



TÜRKÇİMENTO

**YENİDEN
KARBONATLAŞMA**

TÜRKÇİMENTO
2024

Bu raporun yayın ve dağıtım hakkı TÜRKCİMENTO'ya aittir. Tamamı veya herhangi bir bölümü TÜRKCİMENTO'nun yazılı izni olmadan fotokopi dahil mekanik ve elektronik ortamda transfer edilemez, çoğaltılamaz ve dağıtılamaz.



İklim değişikliği ile mücadele giderek artan bir önemle birçok ülkenin ve sanayi sektörünün ana gündem maddesi olarak öne çıkmaktadır. Dünya geneline yayılan anormal iklim koşulları ve daha da kötüleşen gelecek senaryoları, gerekli aksiyonların gecikmeden alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Bunun için de en etkili yol insan kaynaklı karbon salımını azaltarak net

sıfır hedefine ulaşmaktır. Bu kapsamda birçok azaltım teknolojisi öne çıkmaktadır. Bu teknolojilerle birlikte ekstra bir çaba gerektirmeden doğal yollarla atmosfere salınan karbondioksitin tamamı olmasa da bir kısmının geri yakalanması söz konusu olabilmektedir. Bu konuda en bilinen örnek, bitkilerin fotosentez yoluyla karbondioksiti kullanmasıdır. Bu nedenle de ormanların karbondioksit için küresel bir yutak görevi yaptığı bilinmektedir. Bunun yanı sıra çok daha az bilinen; yaşadığımız çevremiz, şehirlerimiz ve alt yapımızda kullandığımız beton başta olmak üzere çimento içeren malzemelerin karbondioksiti kendine bağlama yeteneğidir. Bu özelliğe yeniden karbonatlaşma (karbonizasyon) denilmektedir.

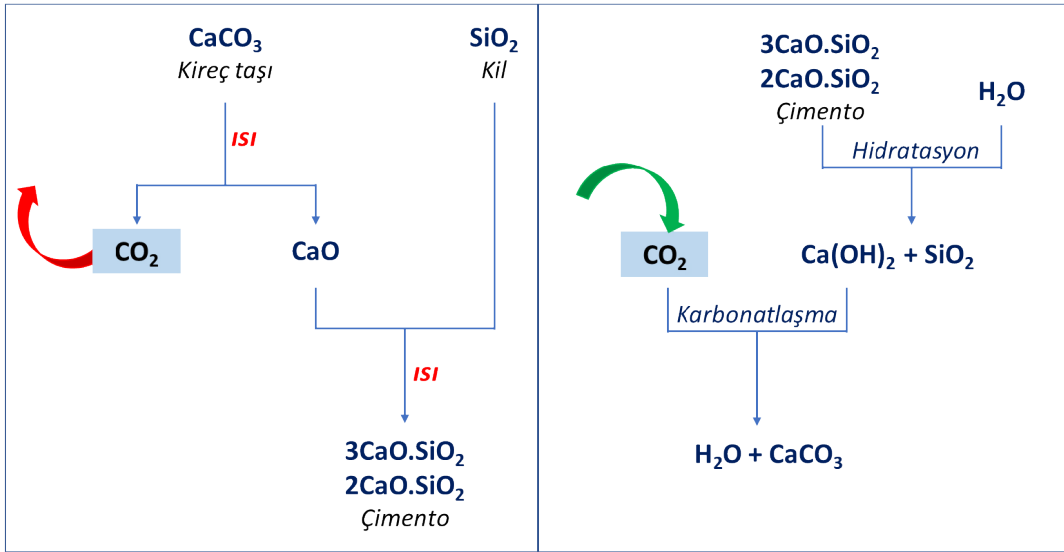


“Çimento içeren malzemeler bitkiler gibi karbon yutağıdır.”

