

## ÇİMENTO ENDÜSTRİSİNDE KLİNKER İKAMESİ

5 Mart 2024

### Sıkça Sorulan Sorular

Düşük karbonlu çimentolar ve özellikle çimentoda klinker ikamesi, paydaşlar tarafından halihazırda tartışılmaktadır. Ancak bu tartışma oldukça karmaşıktır ve bazen konunun ayrıntılı bir şekilde anlaşılmadığını gösteren asılsız iddialara konu olmaktadır. Bu SSS belgesi, konuya ışık tutmayı ve klinker ikamesi ile ilgili fırsatlar ve zorluklara net bir genel bakış sağlamayı amaçlamaktadır.

### ***Klinker nedir ve çimento endüstrisi neden daha az klinker kullanmaya çalışmaktadır?***

Klinker çimentonun ana bileşenidir. Özünde, bir fırında yaklaşık 1450°C sıcaklıkta ısıtılmış ve ısı ile kompleks reaktif minerallere dönüştürülmüş kireçtaşı ve diğer minerallerin bir karışımıdır. Klinker, üretildikten sonra ince formda öğütülür ve alçıtaşı ve normalde alternatif bileşenlerle (hammaddeler veya yan ürünler) karıştırılarak çimento haline getirilir<sup>1</sup>.

Klinker üretimi CO<sub>2</sub> yoğun bir süreçtir. Kireçtaşı (kalker) klinkere dönüştürülürken, kireçtaşının karbonatlarından kaynaklanan CO<sub>2</sub> açığa çıkar (bu emisyonlar proses emisyonları olarak bilinir ve çimento üretiminden kaynaklanan toplam emisyonların yaklaşık üçte ikisini oluşturur). Ayrıca, kimyasal reaksiyonları başlatmak ve sürdürmek için farklı yakıtların yanmasından kaynaklanan ve daha fazla CO<sub>2</sub> emisyonuna yol açan önemli miktarda ısıya ihtiyaç duyulur (bu emisyonlar yanma emisyonları olarak bilinir ve toplam emisyonların yaklaşık üçte birini oluşturur).

Klinker üretimiyle ilgili CO<sub>2</sub> emisyonlarının önemi göz önüne alındığında, çimento sektörü sürekli olarak klinker kullanımını en aza indirmenin ve optimize etmenin yollarını aramaktadır.

### ***Klinker-çimento oranının düşürülmesi çimento üretiminin dekarbonizasyonunun tek yolu mudur?***

Hayır. CEMBUREAU'nun karbon nötr yol haritasında belirtildiği üzere, sektörün dekarbonizasyonu; fırınların termal enerjisinin iyileştirilmesi, yanma emisyonlarını azaltmak için fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılarak daha temiz alternatiflere geçilmesi, klinker-çimento oranının düşürülmesi ve proses emisyonlarının üstesinden gelmek için karbon yakalama gibi farklı yöntemlerin bir arada kullanılmasını gerektirecektir.

Bu dekarbonizasyon yöntemlerinin her birinin kendine has zorlukları olduğunu vurgulamak önemlidir. Bu zorluklar, karbon yakalamanın, enerjide (elektrik) önemli bir artışla birlikte güçlü bir değer zinciri ve önemli yatırımlar gerektirmesi, fosil yakıt kullanımının azaltılmasının, daha düşük CO<sub>2</sub>'li alternatif yakıtlara ve sürdürülebilir biyokütleyle erişimi gerektirmesi ve geleneksel klinker ikamelerinin erişilebilirliğinin AB genelinde eşit olarak dağılmamış olması ve orta vadede sınırlı olması ve önemli ölçeklenebilirlik sorunlarına neden olmasını içermektedir.

Çimento fırınlarının coğrafi konumu da belirli bir tesisin yapacağı dekarbonizasyon yatırımlarının türünü büyük ölçüde etkileyecektir. Örneğin, bir sanayi alanında bulunan bir tesis klinker ikamelerine daha iyi erişime sahip olabilir veya Kuzey Denizi'nin yanında bulunan bir tesis, CO<sub>2</sub> depolama sahalarının yakınlığı nedeniyle karbon yakalamayı tercih edebilir.

