



Çimento Katkılarının Net Sıfır Karbon Hedefindeki Rolü



KATKI ÜRETİCİLERİ BİRLİĞİ

ÇİMENTO KATKILARININ NET SIFIR KARBON HEDEFİNDEKİ ROLÜ

HAZIRLAYAN

Katkı Üreticileri Birliği Teknik Komitesi

İLETİŐİM BİLGİLERİ

BaęlarbaŐı Mah. Atatürk Cd. Sakarya Sk. No: 35 D:18, 34844 Malte Plaza, Maltepe /
İstanbul

Tel: +90 216 456 43 24

www.kub.org.tr info@kub.org.tr

© Mayıs 2023

İlk yayımlanma tarihi: Ekim 2022

Katkı Üreticileri Birliği (KÜB) yayınıdır.

Tüm yayın hakkı KÜB' e aittir.

Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

İzinsiz çoğaltılamaz ve basılamaz.



İÇERİK

1. GİRİŞ	3
2. ÇİMENTO SEKTÖRÜ.....	4
2.1. Dünyada Çimento Sektörü.....	4
2.2. Türkiye’de Çimento Sektörü	5
2.3. Çimento Sektöründe Karbon Emisyonu	8
2.4. Net Sıfır Karbon Yol Haritası	10
3. ÇİMENTO KATKILARI	11
3.1. Çimento Katkılarının Türleri ve Özellikleri	11
3.2. Çimento Katkılarının Faydaları	15
4. ÇİMENTO KATKILARININ NET SIFIR KARBON HEDEFİNDEKİ ROLÜ	16
5. KÜB’ÜN DEĞERLENDİRMESİ.....	19
KAYNAKLAR.....	20



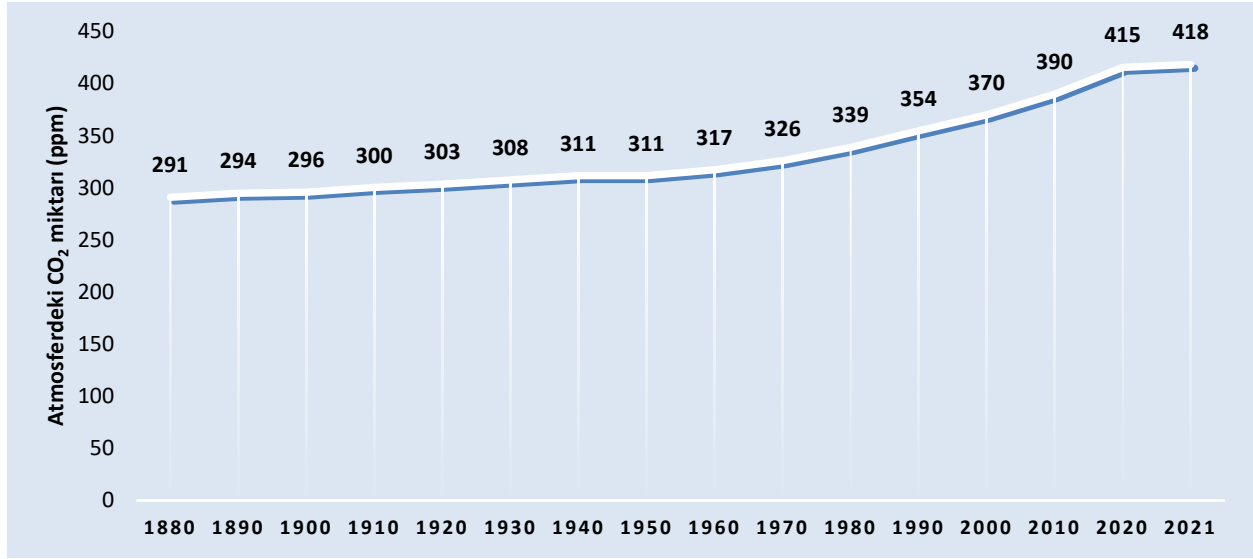
1. GİRİŞ

18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere’de başlayan Sanayi Devrimi, 19. yüzyılda Avrupa ve ABD başta olmak üzere dünya geneline yayılmaya başlamıştır. İnsanlığın Dünya’ya olan etkisinin en üst düzeylere çıktığı Sanayi Devrimi'nden bugüne kadar devam eden ve devam edecek olan sürece “antroposen çağ” ya da diğer bir ifade ile “insan çağı” denilmektedir. 2020 yılı itibarıyla antroposen çağda insanlar tarafından inşa edilen yapıları çevrenin kütlesi, biyokütle ile yani tüm canlıların kütlesi ile eşit seviyeye ulaşmıştır. 2050 yılında Dünya üzerinde beton içeren kütlelerin, biyokütle ile eş değer seviyeye gelmesi beklenmektedir [1].

Bu çağın günümüzde görünür en olumsuz etkisi iklim değişikliğidir. İnsan kaynaklı faaliyetlerin çevreye etkisi küresel ölçekte ilk kez 1972 yılında Stockholm’de gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler (BM) İnsan Çevresi Konferansı’nda görüşülmüştür. Sürdürülebilir kalkınma kavramı ise ilk kez, 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nca hazırlanan Brundtland Raporu’nda geçmiştir. 1997 yılında ise küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası ilk çerçeve olan Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında imzalanmıştır. Kyoto Protokolü’nün global ölçekte hedeflenen başarıya ulaşılamaması, 1950’lerden 2010’lara kadar atmosferdeki karbon miktarının sürekli artış göstermesi (Şekil 1) ve bunun sonucunda küresel sıcaklık artışının kritik düzeye ulaşması daha etkili ve yaygın politikaların oluşturulmasına neden olmuştur. Bunun üzerine 2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin çerçevesini oluşturan Paris Anlaşması, 2015 yılında Paris’te düzenlenen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı’nda kabul edilmiştir. 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe giren Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışının 2°C altında ve hatta 1,5°C seviyesinde olmasını sağlamayı hedeflemektedir.

Avrupa Birliği (AB), 2019 yılında duyurulan Avrupa Yeşil Mutabakatı’nın bir parçası olarak ve Avrupa İklim Yasası uyarınca 2050 yılına kadar iklim nötr olmayı hedeflemiştir. Bu hedef, mevcut sera gazı emisyon seviyelerinin önümüzdeki on yıllarda önemli ölçüde düşürülmesini gerektirmektedir. İklim nötr olma hedefine yönelik bir ara adım olarak AB, 2030 yılına kadar emisyonları “Fit for 55” (55'e Uyum Paketi) kapsamında %55 oranında azaltmayı taahhüt etmiştir. Bu hedefleri sağlamak için tasarlanan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), karbon kaçağını önlemek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için tasarlanmış bir araçtır.

SKDM kapsamında en çok etkilenecek sektörlerin başında çimento endüstrisi gelmektedir. Bu nedenle ABD, Kanada, Almanya, Brezilya vb. birçok ülkedeki çimento sektörlerinin iklim değişikliği ile mücadele kapsamındaki yol haritaları ilk kez 2021 yılında duyurulmaya başlamıştır [2].



Şekil 1. Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu (ppm) değişimi [3]

2021 yılı sonunda Türkiye tarafından da imzalanan Paris Anlaşması, çimento sektörü başta olmak üzere birçok sanayi sektörünün iklim değişikliği ile mücadele kapsamında dönüşümünü tetikleyen ve hızlandıran bir milat olmuştur. Türkiye, 2030 yılına kadar karbon emisyonunu %21 oranında azaltmayı ve 2053 yılında ise net sıfır emisyona ulaşmayı hedeflemektedir [4, 5].

