



TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI



## ÖNCÜL PROJE PROGRAMI

# YAPI VE İNŞAAT SEKTÖRÜNÜN KARBONSUZLAŞMASINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇİMENTO ÜRETİMİ

## DERİN ANALİZ RAPORU-ÖZET

Ekim 2023





# GİRİŞ

Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) 2023 yılı itibariyle odağını iklim teknolojilerine çevirmiş ve bu alanda gelecek yıllar içerisinde türünün ilk örneği olacak ve ölçeklenerek çoğaltılabilecek en az beş farklı iklim teknolojisi projesine yatırım yapmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla ilk olarak ülkemiz için öncelikli görülen iklim teknolojileri belirlenmiş ve bu teknolojilere yatırım yapmak amacıyla bir Girişim Sermayesi Yatırım Fonu kurularak **“Öncül Projeler Yatırım Programı”** başlatılmıştır. TTGV, bu vizyon doğrultusunda belirlediği öncelikli iklim teknolojileri için Derin Analiz (Deep Dive) adını verdiği çalışmaları yürüterek teknolojinin güncel durumunu yurt içi ve yurt dışı paydaşlarla bir araya gelerek araştırmaktadır. Derin analiz çalışması yapılan ilgili teknolojilerin araştırılmasının sonucu olarak bir bilgilendirme raporu çıkarılmaktadır. Bu rapor, araştırılan teknolojiyle ilgili temel bilgileri ve paydaş yaklaşımlarını ortaya koyduktan sonra bir proje kurgusu çıkararak yatırım ve yapılabilirlik üzerine yapılan çalışmaları içermektedir.

Öncül Projeler Yatırım Programı kapsamında 3. derin analiz proje konusu olarak **“Yapı ve İnşaat Sektörünün Karbonsuzlaşmasında Sürdürülebilir Çimento Üretimi”** seçilmiştir. Seçilen konunun anlaşılması, konu üzerinde mevcut durum analizi ve potansiyel proje senaryolarının oluşturulması için Temmuz-Ekim 2023 döneminde kapsamlı bir derin

analiz çalışması yürütülmüştür. Bu sektörel derin analiz çalışmasında, Türkiye çimento endüstrisinde dekarbonizasyon ve sürdürülebilir çimento üretimi kapsamında planlanan çalışmalar ve halihazırda yürütülen faaliyetler ele alınmıştır. Raporla ilk olarak hem küresel hem de Türk çimento sektörüne dair kısa bir genel bakış sunulmakta, bununla birlikte en yaygın üretim yöntemleri ve çimento endüstrisindeki değer zinciri uçtan uca değerlendirilmektedir. Ardından bu endüstrinin temel dekarbonizasyon yolları aktarılarak, talep odaklı yeniliklerin çimento endüstrisinde emisyon azaltımını nasıl destekleyebileceği incelenmiştir. Ayrıca bu sektörde daha düşük karbon emisyonu destekleyecek yeniliklerin ülke genelinde ölçeklendirilmesini kolaylaştırabilecek gerekli mevzuat ve politikalar da rapor kapsamında araştırılmıştır. Aşağıda bu çalışmada elde edilen bulgular ve sonuçlara dair özet değerlendirmeler yer almaktadır:

