



# Beton Kimyasal Katkılarının Net Sıfır Karbon Hedefindeki Rolü



# KATKI ÜRETİCİLERİ BİRLİĞİ

BETON KİMYASAL KATKILARININ NET SIFIR KARBON HEDEFİNDEKİ ROLÜ

## HAZIRLAYAN

Katkı Üreticileri Birliği Teknik Komitesi

## İLETİŞİM BİLGİLERİ

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

Tel: +90 216 456 43 24

[www.kub.org.tr](http://www.kub.org.tr) / [info@kub.org.tr](mailto:info@kub.org.tr)

© Haziran 2023

Katkı Üreticileri Birliği (KÜB) yayınıdır.

Tüm yayın hakkı KÜB' e aittir.

Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

İzinsiz çoğaltılamaz ve basılamaz.



## İÇERİK

1. GİRİŞ .....	3
2. BETON SEKTÖRÜ .....	4
2.1. Beton Sektörünün Tarihsel Gelişimi .....	4
2.2. Türkiye’de Beton Sektörü.....	6
2.3. Beton Sektöründe Karbon Emisyonu ve Düşük Karbonlu Beton .....	7
3. BETON KİMYASAL KATKILARI .....	10
3.1. Beton Kimyasal Katkılarının Tarihsel Gelişimi.....	10
3.2. Türkiye’de Beton Kimyasal Katkı Sektörü .....	12
3.3. Beton Kimyasal Katkılarının Türleri ve Özellikleri .....	14
3.4. Beton Teknolojisinde Yeni Trendler ve Kimyasal Katkıların Rolü .....	19
3.5. Çevresel Ürün Beyanları .....	21
4. BETON KATKILARININ NET SIFIR KARBON HEDEFİNDEKİ ROLÜ .....	23
4.1. Çimento (Klinker) Miktarını Azaltma .....	23
4.2. Su İhtiyacını Azaltma.....	25
4.3. Mineral Katkı Kullanımını Arttırma .....	26
4.4. Su/Çimento Oranını Düşürme .....	27
4.5. Geri Kazanılmış Agregaların Kullanımı.....	28
4.6. Prekast Beton Üretiminde Enerji Tasarrufu .....	28
4.7. Tünel Kalıpta Enerji Tasarrufu .....	29
4.8. Kendiliğinden Yerleşen Beton .....	29
4.9. Püskürtme Beton Katkıları .....	30
4.10. Yenilikçi Bağlayıcıların Kullanımı.....	31
4.11. Yalıtım ile Enerji Tasarrufu .....	31
4.12. Yapıların Servis Ömrü.....	31
5. KÜB’ÜN DEĞERLENDİRMESİ .....	32
KAYNAKLAR .....	33



### 1. GİRİŞ

21. yüzyılın küresel çapta risk ajandasına bakıldığında ilk sırada iklim değişikliği ile mücadelede başarısız olunması yer almaktadır [1]. Bu riskin nasıl oluştuğunu ve sonuçlarının ne denli ciddi olduğunu anlamak için bulunduğumuz antroposen çağa bakmak yeterlidir. Antroposen çağ, insan kaynaklı faaliyetlerin gezegenin iklimi ve ekosistemleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaya başladığı, dünya tarihinin en yakın dönemini tanımlamak için kullanılan resmi olmayan bir jeolojik zaman birimidir. Kimilerine göre bu çağ 18. yüzyılda sahneye giren Sanayi Devrimi ile kimilerine göre 20. yüzyılın ortasında kaydedilen Büyük İvme (Great Acceleration) ile başlamaktadır [2]. Tüm bu tartışmaların ötesinde günümüze geldiğimizde küresel sıcaklığın 20. yüzyılın başına kıyasla 1°C yükseldiği, atmosferde bulunan karbondioksit yoğunluğunun ise %42 arttığı gerçeği ile karşılaşmaktayız [3]. Ne yazık ki tüm ekosistemi olumsuz etkileyecek bu belirtilere karşı dünya çapında ortak mücadele bilinci oldukça geç oluşmuştur.

İnsan kaynaklı faaliyetlerin çevreye etkisi küresel ölçekte ilk kez 1972 yılında Stockholm'de gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler (BM) İnsan Çevresi Konferansı'nda işlenmiştir. Sürdürülebilir kalkınma kavramı ise ilk kez, 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nca hazırlanan Brundtland Raporu'nda geçmiştir. Sürdürülebilir kalkınma için evrensel olarak kabul edilmiş bir tanım yoktur. Brundtland Raporu'nda "sürdürülebilir kalkınma", gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilen kalkınma olarak tanımlanmıştır [4].