Net Sıfır Emisyon: İnsan kaynaklı (antropojenik) faaliyetler sonucunda atmosfere salınan karbondioksit başta olmak üzere tüm sera gazlarının miktarını, doğa tarafından emilen sera gazı miktarıyla eşitlemek yani bir dengeye getirmektir. Net sıfır, atmosfere yeni emisyonlar eklememektir. Bu durumda salım devam edecektir ancak karbon nötr bir iklim oluşacaktır.

2. ÇİMENTO SEKTÖRÜ

2.1. Dünyada Çimento Sektörü

Mart 2020'de COVID-19 pandemisinin başlamasının ardından küresel çimento tüketiminin çift haneli düşüş yaşayacağı öngörülmüştü; ancak yıl içinde sektör, beklentilerin üzerinde çok hızlı bir toparlanma yaşamıştı. Küresel çimento sektörü 2020 yılında 2019'a kıyasla sadece %0,5 oranında küçülmüştür. Bu birleşik büyüme rakamı, Çin'deki yaklaşık %1,5'lik büyüme ve dünyanın geri kalanında yaklaşık %3,5'lik bir düşüşten oluşmaktadır. 2020 yılında küresel çimento sektörü kapasite kullanım oranı %60 olarak gerçekleşmiştir. Çin hariç tutulduğunda, kapasite kullanım oranı 2019'da %59 iken 2020'de %57 seviyesine düşmüştür [6].



Tablo 1’de Cement Business Research (CemBR) tarafından 2020 yılı kapsamında yapılan araştırmaya göre çimento üretimi, tüketimi ve ihracatı açısından dünyadaki ilk 10 ülke (İran hariç) görülmektedir. Çin hem üretim hem de tüketim açısından küresel çimento sektörünü %60 oranında domine etmeye devam etmektedir. Türkiye, çimento üretiminde ilk 5 ülke içinde yer almaktadır. Çimento ihracatında ise ilk sırada yer alan Türkiye ve ikinci sırada yer alan Vietnam diğer ülkelere göre açık ara öndedir.

Tablo 1. 2020 yılından ülke bazında çimento üretim, tüketim ve ihracat istatistikleri [6]

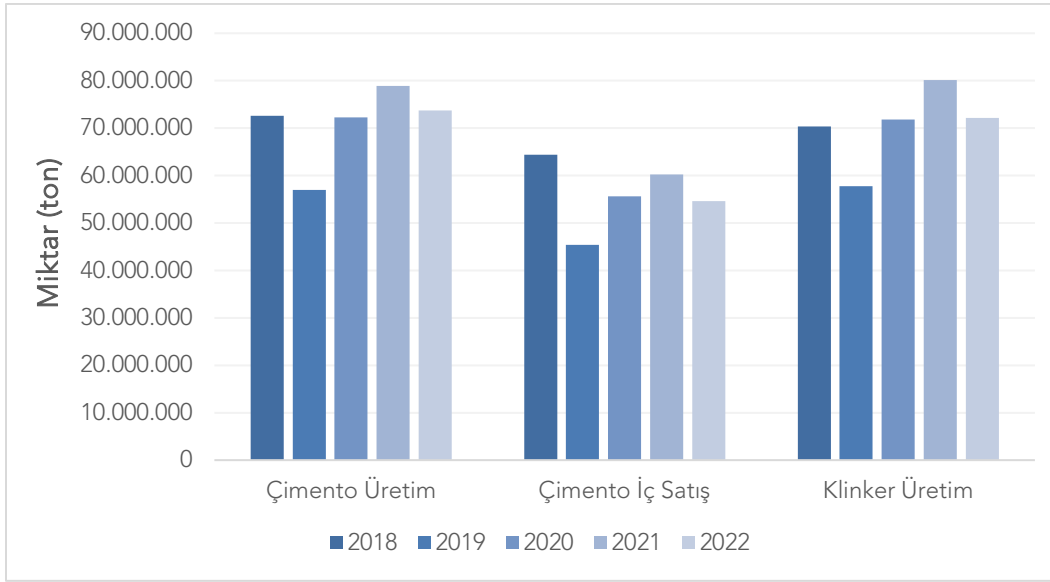
	Ülke	Çimento Tüketimi (milyon ton)		Ülke	Çimento Üretimi (milyon ton)		Ülke	Çimento İhracatı (milyon ton)
1	Çin	2377,3	1	Çin	2376,9	1	Türkiye	16,2
2	Hindistan	288,7	2	Hindistan	290	2	Vietnam	14,8
3	ABD	102,3	3	ABD	89	3	Almanya	6
4	Endonezya	62,7	4	Vietnam	76,9	4	Japonya	4,6
5	Vietnam	62,1	5	Türkiye	71,9	5	BAE	4,4
6	Brezilya	60,6	6	Endonezya	64,5	6	Kanada	4,1
7	Rusya	55,8	7	Brezilya	60,8	7	Tayland	3,5
8	Türkiye	55,7	8	Rusya	55,8	8	Pakistan	3,3
9	Suudi Arabistan	51,1	9	Suudi Arabistan	53,2	9	Yunanistan	3
10	Güney Kore	47,7	10	Güney Kore	48,2	10	Çin	3

Küresel çimento sektörünün (Çin hariç) 2025'e kadar iyi bir toparlanma ve istikrarlı bir büyüme göstermesi beklenmektedir. 2025 yılına kadar bileşik büyüme oranının (CAGR) %3,5 olması, Çin dahil ise %1,5 olması beklenmektedir. 5 yıllık süreçte en yüksek büyümenin %4,6 ile Asya’da ve ardından %4,5 ile Sahra Altı Afrika’da olması öngörülmektedir [6].

Küresel nüfus ve kentleşme arttıkça, küresel çimento üretiminin 2050 yılına kadar %12 ila %23 arasında artması beklenmektedir [7].

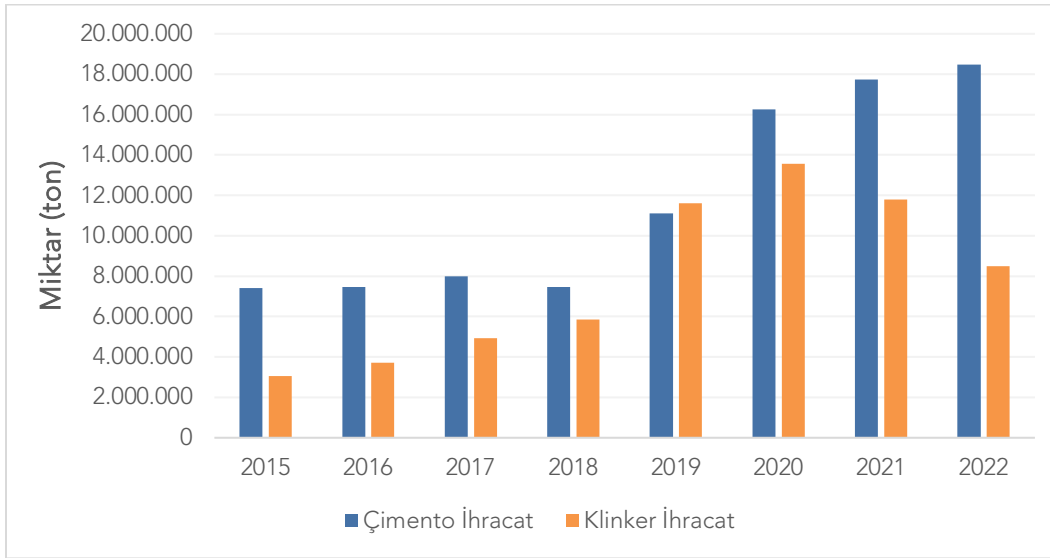
2.2. Türkiye’de Çimento Sektörü

Türkiye çimento üretimi açısından dünyanın önde gelen ülkelerinden birisidir. 2022 yılında 73,7 milyon ton çimento üretimi [8] ile Avrupa’da ilk sırada yer alan Türkiye, dünya genelinde ise ilk 10 ülkeden birisidir. Türk çimento sektörü son yıllarda ihracatta da oldukça iyi bir durumdadır. 2022 yılında 18,7 milyon ton çimento ve 8,5 milyon ton klinker ihracatı ile 1,5 milyar doların üzerinde gelir elde ederek dünyada ikinci sırada yer almıştır [9]. Şekil 2’de yıllar bazında çimento üretimi, çimento iç satış ve klinker üretim değerleri görülmektedir. TÜRKÇİMENTO verilerine göre 2021 yılında çimento sektörünün klinker kapasite kullanım oranı %88, kişi başı çimento tüketimi yaklaşık 711 kg’dır [10].