<sup>1</sup> Klinker, çimento ve beton üretim süreçlerinin kapsamlı bir açıklaması için lütfen CEMBUREAU'nun Ocak 2021 tarihli 'Çimento Üretim Hikayesi' belgesine bakınız

## ***Teknik açıdan bakıldığında, çimentonun klinker içeriği nasıl düşürülebilir?***

Klinker-çimento oranının düşürülmesi, Tamamlayıcı Çimentosu Malzemelerin (TÇM'ler) kullanılmasını gerektirir. TÇM'ler, çimento sektörü tarafından uzun bir süredir kullanılmaktadır. Çimento ve beton performansına katkıda bulunurlar ve ayrıca özel uygulamalara yönelik özellikleri olan çimento ve beton üretmek için kullanılırlar.

Kullanımları hem CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaya hem de diğer endüstrilerden gelen ikincil malzemeler kullanarak döngüsel bir yaklaşıma izin verdiği ölçüde, AB'de en sık kullanılan TÇM'ler, uçucu kül (kömürle çalışan termik santrallerin bir yan ürünü) ve granüle yüksek fırın cürufudur (çelik endüstrisinin bir yan ürünü).

Kireçtaşı, doğal puzolanlar (silisli ve alüminyumlu malzemeler) ve kalsine kil gibi diğer bileşenler mevcuttur ve cüruf ve uçucu küle alternatif TÇM olarak uygundur.

İnşaat ve yıkıntı atıklarının ayrıştırılması ve işlenmesinden elde edilen geri dönüştürülmüş ince beton taneleri de ümit veren bir TÇM'dir.

Ayrıca, alüminyum ve cam üretiminin yan ürünleri gibi diğer bazı malzemeler, çimento yapımına uygunluk açısından araştırılmaktadır.

## ***Bu, emisyonları kısa vadede azaltmak için kolay bir yol olarak görünüyor. Herhangi bir sınırlama var mı?***

Evet, klinker ikamesi ile ilgili önemli zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklar aşağıdakiler ile ilgilidir:

- TÇM'lerin bulunabilirliği: Çelik ve enerji sektörlerinin dekarbonizasyonu ile birlikte, granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu külün bulunabilirliği zamanla kaçınılmaz olarak daha az olacaktır. CEMBUREAU, dış kaynaklara dayanarak şunları varsaymaktadır:
  - Avrupa'da 2020 yılında yaklaşık 13 milyon ton olan cüruf tüketimi (çimento içeriğinin %8'i) 2050 yılına kadar en fazla 4 milyon tona (çimento içeriğinin %2'sinden az) düşecektir.
  - Avrupa'da 2020 yılında yaklaşık 3 milyon ton olan uçucu kül tüketimi (çimento içeriğinin %2'si) 2050 yılına kadar en fazla 1 milyon tona (çimento içeriğinin %1'inden az) düşecektir.

Bu nedenle AB çimento sektörü, sürekli olarak bu TÇM'ler için yeni kaynaklar (örneğin katı atık depolama sahalarından geri kazanım) ve alternatif TÇM'ler (kalsine kil, geri dönüştürülmüş ince beton taneleri, doğal puzolanlar...) arayışındadır. CEMBUREAU, Avrupa'da TÇM'lerin ve alternatif hammaddelerin bulunabilirliğini inceleyen özel bir çalışma başlatmıştır<sup>2</sup>. Diğer bazı kaynaklar, malzemelerin bulunabilirliği konusunda benzer ancak eşit olmayan zorluklara işaret etmektedir.

- TÇM'lerin özellikleri: TÇM içeren çimentolar farklı özelliklere ve karakteristiklere sahiptir, bu nedenle kullanımları nihai uygulamaya ve çevresel koşullara bağlı olarak duruma göre değerlendirilmelidir. Potansiyel yeni TÇM'ler, çimentonun ve nihayetinde betonun mukavemetini ve dayanıklılığını koruduğunu garantiye almak için test edilmelidir (çimento üretimi için kimyasal sürdürülebilirlikleri, hidrolik ve puzolanik özellikleri, dayanıklılıkları, sürdürülebilirlikleri açısından). Tüm potansiyel TÇM'ler, kullanılan betonun dayanıklılığı ve mukavemeti üzerinde risk oluşturmadan veya özel koşullar (pas payı, beton karışımı tasarımı ve uygulaması) olmadan klinkerin yerini alamaz. Her bir ton çimento için büyük miktarda klinkere her zaman ihtiyaç duyulacaktır ve kullanılan TÇM'lerin miktarı kendine özgü özelliklerine ve niteliklerine bağlıdır.