1997 yılında küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası ilk çerçeve olan Kyoto Protokolü, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içinde imzalanmıştır. Kyoto Protokolü ile hedeflenen başarıya ulaşamaması, 1950'lerden 2010'lara kadar atmosferdeki karbon miktarının sürekli artış göstermesi ve bunun sonucunda küresel sıcaklık artışının kritik düzeye ulaşması daha etkili ve yaygın politikaların oluşturulması ihtiyacını doğurmuştur. Bunun üzerine 2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin çerçevesini oluşturan Paris İklim Anlaşması, 2015 yılında Paris'te düzenlenen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. 2021 yılı sonunda Türkiye tarafından da imzalanan Paris İklim Anlaşması, çimento ve dolayısıyla hazır beton sektörü başta olmak üzere birçok sanayi sektörünün iklim değişikliği ile mücadele kapsamında dönüşümünü tetikleyen ve hızlandıran bir milat olmuştur. Her ne kadar 2005 yılında Avrupa Birliği'nde Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) uygulanmaya başlanmış olsa da küresel ölçekte farkındalık ve duyarlılık 2015 sonrasında oluşmaya başlamıştır. Bunun en iyi örneği ABD, İngiltere, Almanya, Mısır, Kanada vb. birçok ülkedeki çimento ve hazır beton sektörlerinin iklim değişikliği ile mücadele kapsamındaki yol haritalarını ilk kez 2020 yılı itibarıyla duyurmuş olmalarıdır.



Dünyada en çok tüketilen yapı malzemesi olan beton yeni bir dönüşüm evresindedir. Griden yeşile doğru gerçekleşen bu dönüşümün ürünü, düşük karbonlu betondur. Betonun düşük karbon serüveninde en önemli yardımcılarından birisi betonun



vazgeçilmez bileşeni olan kimyasal katkıdır. Miktar ve maliyet etkisi açısından görece düşük olan kimyasal katkıların betonun teknik, çevresel ve ekonomik performansı açısından etkisi çok daha büyüktür. Bu raporda kimyasal katkıların net sıfır karbon hedefinde betona olan etkileri detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

## 2. BETON SEKTÖRÜ

### 2.1. Beton Sektörünün Tarihsel Gelişimi

Beton kelimesi dilimize Fransızca "béton" kelimesinden türetilmiştir. Yazılı olarak ilk kez 1892 yılında yayımlanan İstilahat Lugati (Fransızca-Türkçe Terimler Sözlüğü) isimli eserde geçmektedir [5]. Latincesi "concretus" olan beton, yoğun veya kompakt (sıkıştırılmış) anlamına gelmektedir [6].

Beton ve harç farklı isimlerle, farklı malzemelerin ve üretim tekniklerinin kullanımı ile binlerce yıldır insanlığın gündeminde yer almaktadır. Göbeklitepe'de keşfedilen insan yapımı ilk tapıntan Mısır piramitlerine, zamana meydan okuyan Pantheon Tapınağı'ndan mühendislik harikası olan Selimiye Camii'ne, ilk betonarme gökdelen olan Ingalls binasından günümüzdeki mega yapılara gelene kadar beton ve bağlayıcı malzemeler sürekli gelişim göstermiştir. Bu nedenle beton hem antik hem de modern bir yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır.



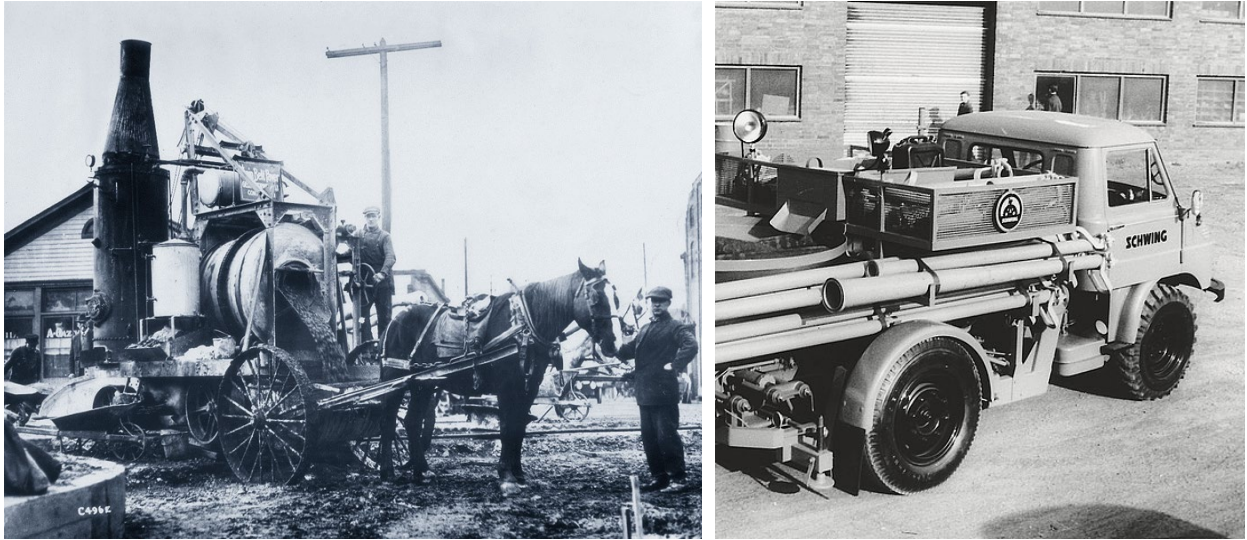
Şekil 1. Pantheon Tapınağı / Roma (sol) ve Selimiye Camii / Edirne (sağ)