Şekil 2. Yıllar bazında çimento üretimi, çimento iç satış ve klinker üretimi [10]

Şekil 3'te yıl bazında çimento ve klinker ihracat verileri belirtilmektedir. Son yıllarda Türk çimento sektörü ihracat rekorları ile öne çıkmaktadır.

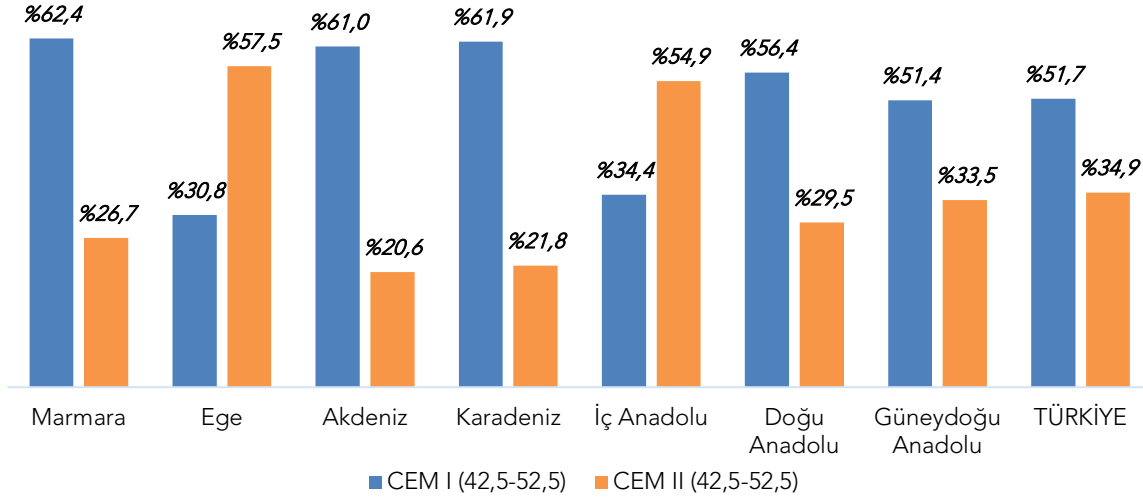


Şekil 3. Yıllar bazında çimento ve klinker ihracatı [10]

Türkiye'nin dünya çimento ve klinker ihracatında son yıllarda ilk iki sırada yer alıyor olması özellikle Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması gibi süreçlerden etkilenme olasılığını arttırmaktadır. Ayrıca, AB dışında Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) uygulamasına bölgesel bazda başlayan ve ulusal düzeye çıkarılması beklenen ABD de Türk çimento sektörü için oldukça önemli bir pazardır.



Türk çimento sektörünün üretim ve ihracat verileri kadar önemli olan bir diğer konu da üretilen çimentoların cinsleri, klinker/çimento oranı ve karbon ayak izidir. Özellikle iklim değişikliği ile mücadele kapsamında mevcut durumu görmek ve buna göre analiz yapmak çok daha doğru bir yaklaşım olmaktadır. Şekil 4'te 2022 yılında bölge bazında CEM I ve CEM II çimentolarının iç satış oranları görülmektedir. Yüksek karbon emisyonlu CEM I cinsi çimentonun Türkiye genelinde %52, alternatifi olan daha düşük karbon emisyonlu CEM II çimentolarının ise %35'lik paya sahip olduğu görülmektedir [11].



Şekil 4. 2022 yılı bölge bazlı CEM I (42,5-52,5) ve CEM II (42,5-52,5) iç satış oranı [11]

Tablo 2'de Türkiye'de ve Türkiye'nin içinde yer aldığı CEMBUREAU üyesi ülkelerdeki çimento cinsine göre kullanım oranları belirtilmiştir. CEM I alternatifi olan düşük karbonlu CEM II çimentoları karbon ayak izi açısından oldukça avantajlıdır. Bu açıdan Türk çimento sektöründe mevcut karbon ayak izini düşürmek için ciddi bir fırsat olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Türkiye ve CEMBUREAU üyesi ülkelerde çimento cinsine göre kullanım oranları [11, 12]

Çimento Cinsi	Türkiye (2022)	CEMBUREAU (2019)
CEM I	%51,7	%39
CEM II	%37,7	%46
CEM III	%0,6	%9
CEM IV	%8,2	%5
CEM V	%1,5	%1

Çimentodaki klinker oranının düşürülmesi çimentonun karbon ayak izini düşürmektedir. Bu nedenle çimento sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerinin başında klinker/çimento oranını düşürmek yer almaktadır. Tablo 3'te farklı ülkelerin klinker/çimento oranları



belirtilmektedir. Bu kapsamda Türk çimento sektörünün mevcut durumu iyileştirmek için önemli bir potansiyeli olduğu söylenebilir. Klinker/çimento oranının diğer bir ifade ile klinker faktörünün azaltılması iklim değişikliği ile mücadele kapsamında karbonsuzlaştırma (dekarbonizasyon) yöntemlerinden birisi olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 3. Farklı ülkelerde klinker/çimento oranı [13]

Ülke	Klinker/Çimento Oranı
Türkiye	0,84
AB27 ortalaması	0,77
Almanya	0,72
Hindistan	0,68
ABD	0,89
Brezilya	0,68
Birleşik Krallık	0,88
İtalya	0,77