Yeniden karbonatlaşmayı daha iyi anlayabilmek için betonun özelliklerini analiz etmek gerekmektedir. Beton; agrega, kum, çimento, su ve çeşitli kimyasal veya mineral katkıların karıştırılmasıyla üretilen ve dünya çapında en yaygın kullanılan insan yapımı malzemedir. Betonun içerisinde bağlayıcı malzeme olarak kullanılan çimento, kireç taşı ve kilin 1450°C'ye kadar çok yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ve daha sonra öğütülmesi ile üretilmektedir. Kireç taşının yüksek sıcaklığa (>900°C) maruz kalması sonucunda kalsiyum oksit (CaO) ve karbondioksit (CO₂) oluşmaktadır. Bu reaksiyona kalsinasyon denilmektedir ve çimento üretiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. İhtiyaç duyulan yüksek sıcaklıklara ulaşmak için döner fırında kullanılan fosil yakıtlar ise karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %40'ını teşkil etmektedir. Mevcut durumda üretimde açığa çıkan doğrudan karbon emisyonunun tümü atmosfere salınmaktadır; ancak yakın gelecekte karbondioksitin yakalanması, depolanması ve kullanılması hedeflenmektedir.

Yeniden Karbonatlaşma

Şekil 1'de görüldüğü üzere kalsinasyon reaksiyonu, beton ya da harçtaki hidrate olmuş (su ile reaksiyona girmiş) çimento ürünleri aracılığıyla doğal olarak tersine dönebilmektedir. Atmosferdeki karbondioksit, betona nüfuz ettiğinde betondaki boşluklarda bulunan suda çözünerek başta kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) olmak üzere hidrate olmuş ürünlerle reaksiyona girerek kireç taşı ve su meydana getirmektedir. Yeniden karbonatlaşma adı verilen bu süreç, tüm betonarme yapılarda (binalar, kaldırımlar, tüneller, barajlar, köprüler) ömürleri boyunca gerçekleşmektedir. Kumun, çimento ve su ile karıştırılmasıyla yapılan harç ve sıvada da karbonatlaşma meydana gelmektedir.



Şekil 1. Kalsinasyon (sol) ve yeniden karbonatlaşma (sağ) mekanizması

Yeniden karbonatlaşma henüz Ulusal Sera Gazı Envanteri Raporlarında yer almamasına rağmen betonarme binaların, yapıların ve ürünlerin karbon ayak izi hesaplama standartlarında (TS EN 16757), dekarbonizasyon yol haritalarında, IPCC raporlarında¹ yerini almıştır. Tek bir beton ürünü veya yapı için kalsinasyon reaksiyonu sonucu yayılan karbondioksitin yaklaşık %75'i eninde sonunda karbonatlaşma mekanizması ile yeniden bağlanmaktadır, ancak bunun gerçekleştiği zaman ölçeği birkaç ay veya yıldan yüzlerce yıla kadar değişebilmektedir².

¹ IPCC AR6 WGI Report - Climate Change 2021 The Physical Science Basis, 2021.

² CEN/TR 17310:2019 Carbonation and CO_2 uptake in Concrete.

TS EN 16757 (Yapıların sürdürülebilirliği - Çevresel mamul beyanları - Beton ve beton elemanlar için mamul kategori kuralları) Standardına göre:

Karbonatlaşma, betonun yaşam döngüsü boyunca meydana gelen doğal bir süreçtir. Ürünün üretim, kullanım ve ömrünün sonuna kadar ki süreçte dikkate alınır. Beton için bu, çimento üretimi sırasında yayılan karbondioksitin bir kısmının, bir binanın kullanım ve kullanım ömrü sonu aşamalarında betona geri döndüğü anlamına gelmektedir. Karbonatlaşma yoluyla karbon bağlama, yaşam döngüsü aşamalarının her birinde rapor edilebilir. Bağlanan karbon miktarı; beton tipine, kullanım ortamındaki çevre koşullarına ve kullanım ömrü sonu senaryosuna göre önemli ölçüde değişebilmektedir.