1. Türk çimento sektörü Dünya'nın 2. ve Avrupa'nın ise en büyük çimento ihracatçısı konumundadır. Sektörün büyük çoğunluğu yerli sermayeye sahip firmalar ve uluslararası ortaklık yapısını benimsemiş firmalar ile faaliyetlerine devam etmekte olup, belirli yerel lokasyonlara dağılmış haldeki fabrikalarda üretim yapılmaktadır. 2021 yılı itibarıyla 56 entegre tesis ve 21 öğütme tesisi ile dünyanın 155 ülkesine satış yapan Türk çimento sektörü, birim kütle başına ucuz bir ürün üretmesine karşın ülkemiz ekonomisinin lokomotif sektörleri arasında yer almaktadır.
2. Ülkemizde artan konut ihtiyacı yanında yaşanan deprem felaketi sonrası yeniden inşa faaliyetleri ile birlikte hızlanan kentsel dönüşüm çalışmaları ve devam eden büyük alt yapı projelerine bağlı olarak ülkemizde çimento ihtiyacının artacağı öngörülmektedir. İhtiyaca bağlı olarak talebin artması durumunda sektördeki uzmanlar tarafından, **Türk çimento sanayisinin mevcut kapasitesi ile hem iç hem dış pazardaki tüm ihtiyacı karşılayabileceği** dile getirilmektedir.
3. Çimento sektörümüzün enerji kullanım oranlarına bakıldığında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı (EVÇED) tarafından yürütülen sektörel kıyaslama çalışması verilerine göre çimento sektörü, 2021 yılında, 7.692 Bin TEP'lik tüketimi ile **toplam enerji tüketiminde %6,25, sanayi sektörü tüketiminde de %18,48** paya sahiptir. Bununla birlikte, küreselde sera gazı emisyonlarının yaklaşık %7-8'ini oluşturan çimento sektörü, ülkemizde ise toplam emisyonların yaklaşık %11-12'sini oluşturmaktadır. Böylelikle, çimento sektörü

yoğun enerji kullanımı ve önemli oranda sera gazı salımı yapan sektörlerimizden biridir.

4. Ülkemizin 2053 yılı için “sıfır emisyon” taahhüdü bulunmaktadır. Yakın vadede ise AB'nin “Fit for 55” kapsamındaki en önemli araçlarından biri olan **Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizmasının (SKDM)** 2026 yılında tam olarak uygulamaya alınmasıyla birlikte çimento sektörümüzün de önemli ölçüde etkileneceği düşünülmektedir.
5. Çimento üretiminde ana karbon kaynağı klinker üretiminden gelen emisyonlar (**~%60 proses emisyonları, ~%40 yakıt emisyonları**) olup, klinker üretimi Kapsam 1 emisyonu içerisinde yer almaktadır. Bu aşamadan sonra gelen çimento üretimi ise elektrik tüketimi yoğun olan fan, değirmen ve öğütme sistemleri gibi süreçlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilir çimento üretimi için ilk adım olarak Kapsam 1 emisyonları azaltmak için klinker kullanım oranının düşürülmesi üretici firmalar için en öncelikli ve en hızlı yöntemdir.
6. Küreselde yapı inşaat sektörü için çimento üretiminde karbonsuzlaşma yol haritasına bakıldığında **termal ve elektriksel verimlilik** çalışmalarının en gelişmiş teknoloji alanları olduğu söylenebilir. Mevcut durumda bu teknolojiler özelinde çimento sektörü yeterli olgunluk seviyesine ulaşmıştır. Bu teknolojilerin ardından çimento üretiminde **alternatif yakıt** ve **hammadde kullanımı**, çimento içerisindeki klinker miktarının azaltılmasına yönelik teknolojiler ve **yeni nesil bağlayıcı malzemelerin kullanımı** gelmektedir. Bir sonraki aşamada ise, sektörün tüm değer zinciri göz önünde bulundurulduğunda **karbon yakalama, kullanım ve depolama teknolojileri** yer almaktadır. Bununla birlikte, yapı inşaat sektörünün son aşaması olan yapı kısmına geçişte ise **düşük karbonlu beton** ve **karbonatlaşma teknolojileri** bulunmaktadır.
7. Çimento üretiminde **ana yakıt kaynakları kömür ve petrokoktur**. Dolayısıyla enerji ihtiyacı genel olarak fosil yakıt kullanımı ile karşılanmaktadır. Günümüzde çimento sektörü **yakıt ikamesi olarak farklı alternatif yakıt kaynakları** kullanarak emisyonu düşürmeye çalışmaktadır. 2022 yılında çimento sektöründe alternatif yakıt kullanımı **1,5 milyon** tona ulaşmıştır. Sektörde en çok kullanılan alternatif

