir ürün sistemi için girdi ve çıktı akışlarının envanterini oluşturmayı içeren metodoloji adıdır. Bu tür akışlar, su, enerji ve ham madde girdilerini ve havaya, toprağa ve suya salımları içerir. Envanter literatür analizine veya süreç simülasyonuna dayalı olabilir.

### Yaşam Döngüsü Maliyeti

Yaşam döngüsü maliyeti (LCC), bir varlığın başlangıç sermaye maliyetleri, bakım maliyetleri, işletme maliyetleri ve varlığın ömrünün sonundaki kalıntı değeri dâhil olmak üzere yaşam döngüsü boyunca toplam maliyetini değerlendiren bir yaklaşımdır.

### Yeşil Beton

Yeşil beton, bileşenlerinden en az biri olarak atık malzeme kullanan veya üretim süreci çevresel tahribata yol açmayan veya yüksek performans ve yaşam döngüsü sürdürülebilirliğine sahip beton olarak tanımlanmaktadır.



### Yeşil Bina

Bir binanın yaşam döngüsü boyunca çevreyle uyumlu olması ve doğal kaynakları verimli kullanmasını ifade eder. Bu; tüm proje aşamalarında yüklenici, mimarlar, mühendisler ve müşterinin yakın iş birliğini gerektirir.

### Yeşil Satın Alma

Yeşil satın alma; sonuçları diğer rakip ve benzeri satın almalarla karşılaştırıldığında çevreye, insan sağlığına ve güvenliğine olabilecek en az zararlı etkiye sahip olan veya çevre üzerinde olumlu etki yaratan mal, iş, hizmet veya danışmanlıkların satın alınması olarak tanımlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. One Click LCA, "7 Steps Guide To Building Life Cycle Assessment"  
<https://www.oneclicklca.com/wp-content/uploads/2018/03/7-steps-guide-to-Building-Life-Cycle-Assessment-white-paper-by-One-Click-LCA.pdf>
2. Umweltbundesamt, "Basic Principles And Recommendations For Describing The Dismantling, Post-Use, And Disposal Stage Of Construction Products"  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-06\\_texte\\_130-2020\\_guidance-document-construction-industry.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-06_texte_130-2020_guidance-document-construction-industry.pdf)
3. Tangüler, M., Gürsel, P. ve Meral, Ç. "Türkiye'de Uçucu Küllü Betonlar İçin Yaşam Döngüsü Analizi", 9. Ulusal Beton Kongresi  
[https://www.researchgate.net/publication/275271123\\_Turkiye'de\\_Ucucu\\_Kullu\\_Betonlar\\_Icin\\_Yasam\\_Dongusu\\_Analizi](https://www.researchgate.net/publication/275271123_Turkiye'de_Ucucu_Kullu_Betonlar_Icin_Yasam_Dongusu_Analizi)
4. Carbon Leadership Forum, "2021 Carbon Leadership Forum Material Baselines"  
<https://carbonleadershipforum.org/material-baselines/>
5. EPD Turkey, Çevresel Ürün Beyanları  
<https://www.datocms-assets.com/37502/1608731476-introducingepd2017turkishweb-pdf.pdf>
6. Şanal, İ. "Beton Üretiminin Karbondioksit Emisyonları Açısından Önemi: Toplumsal Ve Çevresel Etkiler", Politeknik Dergisi, 21(2): 369-378, (2018).  
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/418238>
7. UK Generic ready-mixed concrete EPD  
<https://www.concretecentre.com/TCC/media/TCCMediaLibrary/PDF%20attachments/Generic-ready-mixed-concrete.pdf>
8. One Click LCA, "City Policy Framework For Dramatically Reducing Embodied Carbon"  
<https://www.embodiedcarbonpolicies.com/>
9. Carbon Leadership Forum, "Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide"  
<https://www.carbonleadershipforum.org/wp-content/uploads/2018/06/CLF-LCA-Practice-Guide-v1.0-2018-06-28.pdf>
10. NSF International , "Product Category Rule (PCR) Development"  
[https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/concrete\\_pcr\\_2019.pdf](https://d2evkimvhatqav.cloudfront.net/documents/concrete_pcr_2019.pdf)
11. EFCA, "Plasticisers and superplasticisers EPD 2015"  
<http://www.efca.info/download/plasticisers-and-superplasticisers-epd-2015/#>
12. The Institution of Structural Engineers, "How to calculate embodied carbon"