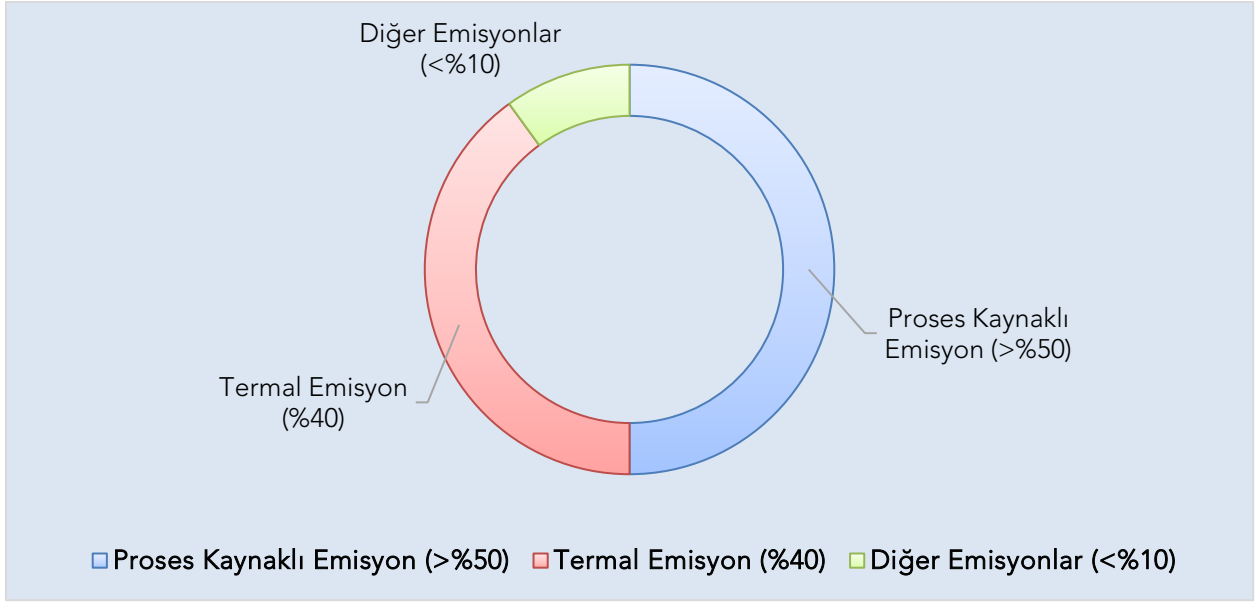
2.3. Çimento Sektöründe Karbon Emisyonu

Çimento, dünyada sudan sonra en çok kullanılan malzeme olan betonu üretmek için vazgeçilmez bir yapı malzemesidir. Bu nedenle çimento ve beton genelde birlikte düşünülmekte ve değerlendirilmektedir. Beton; kolay şekil verilebilmesi, sağlamlığı, dayanıklılığı ve ekonomik bir malzeme olması nedeniyle konut ve altyapı projeleri için ve dolayısıyla ekonomik büyüme ve toplumsal refah için son derece önemlidir. Ham maddelerin sürdürülebilirliği, ekonomi ve bütünsel bir ekolojik değerlendirme dikkate alındığında, küresel altyapı ve inşaat talebini karşılamak için şu anda klinker bazlı çimentonun geçerli bir ikamesi mevcut değildir. Uzun vadede bile çimento ve ana bileşeni klinker vazgeçilmez olmaya devam edecektir.

Çimento üretimini farklı kılan iki önemli özelliği, enerji ve emisyon yoğun olmasıdır. Çimento üretimi küresel karbon salımının %8'ini oluşturmaktadır [14]. Dünyada bir ton klinker üretimi sonucunda ortalama 798 kg karbon emisyonu açığa çıkmaktadır [13].

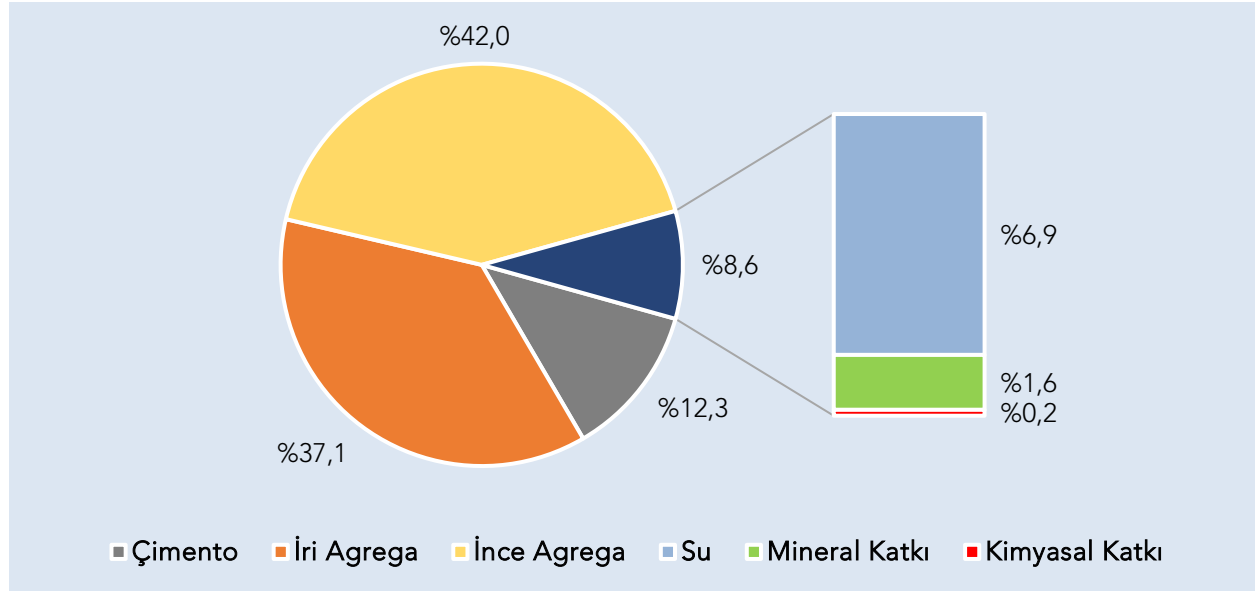
Şekil 5'te görüldüğü gibi çimento üretiminde açığa çıkan karbon emisyonunun %50'den fazlası proses kaynaklı (kalsinasyon), %40'u termal kaynaklı (fosil yakıtların yakılması) ve geri kalan kısım ise diğer süreçlerden kaynaklanmaktadır.

Kalsinasyon: Kireç taşının termal ayrışma yoluyla kireç (CaO) ve karbondioksit (CO₂) dönüştürüldüğü çimento endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir termo-kimyasal işlemdir.



Şekil 5. Çimento üretiminde açığa çıkan karbon emisyonlarının kaynakları [14]

Çimento, Şekil 6'da görüleceği üzere beton bileşeni olarak ağırlıkça %10-15 arasında bir paya sahip olsa da betonun karbon ayak izinin %80-90'ından sorumludur [15].







Şekil 6. Beton bileşenleri ve oranları [15]



2.4. Net Sıfır Karbon Yol Haritası

Dünya Ekonomi Forumu (WEF) tarafından yayımlanan 2022 Küresel Risk Raporu'na göre küresel ölçekte en ciddi 10 riskin 5 adedi çevre ile ilgilidir. En ciddi risk ise iklim değişikliği ile mücadelede başarısız olunmasıdır. Bu nedenle son yıllarda dünyanın birçok ülkesinde politika yapıcılar iklim krizi ile mücadele kapsamında etkili stratejiler oluşturmakta ve birçok sektörün de aksiyon almasını hızlandırmak için zorlayıcı politikalar oluşturmaktadır. Bu yeni konjonktür özellikle çimento sektörünün Fit for 55, SKDM, Avrupa Yeşil Mutabakatı, karbon vergilendirmesi gibi çeşitli mevzuata paralel bir şekilde yol haritası oluşturmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de dekarbonizasyon (karbonsuzlaştırma) için son yıllarda çok hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. 2020 yılında Cembureau (Avrupa Çimento Birliği) ve 2021 yılında GCCA - Global Cement and Concrete Association (Global Çimento ve Beton Birliği) başta olmak üzere son iki yılda birçok sektörel birlik karbon nötr yol haritalarını yayımlayarak eylem planlarını açıklamıştır. Tablo 4'te CEMBUREAU ve GCCA yol haritalarına göre net-sıfır hedefine yönelik aksiyonlar ve hedeflenen karbon emisyonu azaltım oranları belirtilmektedir.