yakıt yaklaşık %50 oranı ile Ömrünü Tamamlamış Lastiklerdir. Ancak, ülkemizde sektörün ihtiyacını karşılayacak yeterli miktarda ömrünü tamamlamış lastik temin edilemediği için alternatif yakıt olarak kullanılan lastikler ithal edilmektedir. Buna ek olarak, **kömür ve petrokok yerine alternatif yakıt kaynağı olarak biyokütle kullanımı** da yakıt emisyonlarını düşürmek için umut vadeden çözümlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Ancak, biyokütle kaynaklarının sınırlı ve talebin çeşitli sektörlerde yüksek olması önemli bir arz sıkıntısı yaratmaktadır.

8. Çimento sektöründe oluşan emisyonların yaklaşık olarak %40'ından sorumlu olan fosil ya da hidro-karbon türevli yakıtlar yerine **hidrojenin alternatif yakıt** olarak kullanılması, çimento sektörünün emisyonu kaynağında önlemesi dünya genelinde çığır açıcı bir teknoloji olarak görülmektedir. Gelecek yıllarda temiz hidrojenin kg bazında fiyatının 4 \$ seviyelerine gerilemesi durumunda çimento sektörü için sürdürülebilir ve temiz bir yakıt kaynağı olarak potansiyeli oldukça yüksektir.
9. Gerek yaşanan depremler sonrasında gerekse de kentsel dönüşüm çalışmaları sonrasında çok büyük miktarlarda inşaat yıkıntı atığı ortaya çıkmış ve çıkmaya da devam etmektedir. Bunun sonucunda inşaat yıkıntı atıklarının ortadan kaldırılması amacıyla yeniden kullanımı gündeme gelmiştir. İnşaat yıkıntı atıklarının içeriğinde bina molozları, karışık evsel atıklar, elektronik cihazlar, değerli malzemeler, çeşitli tehlikeli atıklar ve demir gibi farklı malzemeler yer almaktadır. Bu nedenle, atık ayrıştırma sürecinin deprem atıklarının tekrar ekonomiye kazandırılması amacıyla önemli bir süreç olduğu unutulmamalıdır. Tüm bunlar düşünüldüğünde ülkemiz için, **inşaat ve yıkıntı atıklarının çimento sektöründe kullanımı ve emisyon azaltımı kapsamında yeni imkanlar oluşturması**, sektörde inşaat yıkıntı atıklarının kullanımını ön plana çıkarmaktadır. **BS EN 197-6:2023** "Geri Dönüştürülmüş Yapı Malzemeleri İçeren Çimento" standardının yayınlanmış olması önümüzdeki yıllarda bu tip çimento üretimini teşvik edecek adımlardan biridir.
10. Yapı inşaat sektörü ve diğer emisyon yoğun sektörlerin net sıfır emisyon hedeflerine ulaşabilmesi için **Karbon Yakalama, Kullanım ve Depolama** teknolojileri kilit rol oynama potansiyeline sahiptir. Sektör özelinde bu teknolojilere ilginin yüksek olduğu bilirse de kullanım ve depolama kısmında yer alan belirsizliklerden kaynaklı olarak ortak bir yol haritasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapı-İnşaat değer zincirinde emisyonun en yoğun olduğu çimento üretimi için yakalanan karbonun bir diğer

ürüne dönüştürülüp kullanılması yeni yatırım fırsatları ve yeni pazar potansiyeli anlamına gelmektedir. Karbon kullanım aşaması için sektörler arası iş birlikleri, karbon depolama kapsamında ise ülkemiz özelinde depolama kapasitesine ve tekniklerine yönelik çalışma yapılması gerekmektedir.