<sup>2</sup> Daha fazla bilgi için lütfen Avrupa Çimento Sektöründe Alternatif Hammaddelerin Durumu ve Bunlara İlişkin Beklentiler (ECRA, 2022) çalışmasının yanı sıra ilgili Soru-Cevap bölümüne ve konuyla ilgili CEMBUREAU etkinliğinin 2023 kaydına bakınız.

- Ürünlerin kalite ve güvenlik seviyelerini sürdürmek için, genellikle diğer endüstrilerin yan ürünleri olan yeni TÇM'lerin çevre, sağlık ve güvenlik yönlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

### ***Bazı çimento şirketleri çok düşük klinkerli çimentolar üretmeyi başardı mı ve bu ürünler günümüzde ölçeklenebilir mi?***

Hem geleneksel AB çimento tedarikçileri hem de diğer operatörler çok düşük klinkerli çimentoları başarıyla üretmiştir. Bu, başlıca, çok düşük klinker-çimento oranına ve önemli ölçüde azaltılmış CO<sub>2</sub> emisyonlarına olanak tanıyan kaliteli granüle yüksek fırın cürufuna ayrıcalıklı erişime sahip olmak için çelik üreticileriyle yapılan özel ortaklıklar yoluyla gerçekleştirilmiştir.

Bununla birlikte, bu tür çözümlerin günümüzde ölçeklenebilir olduğunu iddia etmek gerçeklerle örtüşmez. Yukarıda belirtildiği üzere, TÇM'lerin bulunabilirliği önemli ölçeklenebilirlik sorunlarına neden olmaktadır ve bu tür çok düşük klinkerli çimentolar AB çimento talebini karşılayamamaktadır (örneğin, önde gelen düşük klinkerli çimento operatörlerinden biri, AB'nin yıllık 170-180 milyon ton çimento talebine karşılık küresel olarak yaklaşık 2,4 milyon ton üretim yaptığını raporlamaktadır).

### ***Daha düşük klinkerli çimento kullanmak daha düşük karbonlu beton veya daha düşük karbonlu inşaat anlamına gelir mi?***

Tam olarak değil ve bunun birkaç nedeni vardır:

- Betondaki gömülü karbon miktarı, metreküp beton başına kullanılan çimento miktarına bağlıdır. Örneğin, düşük klinkerli çimentoların kullanılması, betonun mukavemetini ve dayanıklılığını korumak için metreküp beton başına daha fazla çimentonun kullanıldığı bir duruma yol açabilir. Dolayısıyla bu durum, binalardaki betonun CO<sub>2</sub> etkisinin daha yüksek klinkerli çimento kullanımına benzer veya hatta daha yüksek olacağı anlamına gelmektedir.
- Düşük klinkerli malzemeler düşük karbonlu inşaatlara her zaman neden olmaz. Sadece malzemenin değil, aynı zamanda yapının da eksiksiz bir analizi yapılmalıdır. Birçok durumda, inşaatların karbon ayak izini azaltmanın en iyi yolu, kullanılan beton miktarının düşük olması ve böylece etkilerin azaltılması için ince yapılar tasarlamaktır. Bununla birlikte, betonun yüksek verimli kullanılabilmesi için genellikle, yüksek çimento ve klinker içeriğine sahip yüksek performanslı bir beton gereklidir. Bu durumlarda, m<sup>3</sup> beton başına klinker içeriği ve dolayısıyla betonun karbon ayak izi yüksektir. Bununla birlikte, yapıda kullanılan beton miktarı çok az olduğundan yapının karbon ayak izi düşüktür.

### ***Klinker içeriğinin azaltılması çimento ve beton performansını etkiler mi?***

Çimentonun klinker içeriği ve kullanılan TÇM türü çimentonun performansını etkilemektedir. Buna bağlı olarak, betonun mukavemeti ve dayanıklılığı (örneğin, donatı korozyonunun korunması, geçirimsizlik, don direnci, kimyasal madde etkisine karşı direnç) da etkilenmektedir. Bu etkiler, yapısal tasarımda (örn. pas payı), beton karışım tasarımında (örn. su-çimento oranının ayarlanması) veya uygulamada (betonun dökülmesi ve kürlenmesi) diğer parametrelerin ayarlanmasıyla en azından kısmen telafi edilebilir.