Modern anlamda betonu Birinci Sanayi Devrimi'nin bir ürünü olan Portland çimentosunun keşfi ile başlatmak doğru bir yaklaşım olmaktadır. Bu nedenle de literatürde beton, Portland çimentosu betonu olarak geçmektedir. 1824 yılında İngiltere'de patenti alınan ve günümüzde halen aynı isimle bildiğimiz Portland çimentosu kısa sürede gelişmiş ve dünyaya yayılmıştır. Modern çimentonun yaygınlaşması doğrudan beton teknolojisini de etkilemiştir. 19. yüzyılın ikinci yarısında beton ve demirin birlikte kullanıldığı betonarme fikri ortaya çıkmış ve ilk betonarme yapılar Avrupa'da inşa edilmiştir [7].

İkinci Sanayi Devrimi ile üretim teknolojisi daha hızlanmıştır. Bu durum hazır betonun sahneye çıkmasına neden olmuştur. Kum, çakıl, çimento ve suyun belli oranlarda karıştırılarak inşaatta doğrudan kullanılmaya hazır bir malzeme halinde şantiyeye taşıma yöntemini ilk kez Hamburglu bir yapı ustası başarmış ve 1903 yılında bu fikrin patentini almıştır. İlerleyen yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle hazır beton tüm dünya geneline yayılmaya başlamıştır [8].

Beton dünyasında ilk beton transmikserinin 1916 yılında Amerika'da Stephen Stepanian tarafından icat edilmesi hazır beton için önemli bir milat olmuştur [9]. Bunun ardından, şantiyede beton dökümünü çok daha pratik hale getiren bir başka araç olan beton pompası geliştirilmiştir. 1927'de Alman mühendisler Max Giese ve Fritz Hull, borulardan beton pompalama fikrine ulaşarak; 38 metre yüksekliğe ve 119 metre mesafeye beton pompalamışlardır. Kısa bir süre sonra, 1932'de Hollanda'da Jacob Cornelius tarafından bir beton pompası patenti alınmıştır [7].



Şekil 2. 1900'lerin başında buharla çalışan atlı beton karıştırıcısı (sol) ve 1965 yılına ait kamyon monte beton pompası (sağ) [10]

Sonraki yıllarda kaydedilen teknolojik yeniliklerle, özellikle 1960'lı yıllarda kimyasal katkıların ve 1970'li yıllarda liflerin betonda kullanılmaya başlanmasıyla, değişik kullanım

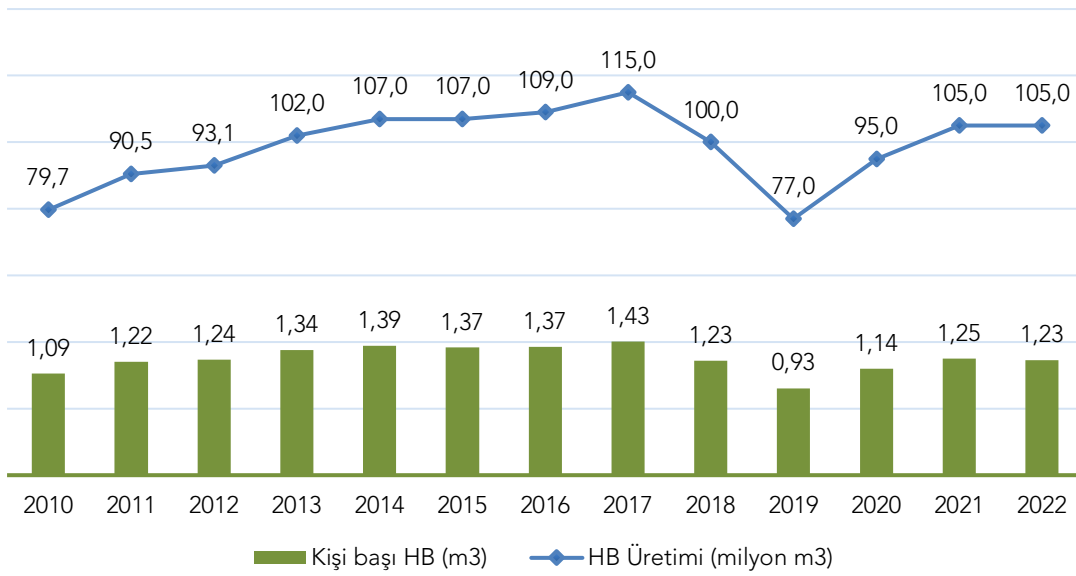


amaçlarına yönelik yüksek dayanımlı ve çevresel koşullara daha dayanıklı betonlar üretilmeye başlamıştır [8].