## Çimento Sektörünün Karbonsuzlaşması için Farklı Yollar

Çimento sektörünün geniş kullanım alanı ve farklı emisyon kaynaklarına bağlı olarak çok sayıda kirletici değişkene sahip olması göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma kapsamında görüşülen kişi ve kurumlardan edinilen bilgiler, TTGV Ekibi'nin iç görüşüyle birleştirilerek beş farklı proje kurgusu oluşturulmuştur. Yapı ve İnşaat Sektörünün Karbonsuzlaşmasında Sürdürülebilir Çimento Üretimi Derin Analiz Çalışması sonucunda, ülkemiz çimento sektörü için karbon ayak izini azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak için her birinin kendi potansiyeline bağlı olarak sektörde dönüşüm sağlayabileceği düşünülen bu **5 proje kurgusu** şu şekilde özetlenebilir:

- **Temiz Hidrojenin Çimento Fabrikalarında Alternatif Yakıt olarak Kullanımı:** Bu proje, temiz hidrojenin çimento fabrikalarında seçilen belirli oranlarda diğer alternatif yakıtlarla birlikte kullanılarak fosil yakıtların yerini almasını amaçlamaktadır. Temiz hidrojen, yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyan çimento döner fırınlarının enerji kaynağı olarak kullanılabilir, böylece karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltılabilir. Ayrıca, hidrojen kullanımının pilot ölçekte ülkemizde gösterimi farklı sanayi kollarının kullanımına da fırsat sağlayacak ve böylelikle temiz hidrojen pazarının oluşumunu tetikleyici öncü bir proje oluşacaktır.
- **Beton Atıklarının Geri Dönüşümü ile Düşük Karbon Ayak İzine Sahip Klinker Üretimi:** Bu proje, inşaat atıklarının geri dönüşümü yoluyla klinker üretim süreçlerini optimize etmeyi, baca gazı karbondioksit emisyonlarını yakalayarak karbonatlaşma yöntemi ile dögüsel olarak kullanımını amaçlamaktadır. Beton atıklarının kullanılması, yeni hammaddelere olan ihtiyacı azaltarak çimento üretim tesislerinin karbon ayak izini düşürecektir. Ülkemizde, farklı coğrafi bölgelerde bulunan çimento firmalarının, kentsel dönüşüm sonucu seçici yıkımla oluşan/ oluşacak atıkları geri dönüştürüp değerlendirme konusunda ilgisinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

- **Çimento Fabrika Baca Gazından Mikroalgler (Mikroyosun) ile Biyolojik Karbon Yakalama:** Bu proje, çimento fabrikalarının baca gazlarındaki karbondioksiti mikroalgler kullanarak yakalamayı ve kullanmayı hedefler. Farklı birçok CCUS teknolojisine ek olarak biyolojik yollarla karbonun yakalanması ve değerlendirilmesi konusu da tutulan karbonun kullanımı için alternatif bir yol önermesi nedeniyle önemli bir potansiyele sahiptir. Bu teknolojinin en önemli avantajı, CO<sub>2</sub> içeren çimento fabrikası baca gazının ek bir saflaştırma ünitesine ihtiyaç duymadan doğrudan kullanılabilmesidir. Baca gazı kompozisyonundaki NO<sub>x</sub> gibi eser bileşenlerin mikroalglerin büyümesi üzerinde olumsuz etkileri bulunmadığından oldukça pahalı ve enerji yoğun bir süreç olan baca gazının saflaştırılması aşaması biyolojik karbon yakalamada göz ardı edilebilmektedir.
- **Oksi Yakıt Teknolojisi ile Daha Verimli Karbon Yakalama ve Değerli Kimyasalların Üretimi:** Bu proje, oksijen yakıt teknolojisinin kullanılmasıyla çimento üretim süreçlerinde daha yüksek saflıktaki karbon yakalama kapasitesini artırmayı ve değerli kimyasalların üretimini desteklemeyi amaçlar. Günümüzde tipik bir çimento fabrikasının baca gazı içeriğinde yaklaşık olarak %15 ila %25 arasında CO<sub>2</sub> bulunmaktadır. Bu kapsamda, CO<sub>2</sub>'nin baca gazı içerisinde bulunan diğer gazlardan ayrıştırılarak yakalanması gerekmektedir. Diğer bir deyişle karbon yakalama, kullanım ve depolama teknolojilerinde verimlilik sağlanması ve endüstriyel ölçekte uygulanabilmesi için saf CO<sub>2</sub> eldesi önemlidir. Yakalanan yüksek saflıktaki karbondioksit saflığına bağlı olarak gıda, kimya, plastikler, yakıt, gübre, yapı malzemeleri, biyolojik dönüşüm ve mineral karbonizasyon gibi farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilir.
- **Yeni Nesil Katkılı Çimento Üretimi - Kireçtaşı Kalsine Kil Kullanımı:** Bu proje, kireçtaşı kalsine kilin çimento üretiminde kullanılmasını içermektedir. Bu yaklaşım, geleneksel klinker üretimi süreçlerine göre daha düşük karbon salınımına sahip çimento üretimini teşvik edecek olup örneklem etkisi yüksek bir projedir. Ülkemizde net sıfır emisyon hedefi kapsamında bazı çimento firmaları bu konu üzerine yoğunlaşmıştır.