Tablo 4. CEMBUREAU ve GCCA yol haritalarına göre net-sıfır hedefine yönelik aksiyonlar [16,17]

	Net-Sıfır Hedefine Yönelik Aksiyonlar	GCCA*	CEMBUREAU**
	1. Yenilenebilir enerji / elektrik verimliliği	%5	%8
	2. Alternatif yakıtlar / termal verimlilik	%11	%17
	3. Alternatif ham madde / ikame malzemeler / düşük klinkerli ürünler	%9	%17
	4. Yenilikçi çimentolar / bağlayıcılar		
	5. Beton tasarım optimizasyonu	%11	%8
	6. Tasarım ve yapımda verimlilik / döngüsel ekonomi	%22	-
	7. Yeniden karbonatlaşma	%6	%8
	8. Karbon yakalama, kullanma ve depolama	%36	%42

* GCCA – Concrete Future Roadmap kapsamında net sıfır emisyon kapsamında hedefler

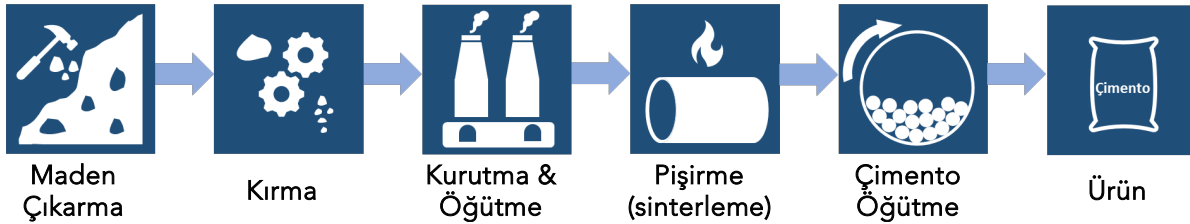
**CEMBUREAU – 2050 Roadmap kapsamında net sıfır emisyon kapsamında hedefler



3. ÇİMENTO KATKILARI

3.1. Çimento Katkılarının Türleri ve Özellikleri

Çimento üretimi; her aşamasının ürün kalitesi, ekonomik ve ekolojik üretim parametreleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu oldukça teknik bir süreçtir. Çimento üreticileri, Şekil 7'de görüldüğü gibi çimento üretimi için gerekli olan ham maddelerin çıkarılmasından ürünün arzına kadar tüm aşamalarda birçok parametrenin kalite kontrol sürecine dikkat ederek üretim yapmaktadır. Bu aşamaların en önemlilerinden birisi de öğütmedir.



Şekil 7. Çimento üretim aşamaları

Çimento öğütme işlemi; çimento kalitesini belirleyen standartları ve müşteri taleplerini karşılayacak şekilde ayarlamak için son ve en önemli süreçtir. Mekanik öğütme işlemi, kimyasal ve fiziksel ham madde özellikleri ve çimento formülasyonu gibi farklı alanlardan gelen etkileri birleştirir.



Şekil 8. Çimento üretiminde öğütülmesi gereken bazı malzemeler

Çimento üretimi için toplam enerji tüketimi genel olarak 90 - 113 kWh/t aralığındadır. Çimento üretiminde harcanan toplam enerjinin yaklaşık %71 - %85'i ham maddelerin boyutlarının küçültülmesi ve kömürün öğütülmesi için kullanılır. Çimentoyu öğütme işlemi tek başına yaklaşık 30 - 40 kWh/t enerji tüketir. [18]. Üretim prosesinde harcanan enerjinin yarısından fazlası klinkerin ve ham maddenin (farin) öğütülmesi için kullanılmaktadır. %38 oranında klinker öğütmesine, %33 oranında ham maddenin öğütmesine harcanır. Sera gazı salımını düşürmek için, öğütmeye harcanan bu enerji miktarının düşürülmesi son



derece kritiktir. Bu nedenle öğütme prosesinin verimliliğinin artırılması dikkate alınması gereken bir konudur [19].

Klinkerin öğütülebilirliğini iyileştirmeden sorumlu olan mekanizmalar fiziko-kimyasal bir bakış açısıyla açıklanmalıdır. Genel olarak; klinker parçacıklarının yüzeyleri, serbest yüzey yüküne yol açan tamamlanmamış yüzey bağları nedeniyle termodinamik olarak dengede değildir. Tüm sistemlerde olduğu gibi parçacıklar, agregasyon ve yüzeylere tutunma yoluyla oluşan serbest enerjiyi azaltarak dengeye yaklaştırmaya çalışmaktadır [20].

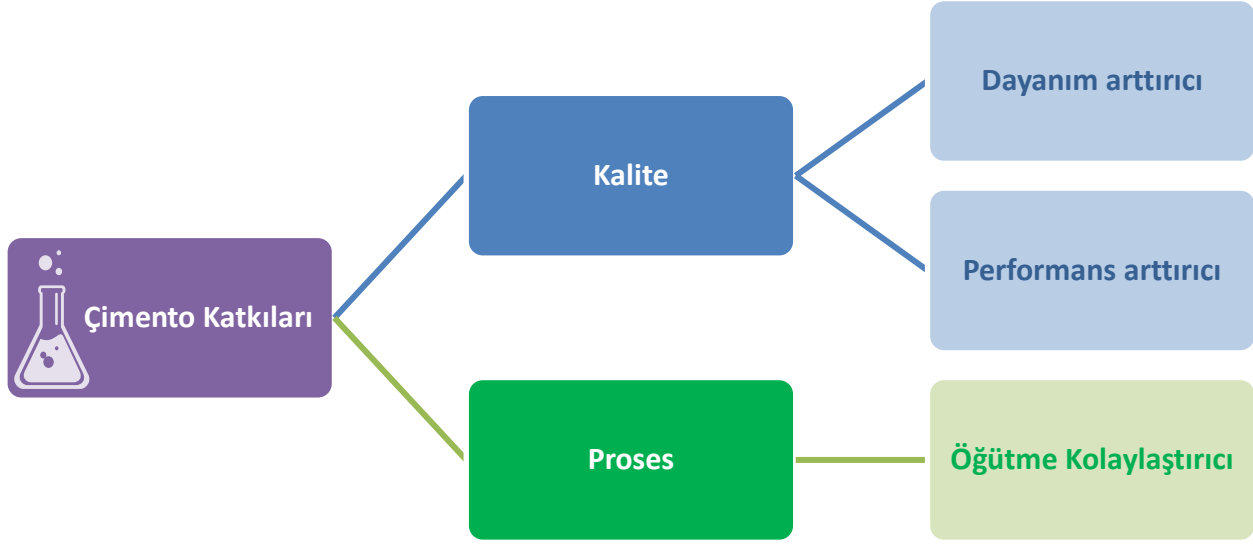
Öğütme sırasında klinker boyutu küçüldükçe yüzeyin serbest enerjisi artar ve oluşan dengesizlik önemli bir hale gelir. Bu durum agregasyon ve aglomerasyona yol açar ve değirmenin verimliliğini düşürür. Öğütme kolaylaştırıcı kimyasallar kullanıldığında organik katkı maddeleri çimento taneciklerinin yüzeyine adsorbe edilir. Bu durum, yüzey yükünü ve enerjiyi azaltır ve taneciklerin birbirlerinden ayrılması için gerekli ortamı sağlar. Ayrıca, çimento parçacıklarının kohezyonu önlenir. Organik katkı maddeleri çekme kuvvetlerini (Van der Waal) azaltıp, itme kuvvetlerini artırarak çimento tanecikleri arasındaki elektrostatik kuvvetleri değiştirir. Böylece katkı maddeleri yüzey aktif maddeler gibi davranır [20].