### 2.2. Türkiye’de Beton Sektörü

Ülkemiz uzun yıllardır hem çimento hem de hazır beton üretiminde Avrupa’da ilk sırada dünyada ise ilk 10’un içinde yer almaktadır. Türkiye’de hazır beton sektörü, özellikle 2000’li yılların başından beri hızla büyüyen bir sektör olarak karşımıza çıkmaktadır. 1988 yılında ülkemizde yıllık 1,5 milyon m<sup>3</sup> hazır beton üretimi gerçekleştirilirken bu miktar 2017 yılında 115 milyon m<sup>3</sup> ile zirveye ulaşmıştır. Son yıllarda inşaat sektöründeki yavaşlamayla birlikte beton üretiminde daralma meydana gelmiş ve 2019 yılında 77 milyon m<sup>3</sup> hazır beton üretilmiştir. 2022 yılına gelindiğinde ise hazır beton sektörü 105 milyon m<sup>3</sup>’ü bulan üretimi, 606 hazır beton firması ve yurt çapında 1.114 hazır beton üretim tesisi ile Türkiye ekonomisi ve inşaat sektörü için önemli bir yerde durmaktadır [11].

#### Hazır Beton (HB) Üretimi



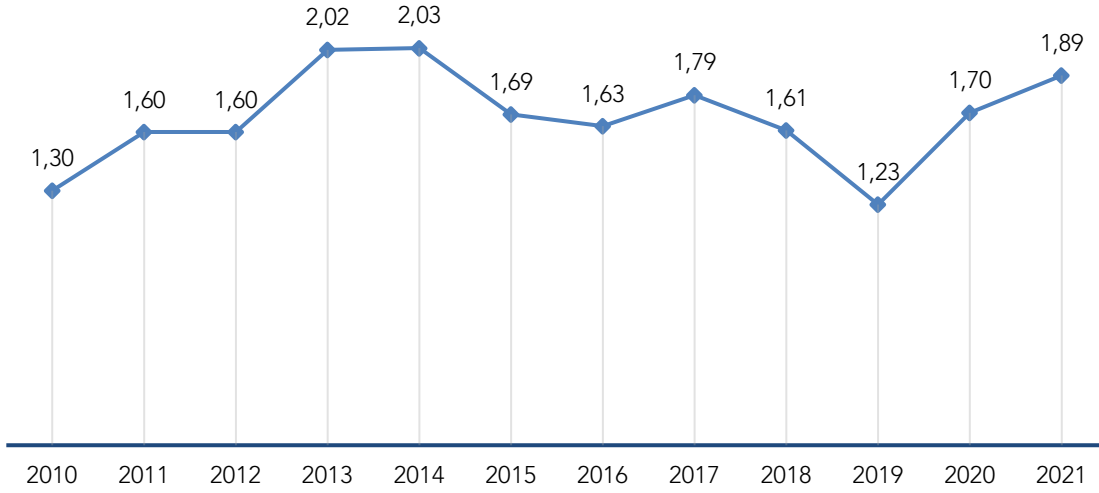
Şekil 3. Türkiye’de 2010-2022 yılları arasında hazır beton üretimi [11]

2022 yılı verilerine göre toplam hazır beton üretiminin %34’ü Marmara, %19’u İç Anadolu, %14’ü Ege, %11’i Akdeniz, %8’i Karadeniz, %7’si Doğu Anadolu ve %7’si Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleşmiştir.

Hazır beton sektörü dışında beton üretimi gerçekleştirilen bir diğer önemli sektör de prefabrik sektördür. 2021 yılı itibarıyla ülkemizde 109 firma 1,9 milyon m<sup>3</sup> beton üretimi ile prefabrik sektörüne hizmet vermektedir [12].



### Prefabrik Beton Üretimi (milyon m<sup>3</sup>)



Şekil 4. Türkiye’de 2010-2021 yılları arasında prefabrik beton üretimi [12]

### 2.3. Beton Sektöründe Karbon Emisyonu ve Düşük Karbonlu Beton

Beton, dünyada sudan sonra en yaygın kullanılan ikinci malzemedir ve bununla birlikte dünyanın en çok kullanılan yapı malzemesidir [13]. Küresel olarak yılda 4 milyar tonun üzerinde çimento tüketilmektedir [14] ve bu çimentonun %80’i ile beton üretildiği varsayılırsa karşımıza 10 milyar m<sup>3</sup> gibi devasa bir beton üretim miktarı çıkmaktadır. Bu neredeyse dünyadaki her insan başına yıllık 1,3 m<sup>3</sup> beton üretimi demektir. Türkiye’de ise 2022 yılında kişi başına 1,23 m<sup>3</sup> olacak şekilde 105 milyon m<sup>3</sup> hazır beton üretimi gerçekleşmiştir [11].

Birleşmiş Milletler, küresel olarak önümüzdeki 40 yıl içinde 230 milyar m<sup>2</sup>lik yeni bir alan inşa edileceğini, dünya binalarındaki 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 hala önemli bir büyüme beklenmektedir [15]. Pratik bir alternatifi olmayan beton, yeni bina ve altyapı talebini karşılamada önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