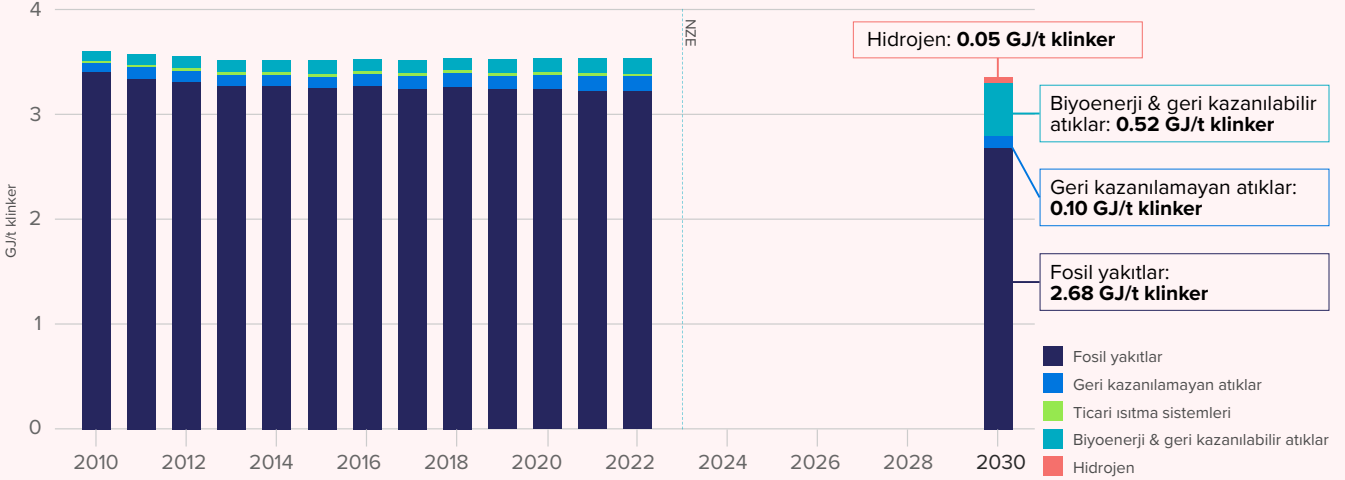
Önerilen potansiyel proje konularının ölçeklenebilirlik ve yatırım aşamasına geçişi için TTGV tarafından bazı ön koşullar belirlenmiştir. TTGV Sürdürülebilir Çimento ekibi tarafından yapılan derin analiz çalışmasında bu ön koşullara uyumlu olmaları nedeniyle **“Temiz Hidrojenin Çimento Fabrikalarında Alternatif Yakıt olarak Kullanımı”** ve **“Beton Atıklarının Geri Dönüşümü ile Düşük Karbon Ayak İzine Sahip Klinker Üretimi”** proje kurguları, uygulama alanı olarak mevcut koşullarda diğer proje kurgularına göre bir adım öne çıkmaktadır. Bu kapsamda derin analiz çalışmasının ardından bu iki proje kurgusu için doğru iş modelinin ve uygun değer zincirinin oluşturulabilmesi amacıyla potansiyel proje paydaşlarının taranacağı ve projelerin teknik/finansal fizibilitelerinin yapılacağı yeni bir aşamaya geçilmiştir.