Şekil 9. Öğütme kolaylaştırıcı katkı kullanılmadığında bilyelerin çimento ile kaplanması [21]

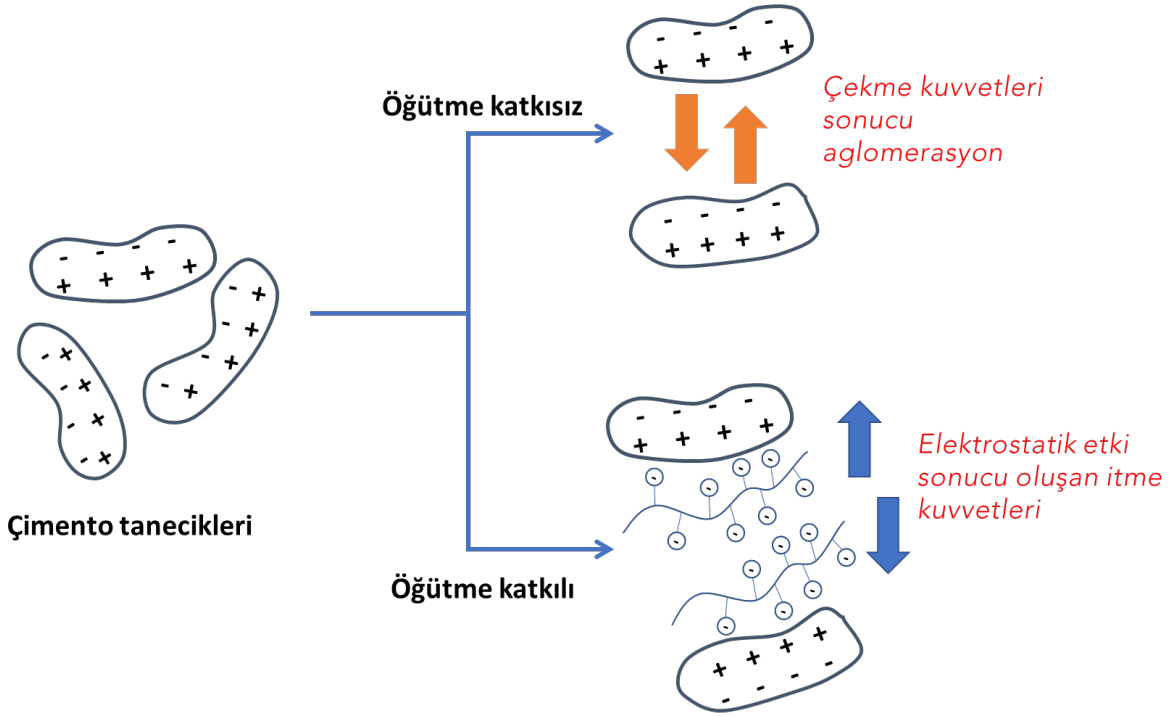
Çimento katkı maddeleri, çimento öğütme işlemi ve çimento özelliklerinin optimizasyonu için çimentoya ilave edilen malzemelerdir. 1930'ların ortalarında çimento fabrikaları, çimento üretim hacmini artırmak için çimento katkı maddeleri kullanmaya başlamıştır. O zamandan beri kimyasal katkı maddelerinin kullanımı çimento üretiminde doğal bir hale gelmiştir. [18].

Çimento katkı maddeleri; öğütme yardımcıları, dayanım arttırıcılar ve performans arttırıcılar şeklinde farklı ürün gruplarına ayrılmaktadır. Bu etkilerin türü ve büyüklüğü; katkı türü, dozajı, uygulaması, değirmen sistem tasarımı, çimentodan istenen performans özellikleri gibi birçok faktöre bağlıdır.



Şekil 10. Çimento katkılarının sınıflandırması

Öğütme Kolaylaştırıcı Katkılar: Çimento değirmeninde (bilyeli değirmen, dikey silindirik değirmen vb.) verimliliği/kapasiteyi artırmak, elektrik enerjisinden tasarruf etmek, maliyet düşürmek, inceliği iyileştirmek, toz akışkanlığını arttırmak ve tanımlanmış diğer çimento özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Klinkerin öğütülmesi, kristal yapıda yeni mikro çatlakların oluşmasına yol açar. Kusurlar oluştuğunda kristallerdeki iyonik bağlar kırılır ve taneler yüksek yüzey enerjisi kazanır. Bu fenomenin bir sonucu olarak, Şekil 11’de görüleceği üzere çimento tanelerinin yüzeyinde, birbirleriyle etkileşime girmelerine neden olan ve aglomerasyona yol açan pozitif ve negatif yükler ortaya çıkar [22]. Bu durum, özgül yüzey alanındaki artışı sınırlar ve değirmenin iç kısımlarının çimento tanecikleri ile kaplanarak değirmen performansında düşüşe neden olur. Öğütme kolaylaştırıcı katkıları; çimento partiküllerinin yüzeyine adsorbe olan, yüzey yüklerini nötralize eden ve partiküller arası çekim kuvvetlerine karşı kalkan olarak davranan kimyasallar içerirler. Çimento partiküllerinin arasındaki çekim kuvvetlerinin etkilerini azaltarak, partiküllerin bir araya gelmesini (aglomerasyonunu) önlemeye yardımcı olurlar. Bu sayede öğütme verimi artar ve seperatörden dönüş oranı azalır.



Şekil 11. Öğütme kolaylaştırıcı katkıların tanecik yüzeyleri üzerindeki etkisi [23]

Dayanım Arttırıcı Katkılar: Çimentonun her yaştaki (erken ve/veya nihai) mekanik dayanımını, çimentonun özgül yüzey alanını ve partikül boyutu dağılımını değiştirmeden kimyasal aktivasyonla arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede dolaylı yoldan klinker/çimento oranının azaltılması, mineral katkı kullanım oranının artırılması, maliyet optimizasyonu yapılması ve karbon ayak izinin düşürülmesi gibi faydalar da sağlanmaktadır.

Performans Arttırıcı Katkılar: CO₂ emisyonlarını ve maliyeti azaltmak, aynı zamanda da bazı performans özelliklerini (hidratasyon ısısı düşürme, nihai dayanım artışı sağlama vb.) geliştirmek için klinker genellikle granüle yüksek fırın cürufu, doğal puzolanlar ve uçucu kül gibi çimento esaslı malzemeler (mineral katkı) ile ikame edilebilmektedir. Çimento kalitesi için kritik olan dayanım gelişimi, toz akışkanlığı, harç işlenebilirliği ve dayanıklılık için son derece faydalı olan bu mineral katkılı çimentoların performansını iyileştirmek amacıyla performans arttırıcı katkıları kullanılmaktadır.



3.2. Çimento Katkılarının Faydaları

Çimento kimyasal katkılarının faydaları Tablo 5'te belirtildiği gibi teknik, ekonomik ve çevresel olarak üç ana başlık altında değerlendirilmektedir.