Üstün fiziksel ve mekanik özellikleri, kolay üretilmesi, sürdürülebilir olması ve diğer alternatif malzemelere göre daha ekonomik olması betonu kelimenin tam anlamıyla modern yapılı çevrenin temel unsuru haline getirmektedir. Bir yapı malzemesi olarak betonun değeri yadsınamaz; ancak iklim değişikliği ile mücadele, betonun ve beton bileşenlerinin sorgulanabilir olmasına da neden olmaktadır. İnşaatın temel unsurlarından biri olan beton, gelecek yıllarda yapılı çevremizde daha fazla iklim direnci elde etmek için vazgeçilmez olacak olan dayanımı, çok yönlülüğü ve dayanıklılığı gibi birçok özelliği





nedeniyle değerini koruyacaktır. Ayrıca beton, doğal karbonatlaşma özelliğiyle ortamdaki karbondioksiti ömrü boyunca bağlama konusunda benzersiz bir kapasiteye sahiptir. Bu açıdan betona “karbon yutağı (carbon sink)” bir malzeme tanımı da yapılabilmektedir [16]. 1930 ile 2019 arasında, tahmini olarak 21 milyar ton ortam karbondioksiti (CO<sub>2</sub>) karbonatlaşma yoluyla beton ve diğer çimentolu ürünler tarafından tutulmuştur [17]. Bununla birlikte betonun karbon ayak izi, karbonatlaşma ile tutabileceği CO<sub>2</sub>'nin oldukça üzerindedir. Bunun nedeni, betona benzersiz yapısal özelliklerini veren bileşen olan Portland çimentosunun üretim sürecinin yüksek derecede emisyon yoğun olmasıdır. Çimento, çoğu uygulamada tipik olarak hacimce betonun %15'inden fazlasını oluşturmazken, malzemenin karbon ayak izinin neredeyse %85-90'ını oluşturmaktadır. Küresel olarak Portland çimento endüstrisi, toplam antropojenik CO<sub>2</sub> emisyonlarının %8'inden sorumludur [18] ve bu nedenle beton bir ülke olsaydı, Çin ve ABD'den sonra dünyanın en büyük üçüncü karbon yayıcısı olurdu [19].

Son yıllarda giderek artan düşük karbonlu üretim ve teknoloji yelpazesi, bugün hem yapısal performansı iyileştirmek hem de beton emisyonlarını azaltmak için mevcut süreçlere dahil edilmektedir. Bunlardan bazıları son derece yenilikçidir. Diğerleri ise düşük teknolojili ve pratikte zaten iyi kurulmuş, ancak çok daha kapsamlı bir şekilde konuşlandırılabilir niteliktedir.

Betondaki emisyon azaltımları yalnızca tek bir değişiklik değil; malzemenin tüm yaşam döngüsü boyunca kümülatif olarak elde edilebilmektedir. Buna ham madde seçimi, imalat, nakliye, inşaat süreçleri, inşaat sonrası bakım ve onarım, bertaraf ve yeniden kullanım dahildir.




Emisyon azaltımları, aynı beton karışımında veya nihai üründe farklı azaltma faktörleri birleştirildiğinde en üst düzeye çıkmaktadır. Çoğu emisyon azaltımı, mevcut çimento ve beton üreticileri tarafından uygulanabilir niteliktedir.

Beton gibi üretilen herhangi bir malzemenin kullanım ömrü boyunca birden fazla noktada karbon emisyonları üretilir. Bu emisyonlar iki kategoriye ayrılır [20]:

1. *Gömülü karbon emisyonları*; malzeme kullanılmadan önce ham madde çıkarımı, yukarı akış üretimi, nakliye ve imalat aşamaları sırasında meydana gelen emisyonlardır.
2. *Operasyonel karbon emisyonları*, imalat ve inşaat sonrasında malzemenin operasyonel ömrü boyunca meydana gelir.

Şekil 5'te hazır betonun beşikten kapıya kadarki süreçteki emisyon aşamaları ve oranları görülmektedir. Hazır betonun gömülü karbon emisyonu toplam emisyonun %90'ından fazlasını kapsamaktadır. Üretim kaynaklı operasyonel emisyon oranı ise %5 seviyesindedir.



 A1 – Ham madde tedarigi > %90	 A2 - Nakliye < %10	 A3 - Üretim < %5
Çimento, agrega, kimyasal katkı ve diğer tüm bileşenlerin üretimi	Ham maddelerin hazır beton tesisine nakliyesi	Hazır betonun üretimi

Şekil 5. Hazır betonun beşikten kapıya emisyon aşamaları [21]

Betonun iklim üzerindeki etkisi, büyük ölçüde Portland çimentosu üretim süreciyle ilişkili gömülü karbon emisyonlarının bir işlevidir. Çimento ile ilgili gömülü karbon emisyonları "proses" ve "yanma" emisyonlarına ayrılmaktadır. Çimento üretimindeki emisyonların yaklaşık %60'ı, CO<sub>2</sub>'nin kireçtaşı kalsinasyonunun kimyasal bir yan ürünü olarak salındığı proses emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Kalan emisyonlar, fosil yakıtların (en yaygın olarak kömür) klinker üretimi için gerekli olan 1450°C sıcaklığa ulaşılması için yakılmasından kaynaklanmaktadır [22].

### Türkiye Hazır Beton Sektöründe Karbon Ayak İzi



Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) tarafından yapılan bir araştırma kapsamında Tablo 1'de görüleceği üzere beş farklı dayanım sınıfına ait ortalama beton reçeteleri tespit edilmiştir. Bu verilerin ağırlıklı ortalaması ile de temsili bir beton karışımı oluşturulmuştur [23].