## Önerilen Uygulama Alanları

### 1. Temiz Hidrojenin Çimento Fabrikalarında Alternatif Yakıt olarak Kullanımı

Global çimento üretiminde kısa-orta vadede sektörün dekarbonizasyonu amacıyla atılabilecek en önemli ve hızlı adımlardan biri olarak döner fırınlarda hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanımı öne çıkmaktadır. Özellikle doğalgaz, petrokok ve farklı türdeki kömürlerin birincil yakıt olarak kullanıldığı geleneksel çimento üretim sürecinde, toplam emisyonların yaklaşık üçte birini oluşturan yakıttan kaynaklı emisyonların yeşil hidrojen gibi temiz bir enerji taşıyıcısı ile düşürülmesi mümkündür. Günümüz üretim koşullarında farklı üretim lokasyonlarında **1 ton klinker üretmek için ortalama 1,7 ton hammadde tüketilmektedir**. Bununla birlikte bu hammaddeyi işlemek için belirli bir termal enerjiye de ihtiyaç duyulmaktadır. 2050 yılına kadar çimento sektörünün “Net Sıfır Emisyon (NZE)” hedeflerine uyum sağlaması açısından klinker üretiminin termal enerji yoğunluğunun düzenli olarak azaltılması amacıyla biyoenerji ve hidrojen gibi alternatif enerji kaynaklarının artarak kullanımı kritik bir öneme sahip olacaktır.





**Şekil 1** Net Sıfır Senaryosunda yakıtla dayalı klinker üretiminin küresel termal enerji yoğunluğu

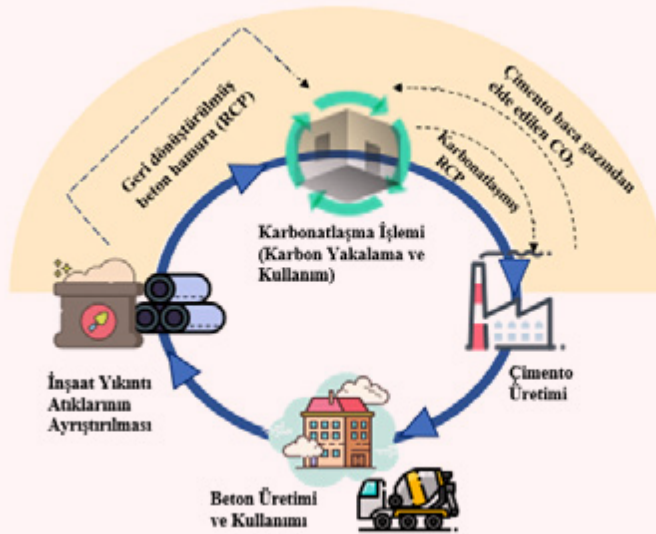
(Kaynak: IEA. Global thermal energy intensity of clinker production by fuel in the Net Zero Scenario 2010-2030)

Hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanımı sektörün tamamına uygulandığında emisyonların azaltımı konusunda kaldıraç etkisi yaratması beklenmektedir. Hidrojenin döner fırınlardaki yanma rejimi konusunda zamanla deneyim kazanılıp çimento üreticilerinin kendi karışım reçeteleri oluşmaya başladığında bu konunun sektörün geneli için de bir örneklem etkisi yaratacağı düşünülmektedir. Böylece hem üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına hem de petrol kok ve kömür ithali önlenerek döviz tasarrufu sağlanmasına ve cari açığın azaltılmasına katkı sağlanabilir. Hidrojenin alternatif yakıt olarak çimento fabrikalarındaki ilk kullanım örnekleri petrokok yerine belirli miktarda Hidrojeni ve atıktan türetilmiş yakıt (RDF) karışımını içeren çözümlerden oluşmaktadır. Bu kapsamda alternatif yakıt kullanım lisansına sahip olan çimento fabrikalarının hidrojene geçiş sürecinde ilk yatırım maliyetleri ve OPEX konusunda önemli bir avantaja sahip olacağı söylenebilir.

Ülkemizde de alternatif yakıt kullanım oranlarının yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda, kömürün tamamen terk edilmesi amacıyla atık biyokütle ve ÖTL gibi alternatif yakıtlarla birlikte hidrojenin kullanımı da çimento fabrikalarının yakıt kaynaklı emisyonlarının azaltılmasında üreticilere çok önemli bir avantaj sağlayabilir.

## 2. Beton Atıklarının Geri Dönüşümü ile Düşük Karbon Ayak İzine Sahip Klinker Üretimi

Binalarda bulunan hazır beton içerisindeki Kalsiyum oksitinin (CaO) yapının zamanla havada bulunan karbondioksiti emmesi (karbon yutağı: rekarbonasyon) ve bu betonların kentsel dönüşüm/deprem gibi çeşitli nedenlerle atık beton haline gelmesi ile ortaya çıkan CaO bakımından zengin inşaat yıkıntı atıklarının tekrar çimento üretim sürecinde kullanımı mümkündür. Karbon yutağı, karbon içeren bazı kimyasal bileşikleri belirsiz bir süre boyunca biriktiren ve depolayan ve böylece atmosferden karbondioksiti çıkaran doğal ve yapay emilim kaynakları olarak tanımlanabilir. Bu yöntem ile elde edilen geri dönüştürülmüş beton hamuru (RCP- Recycled Concrete Paste), çimento fabrika baca gazından elde edilen karbondioksit yakalanarak mineral karbonatlaşma (karbonasyon) yoluyla çimento üretim hammaddesi olan Kalsiyum Karbonata ve tamamlayıcı çimento benzeri yapılar (SCM- Supplementary Cementitious Materials) çevrilebilmektedir. Ortaya çıkan bu Kalsiyum Karbonat sayesinde düşük karbon ayak izine sahip klinker üretilebilmektedir. Bu proje ile birlikte karbon yakalama ve kullanım teknolojisi karbonatlaşma yoluyla sağlanmaktadır. Beton atıklarının kullanılması, yeni hammaddelere olan ihtiyacı azaltacak ve karbon ayak izini düşürecektir.



**Şekil 2** Beton Atıklarının Geri Dönüşümü-Karbonatlaşma Teknolojisi ile Düşük Karbon Ayak İzine Sahip Klinker Üretimi

Hafriyat ve inşaat atıklarının yeniden değerlendirilmesine imkan vermesi ve çevre kirliliğinin önlenmesine sağladığı katkıların yanında çimento fabrikalarının emisyonlarını azaltma konusunda da çok önemli fırsatlar sunmaktadır. Diğer bir yandan, çimento üretiminin beton atıkların geri dönüşümü ve karbon yakalama teknolojisi kullanılarak sağlanması bazı potansiyel riskler ve zorluklar barındırmaktadır. Bunlar; beton atıklarının değişken kompozisyonundan kaynaklı olarak ayrıştırma sürecindeki zorluklar, beton atığını geri dönüştürmek ve işlemek, aynı zamanda atık malzemeleri toplamak ve taşımak için yüksek lojistik maliyetleri, geri dönüşümlü beton atıklarının işlenmesi kapsamında oluşabilecek sağlık problemleri şeklinde özetlenebilir. Bu bağlamda gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekliliği yer almaktadır.