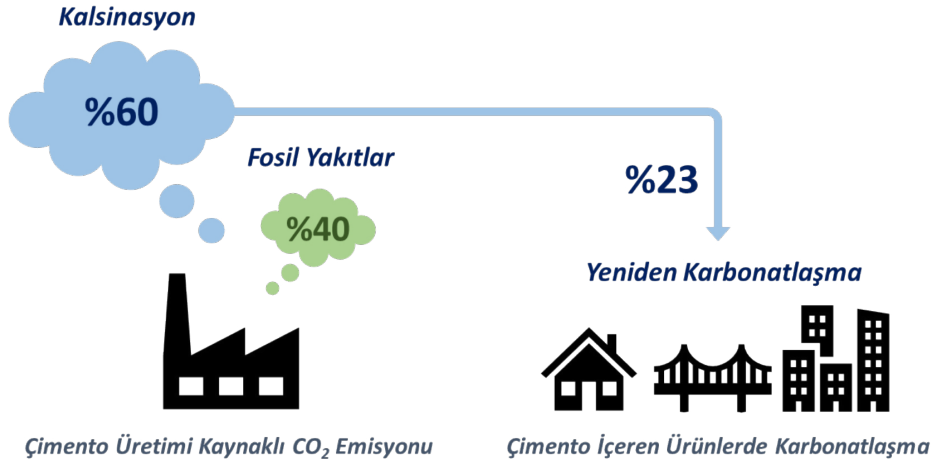
İsveç Çevre Araştırma Enstitüsü (IVL) tarafından hazırlanan bir raporda çimentodan kaynaklanan kalsinasyon emisyonlarının yaklaşık %23'ünün karbonatlaşma ile beton tarafından yeniden bağlandığı detaylı hesaplamalarla belirtilmiştir³. TSE CEN/TR 17310: Betonda Karbonatlaşma ve CO₂ Alınımı Standardında, betonda karbonatlaşma ve karbondioksit alımı hakkında ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir. Çeşitli çevre koşullarına maruz kalan bir dizi yapı için tipik CO₂ bağlama değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler inşa edilecek bir yapı hakkında herhangi bir ayrıntılı bilgiye sahip olunmadan betonun yaşam döngüsü analizi kapsamında kullanılmaktadır.

Akademik bir çalışmada; beton üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonu ile karşılaştırıldığında, yapıların hizmet ömrü boyunca %5,5-%5,7 ve yıkılan betonun ise geri dönüşümü sırasında %10-12 oranında CO₂ bağladığı tespit edilmiştir. Beton için toplamda %15,5-%17'ye ulaşan bu değer, çimento kaynaklı emisyonla karşılaştırıldığında %18-21'e karşılık gelmektedir⁴. Yıllık emisyonların %20'si kadar muhafazakâr bir yakalama oranı varsayıldığında küresel olarak yeniden karbonatlaşmanın 2050 yılında 242 milyon ton CO₂ seviyesinde olacağı tahmin edilmektedir⁵.

³ Stripple, H., Ljungkrantz, C., Gustafsson, T., Andersson, R., 2018. CO₂ uptake in cement-containing products (No. B2309). IVL.