Tablo 1. Türkiye'de üretilen hazır betonların dayanım sınıfı bazında ortalama karışım içerikleri [23]

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



Yapılan bu çalışma kapsamında Türkiye’de üretilen hazır betonun dayanım sınıfı bazında karbon ayak izi Tablo 2’de belirtilmektedir. Beşikten kapağa (A1-A3) süreç dikkate alındığında 1 m<sup>3</sup> hazır betonun karbon ayak izi ortalama 310 kg’dır [23].

Tablo 2. Dayanım sınıfları bazında 1 m<sup>3</sup> hazır betonun karbon ayak izi

	Karbon Ayak İzi (kg CO <sub>2e</sub> )					Ağırlıklı Ortalama
	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	
A1-A3	285	309	340	370	396	310

Tablo 3’te ise Beton Sürdürülebilirlik Konseyi’nin (CSC) sertifikalandırma sürecinde kullandığı farklı basınç dayanım sınıflarına ait karbon ayak izi seviyeleri görülmektedir [24].

Tablo 3. CSC referans ve hedef değerler

Dayanım Sınıfı	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60
Karbon ayak izi düşürme seviyeleri [net kg CO <sub>2e</sub> / m <sup>3</sup> ]						
Referans	213	237	261	286	312	325
Seviye 1 (≥%30)	149	166	183	200	218	228
Seviye 2 (≥%40)	128	142	157	172	187	195
Seviye 3 (≥%50)	107	119	131	143	156	163
Seviye 4 (≥%60)	85	95	104	114	125	130

C30/37 sınıfına ait referans karbon ayak izi 261 kg’dır. Oysa bu değer ülkemizde 309 kg’dır. Bu farkın ana nedeni Türkiye’de özellikle AB ülkelerine oranla daha az mineral katkı ve düşük klinkerli (katkılı) çimento kullanımındır.

### 3. BETON KİMYASAL KATKILARI













#### 3.1. Beton Kimyasal Katkılarının Tarihsel Gelişimi



Süt, melas, pirinç ezmesi, çamur, saman, meyve suları, kazein, hayvan kanı, yumurta akı, kaktüs suyu, haşlanmış muz gibi doğal malzemeler beton ve harcın donma süresini, işlenebilirliğini ve dayanımını iyileştirmek için tarih boyunca harç ve beton yapımında katkı olarak kullanılmıştır [25-27]. Romalı Mimar Vitruvius’un “Mimarlık Üzerine On Kitap” isimli eserinde incir sütü, çavdar hamuru, hayvan yağı ve kesilmiş süt harcın sertleşmesini sağlamak için; yumurta akı ve hayvan kanı sertleşmeyi geciktirmek için; malt ve ürün de hava sürükleyici olarak sertleşmeden sonra dayanımı



arttırmak için kullanıldığı belirtilmiştir [28]. Hindistan'da "surkhi", Mısır'da "homra", Yunanistan'da "korassani" olarak bilinen kırılmış ve öğütülmüş tuğla ve kiremitler Osmanlı döneminde "horasan" olarak adlandırmıştır [29]. Horasan harcına plastikliği ve yapışmayı arttırmak amacıyla yumurta akı katılmıştır.

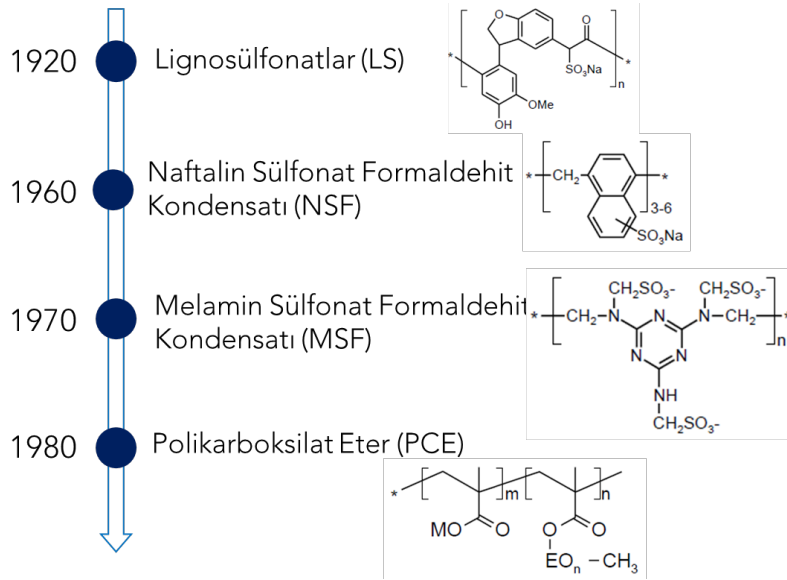
					
Süt	Hayvan iç yağı	Kaktüs suyu	Yumurta akı	Bira özütü	Balmumu
					
Haşlanmış muz suyu	Lateks	Pirinç unu	Ağaç kabuğu özütü	Hayvan kanı	Melas

Şekil 6. Tarihte harç ve beton üretiminde kullanılan doğal katkılar

Betonda kimyasal katkı olarak kullanılan ilk malzeme kalsiyum klorürdür. Kalsiyum klorürün beton yapımında kullanılmasına dair ilk patentler Almanya'da 1873 ve İngiltere'de 1885 yılında alınmıştır [30, 31]. Kalsiyum klorür uzun bir süre betonun erken dayanımını arttırmak veya soğuk havalarda betonun prizini hızlandırmak amacıyla kullanılmıştır. Ancak, kalsiyum klorürün beton içindeki çelik donatının korozyonuna neden olması kullanımın sınırlanmasına neden olmuştur.