Aslında, çimento standartları (EN 197), çimentoların klinker içeriğinin yanı sıra bileşenlerin türüne göre de ifade edilmektedir. Her bir ton çimento için büyük miktarda klinkere her zaman ihtiyaç duyulacaktır ve kullanılan TÇM'lerin miktarı aşağıdaki kendine özgü özelliklerine ve niteliklerine bağlıdır:

- CEM I Portland çimentosu (>%95 klinker)
- CEM II Portland-kompozit çimento (%50-94 klinker)
- CEM III Yüksek fırın çimentosu (%5-64 klinker)
- CEM IV Puzolanik çimento (%45-89 klinker)
- CEM V Kompozit çimento (%20-64 klinker)
- CEM VI Kompozit çimento (%35-49 klinker)

***Bazı kişiler çimento standartlarının AB'de düşük klinkerli çimentoların önünde bir engel teşkil ettiğini ve AB çimento endüstrisinin bu standartlardan herhangi birinin değiştirilmesine karşı olduğunu iddia etmektedir. Bu doğru mu?***

Her iki ifade de yanlıştır.

Yukarıda belirtildiği üzere, çimento standartları zaten düşük klinkerli çimentolara izin vermektedir ve bu çimentolar bugün AB pazarında kullanılmaktadır. 'Yapı Ürünleri Yönetmeliği müktesebatı' olarak adlandırılan süreç kapsamında, düşük karbonlu çimentoların yaygınlaştırılmasını daha fazla desteklemek için, verimliliği kanıtlanmış ve dünya çapında kullanılmakta olan bu çimento standartları önümüzdeki yıllarda gözden geçirilecektir.

Sektörün pozisyonuna ilişkin olarak, AB çimento tedarikçileri, AB pazarında yeni düşük karbonlu çimentoların yer alması için mevcut yeni EN 197-5 (Portland-kompozit çimento CEM II/C-M ve Kompozit çimento CEM VI) ve EN 197-6 (Geri dönüştürülmüş yapı malzemeleri içeren çimento) standartlarına giden yolu hızlandırmak için uyumlaştırılmamış bir rotayı destekleyerek aslında liderliği üstlenmiştir.

Çimento standartlarının yaklaşan revizyonu kapsamında, CEMBUREAU, mevcut sistemi koruyan ve aynı zamanda tamamlayıcı ve daha performansa dayalı bir sistem getiren ikili bir yaklaşımın benimsenmesini desteklemektedir. Bu tür bir ikili yaklaşım, yeni düşük karbonlu ürünlerin standardizasyonunu daha da kolaylaştırmakta ve aynı zamanda Avrupa piyasasına sunulan çimentoların güvenlik ve güvenilirliğini sağlamaktadır (bkz. CEMBUREAU görüş belgesi "Standardizasyon için yeni bir ivme", Ekim 2023).

***Avrupa'da mevcut klinker/çimento oranı nedir? Bu oran neden Avrupa dışındaki bazı ülkelere daha yüksektir?***

AB'de klinker/çimento oranı, 2020 yılına kıyasla %0,6 düşüşle 2021'de %77,3 oldu (GCCA, *Getting the numbers right database*).

Aslında bazı ülkelerin performansı bu seviyenin altındadır, ancak uluslararası karşılaştırmalar yapılırken aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekir:

- Bazı ülkeler önemli miktarda klinker ikamesi erişimine sahiptir (tipik olarak, kömür yakıtlı enerji üretimi ve metalürji sektörlerinin önemi nedeniyle uçucu külün bol olduğu Çin ve Hindistan).
- AB27 dışındaki bazı ülkeler istatistiksel olarak düşük klinker/çimento oranına ulaşmaktadır, ancak yukarıda ifade edildiği üzere, negatif bir CO<sub>2</sub> çıktısına yol açacak şekilde, metreküp beton başına daha fazla miktarda çimento kullanma eğilimindedir.
- Buna karşılık, bazı bölgeler, kendi inşaat piyasasının ihtiyaçları nedeniyle (örneğin sismik koşullara uyum) yüksek klinkerli çimentoları tercih etme eğilimindedir.

### **AB çimento endüstrisinin klinker/çimento oranının düşürülmesi ile ilgili hedefleri nelerdir?**

CEMBUREAU, Karbon Nötr Yol Haritası kapsamında, çimentodaki klinker içeriği açısından 2030 yılına kadar %75 seviyesine (AB’de çimento üretimi için kullanılan doğal ham maddenin yılda 5 milyon ton azaltılmasına tekabül etmektedir) ve 2050 yılına kadar %65 seviyesine (yılda 20 milyon ton daha az doğal ham madde kullanımı) ulaşmayı hedeflemektedir. CEMBUREAU’nun yol haritasını gözden geçirme süreci halen devam etmektedir ve klinker-çimento oranının düşürülmesi dahil olmak üzere farklı dekarbonizasyon yöntemleri güncellenecektir.