Deprem bölgesi için iki yılda 100 milyon ton ilave agrega ihtiyacı öngörülmektedir. Türkiye’de 2022 yılında üretilen agrega miktarı yaklaşık olarak 300 milyon tondur ve üretilen bu agrega miktarının yaklaşık 200 milyon tonu hazır beton sektöründe, geri kalan kısmı ise asfalt, yol ve tünel yapımında kullanılmaktadır. Bu nedenle oluşan ilave agrega arzının yüksekliğinin bazı illerde gelecek yıllarda agrega temininde sorun yaşanmasına yol açması beklenmektedir. Ülkemizde daha önceki yıllarda beton atıklarının agrega olarak geri kazanımı konusunda çalışmalar yapılmış olsa da, karbon emisyonu azaltımının daha da etkili hale getirilebileceği bu tarz özgün bir projenin etkisinin çok daha büyük olacağı öngörülmektedir. Beton atıklarının geri dönüşümü için gerçekleştirilecek endüstriyel ölçekli böyle bir projede karbonasyona ek olarak fabrika baca gazından alınan CO<sub>2</sub>’nin de geri dönüştürülmüş beton hamuruna (RCP) beslenmesi ve mineral karbonatlaşma reaksiyonu yoluyla ek bir karbon yakalamanın daha yapılabilmesi mümkündür.



## SONUÇ

Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin her geçen gün daha fazla hissedilir hale gelmesiyle birlikte mevcut iklim teknolojilerine yapılan yatırımlar dünya genelinde artarken, emisyon yoğun endüstriler için yenilikçi çözüm arayışları ve yeni teknolojiler çok daha fazla önem kazanmaktadır. Dünya'nın 2. ve Avrupa'nın ise 1. en büyük çimento ihracatçısı olan Türkiye'nin Çimento sektöründe yeşil dönüşüm alanında yapacağı teknolojik atılımlar ve stratejik yatırımlar iklim değişikliğiyle mücadelede ülkemiz adına son derece kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, mevcut koşullara göre, program uzman ekibinin yaptığı değerlendirmeler sonucunda TTGV'nin yatırım kriterleri ve yapılabilirliği açısından öne çıkan **“Temiz Hidrojenin Çimento Fabrikalarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı”** ve **“Beton Atıklarının Geri Dönüşümü ile Düşük Karbon Ayak İzine Sahip Klinker Üretimi”** uygulama alanları için gerekli teknik/finansal fizibilite ve paydaş tarama çalışmaları, öncül iklim teknolojilerini ülkemiz çimento sektöründe uygulama motivasyonu ile vakfımız tarafından proje genel kurul toplantıları yoluyla şeffaf bir şekilde yürütülecektir.

**ÖNCÜL PROJE PROGRAMI**  
**YAPI VE İNŞAAT SEKTÖRÜNÜN**  
**KARBONSUZLAŞMASINDA**  
**SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇİMENTO ÜRETİMİ**  
**DERİN ANALİZ RAPORU-ÖZET**



TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI



ttgv.org.tr

**TTGV Merkez**

Cyberpark B Blok Kat: 5-6, Bilkent  
Ankara  
0312 265 02 72

**TTGV İstanbul Temsilciliği**

İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Arı Teknokent  
Arı II Binası Koruyolu A Blok Kat:7  
Maslak-Sarıyer  
0212 276 75 60

**İletişim için:**

info@ttgv.org.tr



#TeknolojiÜretenTürkiye  
#İklimÖncüsü



TTGV  
**ÖNCÜL PROJE**  
PROGRAMI  
#İklimÖncüsü