Su azaltıcı ve priz geciktirici katkı hakkında ilk önemli araştırmalar 1930'lu yıllarda başlamıştır. Suda çözünebilir hidroksil karboksilik asit tuzlarının beton karışımında su ihtiyacını azalttığına dair patent 1932 yılında Almanya'da ve İngiltere'de, 1939 yılında ise ABD'de alınmıştır. 1936 yılında linyosülfonik ve naftalin sülfonik asitin beton üzerindeki etkisi, 1934 yılında sodyum glukonatın su azaltıcı etkisi ve triethanomalinin priz üzerindeki etkisi araştırılmaya başlanmıştır. Hava sürükleyici katkıların etkisi ile ilgili ilk çalışmalar yine 1930'lu yıllarda yapılmıştır [31].

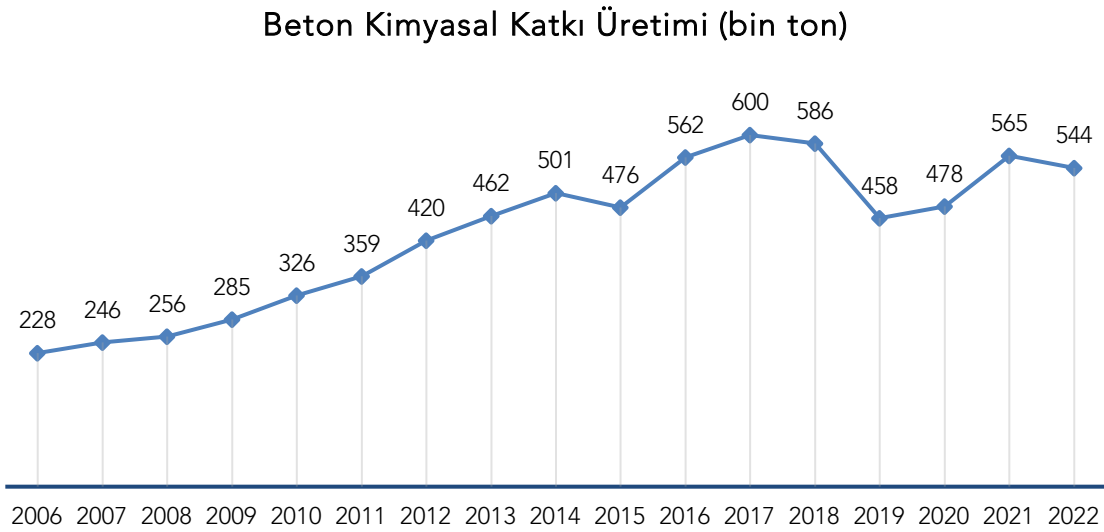
Literatürde yüksek oranda su azaltan süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılarla ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda görülmektedir. 1980'li yıllara dek Japonya, Almanya, ABD ve İngiltere gibi birçok ülkede süperakışkanlaştırıcı kimyasalların betonda kullanımı ile çok sayıda çalışma yapılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkıların özellikleri 1980 yılında yayımlanan "ASTM C 494 - Beton için Kimyasal Katkı Maddeleri" isimli Amerikan standardında belirtilmiştir [31].



Şekil 7. Beton kimyasal katkılarının son yüzyılda gelişimi

### 3.2. Türkiye’de Beton Kimyasal Katkı Sektörü

Türkiye uzun süredir Avrupa’nın en çok beton kimyasal katkı üreten ülkesi olarak öne çıkmaktadır. Şekil 8’de görüleceği üzere 2006 yılından 2017 yılına kadar beton kimyasal katkıların üretim miktarında istikrarlı bir büyüme gerçekleşmiştir. İnşaat sektöründe ve dolayısıyla hazır beton sektöründeki daralma sonucunda 2019 yılında yıllık üretim 458 bin ton seviyesine gerilemiş, ancak daha sonra bir toparlanma göstererek 2020 yılında 478 bin tona ve 2021 yılında 565 bin tona yükselmiştir. 2022 yılında 544 bin tonluk iç tüketim gerçekleşmiştir. 2022 yılı verilerine göre üretilen kimyasal katkıların yaklaşık %90’ı yurt içinde kullanılmaktadır.