Tablo 5. Çimento kimyasal katkılarının faydaları






TEKNİK	<ul style="list-style-type: none">▪ Kapasite artışı▪ Birim hacim / üretim süresinin azalması▪ İnceliğin iyileştirilmesi▪ Seperatör verimliliğinin iyileştirilmesi▪ Öğütme ortamındaki kaplamanın (yapışmanın) ortadan kaldırılması▪ Pack-set değerinin düşürülmesi▪ Erken ve/veya geç dayanımın iyileştirilmesi▪ Mineral katkı ilavesinin arttırılması▪ Su ihtiyacının azalması▪ İşlenebilirliğin ve priz süresinin iyileştirilmesi▪ Betonda çimentonun daha iyi reolojik davranış göstermesi▪ Klinker ikame malzemelerinin dezavantajlarının (priz süresinde uzama, düşük erken yaş dayanımı vb.) minimize edilmesi
EKONOMİK	<ul style="list-style-type: none">▪ Kapasite artışı kaynaklı maliyet azaltma▪ Birim enerji tüketiminde azalma▪ Bakım maliyetlerinde düşüş▪ Daha az duruş nedeniyle tesis duruş sürelerinde düşüş▪ Planlı bakımlar arasında daha uzun aralıklar▪ Klinker faktörünün düşmesi sonucu daha düşük maliyet▪ CO₂ emisyonunun azalması sonucu karbon vergisi avantajı▪ Çimentonun pack-set değerinin düşürülmesi ile kuru haldeki akışkanlığının geliştirilmesi ve bu nedenle daha kolay malzeme taşıma ve depolama; daha hızlı kamyon ve gemi yükleme süreleri
ÇEVRESEL	<ul style="list-style-type: none">▪ Daha az CO₂ emisyonu▪ Daha fazla alternatif yakıt ve ham madde kullanımı▪ Uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi yan ürünlerin kullanımında artış oranı▪ Taş ocağı ömrünün uzatılmasıyla doğal kaynakların korunması▪ Daha düşük su ayak izi



4. ÇİMENTO KATKILARININ NET SIFIR KARBON HEDEFİNDEKİ ROLÜ

Daha önceki bölümde çimento endüstrisinin net sıfır karbon emisyonu hedefine yönelik hazırlanan yol haritalarına göre aksiyonları belirtilmişti. 8 ana başlık kapsamında ele alınan bu aksiyonlara çimento kimyasal katkılarının katkısı Tablo 6'da belirtilmiştir.

Tablo 6. Çimento katkılarının çimentonun net-sıfır hedefine katkısı

	Çimentoda Net-Sıfır Hedefine Yönelik Aksiyonlar	GCCA	CEMBUREAU	Çimento Katkılarının Etkisi
	1. Yenilenebilir enerji / elektrik verimliliği	%5	%8	✓
	2. Alternatif yakıtlar / termal verimlilik	%11	%17	✓
	3. Alternatif ham madde / ikame malzemeler / düşük klinkerli ürünler	%9	%17	✓
	4. Yenilikçi çimentolar / bağlayıcılar			✓
	5. Beton tasarım optimizasyonu	%11	%8	✓
	TOPLAM	%36	%50	✓

Çimento kimyasal katkıları; düşük klinkerli ve düşük karbonlu çimento üretimi, alternatif ham maddelerin ve yan ürünlerin daha fazla kullanımı ve yenilikçi düşük karbonlu çimentoların üretimi gibi alanlarda doğrudan ve dolaylı olarak katkı sağlayabilmektedir. Tablo 6'da görüleceği üzere çimento katkıları, çimentoda hedeflenen emisyon azaltımının %36 ile %50'sini etkileyerek oldukça önemli bir fayda sağlamaktadır.

1. Yenilenebilir enerji / elektrik verimliliği: Öğütme kolaylaştırıcı kimyasal katkıları birim enerji tüketimini azalttıkları ve kapasiteyi arttırdıkları için elektrik enerjisi kaynaklı karbon emisyonunun azaltılmasına doğrudan etki etmektedir. Bu etki 3-10 kWh/ton arasında değişmektedir. Öğütme kaynaklı emisyonun çimentonun toplam karbon ayak izi içinde oransal olarak düşük bir payı olsa da toplam da kayda değer miktara ulaşmaktadır. Öğütme kolaylaştırıcı katkıları seperatörden dönen (kaba) malzeme oranını azalttığı için ayrıca enerji tasarrufu sağlar. Çimentonun partikül boyut dağılımının ve pack-set değerinin iyileşmesi sonucunda çimentonun daha verimli olacağı düşünülürse, bu etki sonucunda tasarım optimizasyonu yoluyla dolaylı olarak emisyon azaltımı da gerçekleştirilmiş olmaktadır.



- 2. Alternatif yakıtlar / termal verimlilik:** Çimento kimyasal katkıları termal verimlilik açısından dolaylı etkiye sahiptir. Özellikle günümüzde alternatif yakıt kullanımı çimento endüstrisinde sürdürülebilirlik adına oldukça önemli bir konudur. Ömrünü tamamlamış lastik, atık yağ, atıktan türetilen yakıtlar (RDF), arıtma çamuru vb. alternatif yakıtlar fosil yakıtların yerine ikame edildiği için karbon emisyonunu azaltmakta etkin rol oynamaktadır. Ancak, bu alternatif yakıtların çimento kalitesi üzerinde bazı olumsuz etkileri olduğu için kullanımları sınırlandırılabilir. Bu nedenle dayanım ve performans artırıcı katkıların kullanımı, alternatif yakıt kullanımı nedeniyle dayanım açısından oluşabilecek sorunların giderilmesinde etkili rol oynamaktadır. Bu sayede üreticiler alternatif yakıt kullanımlarını arttırabilmektedirler. Bu etki; alternatif yakıt cinsine ve miktarına, klinker yapısına ve ürün özelliklerine göre değişmektedir.
- 3. Alternatif ham madde / ikame malzemeler / düşük klinkerli ürünler:** Çimento üretim prosesinde ana emisyon kaynağı klinkerin pişirilme aşamasıdır. Piro-proses olarak adlandırılan bu aşamada hem kalsinasyon hem de yakıt tüketimi kaynaklı oluşan emisyon toplam emisyonun neredeyse %90'ıdır. Bu nedenle bu prosesin verimliliği çok önemlidir. Çimento kimyasal katkılarının bu prosese doğrudan etkisi olmasa da yarı mamul olan klinkerin kullanımında dolaylı etkisi bulunmaktadır. Çimentonun ana bileşeni klinker olmakla beraber çimento cinsine göre farklı diğer bileşenler de kullanılmaktadır. Klinker/çimento oranı ya da diğer bir ifade ile klinker faktörü hem çimento performansını hem de çimentonun karbon ayak izini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Öğütme kolaylaştırıcı, dayanım artırıcı ve performans artırıcı katkıların çimento performansı üzerindeki olumlu etkileri klinker faktörünün düşürülmesinde oldukça etkilidir. Daha düşük klinker içeriği ile eş değer basınç dayanımı elde etmek, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren çimentoların düşük erken yaş dayanımını yükseltebilmek mümkün olabilmektedir. Çimento katkıları hem klinkerin çimentoya daha yüksek performans ile dönüşmesinde hem de klinker ikamesi malzemelerin bazı dezavantajlarının giderilmesinde etkilidir. Çimento katkıları, klinker faktörünün %5-10 civarında azaltılmasını sağlayabilmektedir.
- 4. Yenilikçi çimentolar / bağlayıcılar:** Günümüzde farklı klinkerler ve farklı çimentolar üzerinde yoğun Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Kalsine kil içeren çimentolar, kalsiyum sülfü alüminat çimentosu, karbonatlaşmış kalsiyum silikat çimentosu, belit çimentolar, magnezyum esaslı çimentolar vb. birçok yenilikçi çimento düşük karbonlu olmaları ile öne çıkmaktadır. Birçoğu henüz yaygınlaşmayan bu çimentoların priz süresi, erken dayanım, su ihtiyacı vb. konularda performanslarının iyileştirilmesinde çimento kimyasalları önemli bir yer teşkil etmektedir. Örneğin belit çimentolarının genel olarak erken yaş dayanımının Portland çimentosuna oranla düşük olması erken dayanımı arttıran çimento kimyasalları ile telafi edilebilmektedir.