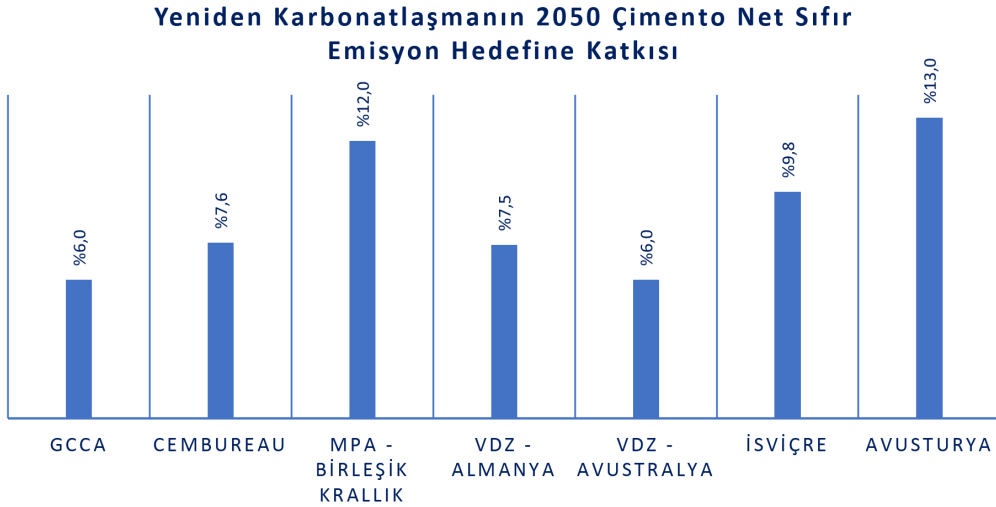
⁴Keun-Hyeok Yang, Eun-A Seo, Sung-Ho Tae, Carbonation and CO₂ uptake of concrete, Environmental Impact Assessment Review, Volume 46, 2014, Pages 43-52, ISSN 0195-9255,

⁵ Marmier, A., Decarbonisation options for the cement industry, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/174037, JRC131246.



Şekil 2. Yeniden karbonatlaşma ile betonun karbon bağlaması

Şekil 3'te farklı organizasyon ve ülkelerin 2050 Çimento Net Sıfır Emisyon hedefinde yeniden karbonatlaşmanın katkısı belirtilmektedir. Bu etki %6 ila %13 arasında değişmektedir.



Şekil 3. Çimento net sıfır emisyon yol haritalarında yeniden karbonatlaşmanın etkisi

Yeniden karbonatlaşmanın hızı; betonun geçirimsizliği, rutubeti ve bağlayıcı cinsi gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Harç, sıva, beton blok taşları gibi ince/gözenekli ve demir donatı içermeyen ürünler çok hızlı bir şekilde karbonatlaşırken, betonarme yapılar çelik donatının aşınmasını önlemek için son derece yavaş karbonatlaşacak şekilde tasarlanmaktadır. Yapının servis ömrü sonunda yıkılması ve oluşan beton atıklarının düzenli depolama sahalarına nakledilmesi sonucunda atmosferle temas eden yüzeyin artması karbonatlaşma sürecini hızlandırmaktadır. Yeniden karbonatlaşma; beton geri dönüştürüldüğünde, örneğin yol malzemesine dönüştürüldüğünde de devam etmektedir.

GÖRÜŞ VE ÖNERİLER

Çimento içeren malzemelerin havadaki karbondioksiti kalıcı olarak bağlama özelliği, ilgili literatürde ve standartlarda kendisine yer bulmuş bir gerçektir. Çimentonun su ile hidratasyonu sonucu oluşan ürünlerin atmosferdeki karbonu bağlama yeteneği çimento üretimindeki ana emisyon kaynağı olan kalsinasyon sürecinin tersinir özellikte olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle dünyada birçok kurumun raporlarında yer aldığı gibi yeniden karbonatlaşmanın kalsinasyon kaynaklı emisyonlardan düşürülmesi adil ve bilimsel olarak da gerekli bir durumdur.

Ulusal düzeyde yeniden karbonatlaşmanın hesaplanmasına ilişkin metodolojilerin belirlenmesi, bunun için diğer ülkelerin hesaplama yaklaşımlarının incelenmesi ve nihayetinde yeniden karbonatlaşmanın ulusal sera gazı envanteri hesaplamasına dahil edilmesi önerilmektedir.



TÜRKCİMENTO

Tepe Prime A Blok Kat: 18-19
Eskişehir Devlet Yolu
(Dumlupınar Bulvarı) 9. km
No: 266 06800 Ankara
T : 444 50 57 - F : 0 (312) 265 09 06-05
www.turkcimento.org.tr - info@turkcimento.org.tr