### **AB çimento endüstrisi klinker/çimento oranını düşürmeye teşvik ediliyor mu? AB ETS kıstas kurallarının gözden geçirilmesi yardımcı olur mu?**

AB endüstrisi tarafından mevcut AB düzenleyici çerçeve vasıtasıyla klinker/çimento oranının düşürülmesi güçlü bir şekilde teşvik edilmektedir:

- Klinker karbon yoğun olduğundan, çimento şirketleri, AB Emisyon Ticareti Sistemi (ETS) vasıtasıyla emisyonları azaltmaları ve küresel çimento üretim maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan karbon maliyetlerini düşürmeleri için doğal olarak teşvik edilmektedir. AB Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması’nın (SKDM) devreye girmesiyle birlikte bedelsiz tahsisatların aşamalı olarak kaldırılması planlandığından, bu teşvikler daha da artacaktır.
- AB Taksonomi gerekliliklerinde, faaliyetin, yeşil yatırımlar açısından sürdürülebilir olarak tanımlanması için düşük emisyon eşikleriyle birlikte ‘sınıfta en iyi oran’ olan %65’lik bir klinker/çimento oranı yer almaktadır.

ETS kıyas değerine ilişkin olarak, CEMBUREAU, bu güçlü teşvikler ışığında bir gözden geçirmenin gereksiz olduğuna inanmaktadır. AB mevzuatı, çimento endüstrisinde emisyon azaltımına yönelik diğer yöntemlerin (örneğin biyokütle içeren yakıtların kullanımı, yenilenebilir enerji kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması, karbon yakalama vb.) yerine belirli bir dekarbonizasyon rotasını (klinker/çimento oranının düşürülmesi) izlemeye zorlamamalıdır. Özellikle, bu seçeneğin ölçeklenebilirliği konusunda tartışmalar olduğu dikkate alınmalıdır. Bu bakımdan, ETS’nin teknolojik açıdan tarafsız kalması ve kendi özel durumlarına uygun dekarbonizasyon yolunu seçme imkanını üreticilere bırakması önemlidir.

### **Klinker/çimento oranının düşürülmesini hangi politika önlemleri destekleyebilir?**

Yukarıda belirtildiği üzere, klinker-çimento oranının düşürülmesinin önündeki en önemli engeller, TÇM’lerin sınırlı bulunabilirliği ve klinker, çimento ve beton arasındaki karmaşık etkileşimdir. Bu nedenle, CEMBUREAU aşağıdaki hususlara inanmaktadır:

- Atıkların düzenli depolanması AB genelinde yasaklanmalı ya da Üye Devletler tarafından yüksek oranda vergilendirilmeli ve AB dışına atık ihracatı en aza indirilmelidir. AB ve ulusal politikalar, geleneksel TÇM’lerin kaynağı olabilecek eski atık depolama alanlarının açılmasına ve restorasyonuna olanak sağlamalıdır.
- Atık yönetiminin basitleştirilmesi, kaynak akışlarının verimliliğinin artırılması ve işletmelerin ikincil malzemelere daha iyi erişiminin sağlanması amacıyla, atıkların ayrı toplanması için AB genelinde uyumlulaştırılmış bir model oluşturulmalıdır. Ayrıca, yeni bileşenler olarak kullanılmak üzere İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından elde edilen malzemelerin daha fazla araştırılmasına yönelik iş birliği geliştirilmelidir.
- AB çimento standartları, AB Yapı Ürünleri Yönetmeliği Müktesebatı kapsamında hızla gözden geçirilmeli ve yeni TÇM’leri içerecek şekilde güncel tutulmalıdır. Daha fazla bilgi için CEMBUREAU’nun “Standardizasyon için yeni bir ivme” başlıklı görüş belgesine bakınız.
- AB üyesi Devletler, yapısal kanunlarında ve ulusal teknik mevzuatlarında yeni düşük karbonlu çimentoların benimsenmesine ilişkin gerekli önlemleri almalı ve bu yeni nesil düşük karbonlu malzemelerin kullanımını teşvik etmek için kamu alımları önlemlerini benimsemelidir.