5. Beton tasarım optimizasyonu: Betonda düşük karbonlu çimentoların kullanılması, betonun karbon ayak izini azaltmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi betonda gömülü karbonun yaklaşık %80-90'ı çimento kaynaklıdır. Çimento katkılarının doğrudan ve dolaylı etkileriyle hem çimentonun karbon ayak izi azaltılmaktadır hem de betonda durabilite (dayanıklılık) açısından son derece önemli rol üstelenen uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkılarının kullanım miktarı arttırılabilmektedir. Bu da beton üreticisine sürdürülebilirlik ve dayanıklılık açısından tasarım imkânı sağlamaktadır. Ayrıca; çimento kimyasal katkılarının partikül boyut dağılımı, su ihtiyacı, dayanım gelişimi vb. özellikler üzerindeki olumlu etkileri doğrudan betonu da olumlu anlamda etkilemektedir.

Tablo 7'de çimento katkılarının çimento üretiminde oluşan karbon salımını azaltma potansiyeli belirtilmiştir. Elektrik tüketiminin ve klinker faktörünün azalması, alternatif yakıt kullanımının artması sonucunda %6-12 arası karbon emisyonu azaltımı mümkün olmaktadır.

Tablo 7. Çimento kimyasal katkılarının karbon emisyonu azaltım potansiyeli

Parametre	İyileştirme Potansiyeli*	CO ₂ Azaltım Potansiyeli
Elektrik tüketimi tasarrufu** (kWh/ton)	3-10 kWh/ton	1,4 – 4,7 kg CO ₂ /ton çimento
Klinker azaltma oranı*** (%)	%5 -10	45 - 90 kg CO ₂ /ton çimento
Alternatif yakıt kullanımında artış**** (%)	%2-5	5 – 12 kg CO ₂ /ton çimento
TOPLAM		51 – 107 kg CO₂/ton çimento

* Tablodaki veriler çimento tesisi ve ürün bazında farklılık gösterebilir.

0,465 kg CO₂/kWh alınmıştır[24]. * 900 kg CO₂/ton klinker alınmıştır. **** %75 biyokütle öngörülmüştür.

Tablo 7'de belirtilen değerler üzerinden Türkiye'de 2022 yılında üretilen 73,7 milyon ton çimento dikkate alındığında, çimento katkıları sayesinde yıllık 4 milyon ila 8 milyon ton karbon emisyonu azaltımının mümkün olduğu hesaplanmaktadır. Bu etki, 180 milyon ila 360 milyon ağacın yıllık katkısına eş değerdir.



5. KÜB'ÜN DEĞERLENDİRMESİ

Her geçen yıl artan insan popülasyonu ve şehirleşme nedeniyle kullanım miktarının daha da artacağı öngörülen çimentonun üretim prosesi nedeniyle açığa çıkan sera gazı emisyonlarını azaltmak önümüzdeki yılların en önemli konusu haline gelmiştir. Çimentonun üretim ve betonda kullanım aşamalarında sera gazı emisyonlarını düşürmeye yönelik alınacak her türlü aksiyonda kimyasal katkıların önemli bir role sahip olduğu görülmektedir.

Beton ve çimento kimyasal katkı teknolojileri, sürekli gelişen Ar-Ge ve inovasyon süreçleri ile beton ve inşaat sektörüne hem teknik hem ekonomik hem de sürdürülebilirlik açısından katkılar sağlamaya devam etmektedir. Katkı Üreticileri Birliği olarak, bu süreci yakından takip etmekte, Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerimizi yoğun bir şekilde sürdürmekteyiz. Bununla birlikte iklim değişikliği ile mücadele kapsamında giderek önem kazanan düşük karbonlu beton ve çimento üretimi hedefinin de en önemli çözüm ortaklarından biri olduğumuzun bilincindeyiz. "Çimento Katkılarının Net Sıfır Karbon Hedefindeki Rolü" başlıklı raporumuzda belirtildiği üzere çimento kimyasal katkıları, çimentonun ve dolayısıyla betonun karbon ayak izinin düşürülmesinde son derece etkili doğrudan ve dolaylı etkilere sahiptir. Çimento kimyasallarının kullanımıyla elektrik tüketiminin ve klinker faktörünün azalması, alternatif yakıt tüketiminin artması sonucunda çimento üretiminde %6-12 arası karbon emisyonu azaltımı mümkün olmaktadır. Bu etki, 2022 yılı özelinde 180 milyon ila 360 milyon ağacın yıllık katkısına eş değerdir.

Katkı Üreticileri Birliği olarak, tüm paydaşlarımız birlikte, sera gazı emisyonlarını düşürmeye yönelik atılacak adımlarda sektörün yanında olmaya devam edeceğiz.



KAYNAKLAR

1. Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J. et al. Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature* 588,442–444 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>
2. <https://www.betonvecimento.com/beton-2/beton-ve-cimento-yol-haritalari>
3. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>
4. Global Cement Magazine March 2022
5. <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>
6. <https://turkonfed.org/tr/detay/3687/2053-net-sifir-turkiyenin-gelecege-yolculugu>
7. <https://www.iea.org/news/cement-technology-roadmap-plots-path-to-cutting-co2-emissions-24-by-2050>
8. <https://www.turkcimento.org.tr/tr/istatistikler/aylik-veriler>
9. <https://www.dunya.com/sirketler/turk-cimento-sektorunun-uretim-kapasitesi-119-milyon-tona-ulasti-haberi-689592>
10. Türk Çimento Sektörü 2021 Raporu
11. Türk Çimento 2012-2021 İstatistik Kitabı
12. Katkılı Çimentolar EN 197-1 ve EN 197-5 Standartları ve Belgelendirmesi Semineri, <https://www.youtube.com/watch?v=ZPzCak1Nf0w>
13. GCCA in NumbeRs, <https://gccassociation.org/gnr/>
14. Lehne, J., and Preston, F., 2018, Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete, The Royal Institute of International Affairs
15. Hazır Beton Yaşam Döngüsü Rehberi, THBB, 2021.
16. Cementing the European Green Deal, Cembureau, 2020.
17. The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete, GCCA, 2021.
18. Lai, F.C., Karim, M.R., Jamil, M., Zain, M.F.M., Production Yield, Fineness and Strength of Cement as Influenced by Strength Enhancing Additives, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4): 253-259, 2013.
19. Madlool, Naseer & Rahman, Saidur & Hossain, Md & Abd Rahim, Nasrudin. (2011). A critical review on energy use and savings in the cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15. 2042-2060.
20. Engelsens, C.J., Quality improvers in cement making – State of the art, COIN Project report 2 – 2008.
21. https://www.zkg.de/en/artikel/zkg_Comprehensive_understanding_of_grinding_aids_2018890.html
22. Kapeluszna, E., Kotwica, L., The Effect of Various Grinding Aids on the Properties of Cement and Its Compatibility with Acrylate-Based Superplasticizer, *Materials* 2022, 15, 614. <https://doi.org/10.3390/ma15020614>.
23. Kubens, S. Interaction of cement and admixtures and its influence on rheological properties. Cuvillier Verlag. 2010.
24. Türkiye Elektrik Sistemi için En Ekonomik Katkı: Enerji Verimliliği ve Yeni İş Modelleri, SHURA, 2020.



TÜRKİYE PAZARINI %90 MERTEBESİNDE TEMSİL EDİYORUZ.

Akkim

CHRYSO
SAINT-GOBAIN

EGECRETE
A licensee of EUCLID CHEMICAL

FOSROC

KORDSA

LYKSOR
Innovation & Trust

MAPEI
YAPITIRICILAR - MASTIKLER - İNŞAAT KİMYASALLARI

MASTER®
BUILDERS
SOLUTIONS

polyfibers®
REINFORCEMENT SOLUTIONS

Polisan
YAPIKİM

Sika®
BUILDING TRUST

kub.org.tr