13. Engin, Y. "Betonun Termal Kütlesi ve Enerji Verimliliğine Etkisi"  
<https://www.istructe.org/resources/guidance/how-to-calculate-embodied-carbon/>  
<https://www.betonvecimento.com/beton-2/betonun-termal-kutlesi-ve-enerji-verimlilikine-etkisi>
14. Engin, Y. "Sıfır Karbon Hedefinde Yapısal Beton – 1"  
<https://www.betonvecimento.com/beton-2/sifir-karbon-hedefinde-yapisal-beton-1>
15. Carbon180, "Paving the Way for Low-Carbon Concrete"  
<https://carbon180.org/s/Paving-the-Way-for-Low-Carbon-Concrete>
16. Chatham House, "Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete"  
<https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf>
17. IEA, "2019 Global Status Report for Buildings and Construction"  
<https://www.worldgbc.org/sites/default/files/2019%20Global%20Status%20Report%20for%20Buildings%20and%20Construction.pdf>
18. IEA, "2020 Global Status Report for Buildings and Construction"  
[https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR\\_FULL%20REPORT.pdf](https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf)
19. ClimateWorks Foundation, "Deep decarbonization pathways for the cement and concrete cycle in the United States, India, and China"  
[https://www.climateworks.org/wp-content/uploads/2021/03/Decarbonizing\\_Concrete.pdf](https://www.climateworks.org/wp-content/uploads/2021/03/Decarbonizing_Concrete.pdf)
20. European Concrete Platform, "Sustainable Benefits of Concrete Structures"  
[https://www.theconcreteinitiative.eu/images/ECP\\_Documents/SustainableBenefitsConcreteStructures\\_EN.pdf](https://www.theconcreteinitiative.eu/images/ECP_Documents/SustainableBenefitsConcreteStructures_EN.pdf)
21. Olanrewaju, I., Edwards, J., Chileshe, N. (2020). "Estimating On-Site Emissions During Ready Mixed Concrete (RMC) Delivery: A methodology". Case Studies in Construction Materials, Vol. 13
22. Klöpffer, W., Grahl, B. (2014). "Life Cycle Assessment (LCA) - A Guide to Best Practice" Wiley-VCH
23. Cao, Z., Myers, R.J., Lupton, R.C. et al. The sponge effect and carbon emission mitigation potentials of the global cement cycle. Nat Commun 11, 3777 (2020).  
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-17583-w>
24. İMSAD, "Sürdürülebilir İnşaat Malzemeleri Terimler Sözlüğü"  
[https://www.imsad.org/Uploads/Files/Surdurulebilir\\_Terimler\\_Sozlugu\\_Genisletilmis\\_Baski\\_2018.pdf](https://www.imsad.org/Uploads/Files/Surdurulebilir_Terimler_Sozlugu_Genisletilmis_Baski_2018.pdf)
25. <https://cedbik.org/>

26. <https://www.turkcimento.org.tr/>
27. <https://recturkey.files.wordpress.com/2017/02/yda.pdf>
28. <http://docplayer.biz.tr/1959376-lklm-degisikligi-karbon-proje-ve-piyasasi-terimler-sozlugu.html>
29. <https://epdturkey.org/epd-hakkinda/sss/>
30. <http://www.cevreselurunbeyani.com/>
31. <https://criticalconcrete.com/the-reality-of-concrete/>
32. <https://circularecology.com/concrete-embodied-carbon-footprint-calculator.html>



[www.thbb.org](http://www.thbb.org)