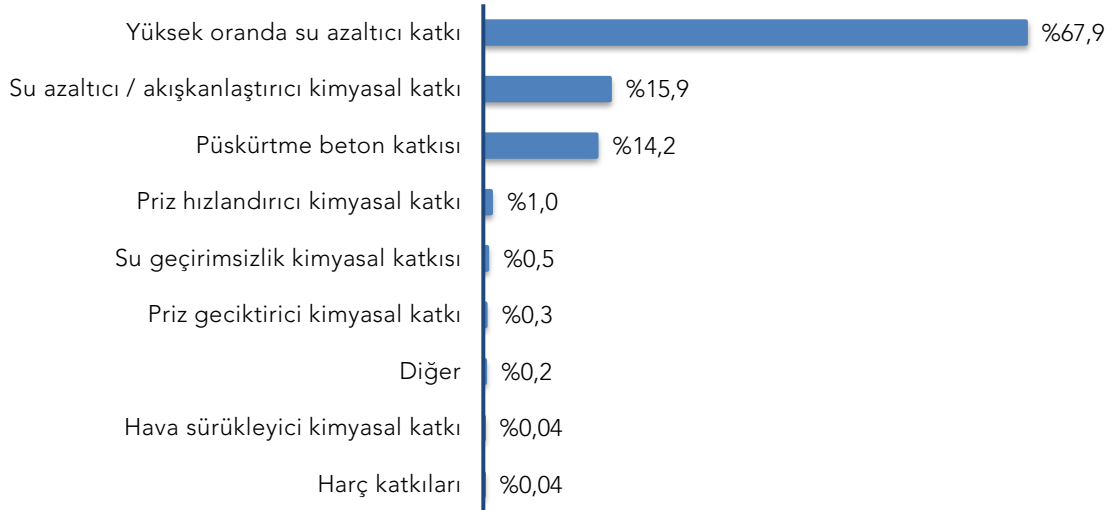


Şekil 8. Yıl bazında beton kimyasal katkıları üretim miktarı



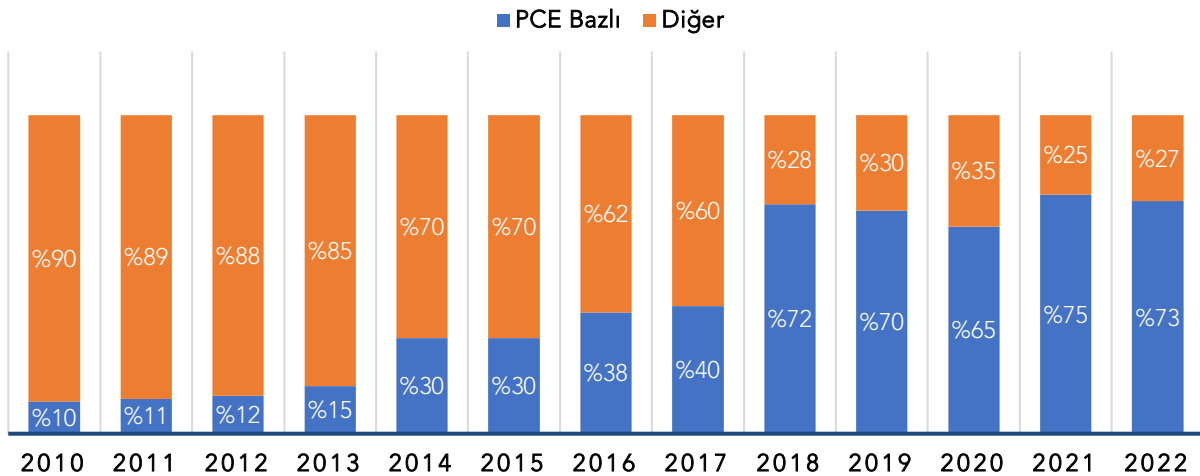
Üretim teknolojisi, Ar-Ge altyapısı ve inovatif çözümleri ile her yıl daha da gelişen Türkiye kimyasal katkı sektörü inşaat sektörünün en önemli paydaşlarından birisidir. Şekil 9'da 2022 yılında üretilen beton kimyasal katkıların sınıflarına göre oranları görülmektedir. %68 ile en büyük pay yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkılara aittir. Bunu %16 ile su azaltıcı katkı, %14 ile püskürtme beton katkıları takip etmektedir.

### Katkı Sınıflarına Göre Üretim Oranı - 2022



Şekil 9. Katkı sınıflarına göre üretim oranı - 2022

2010-2022 yılları arasında yüksek oranda kıvam koruyabilen ve yüksek performanslı betonlar için etkili çözümler sağlayan PCE bazlı kimyasal katkı üretimi, yüksek oranda su azaltıcı katkı kapsamında %10 seviyesinden %73 seviyesine yükselmiştir.



Şekil 10. Yüksek oranda su azaltıcı katkıları içerisinde PCE bazlı katkıların oranı



### 3.3. Beton Kimyasal Katkılarının Türleri ve Özellikleri

Beton kimyasal katkıları; betonun üretiminden taşınmasına, pompalanmasından yerleştirilmesine, kalıp içerisinde dayanım kazanmasına kadar tüm süreçlerde etkin rol üstlenmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir beton üretimi için vazgeçilmez bileşenlerden birisidir. Beton katkılarının çeşitli süreçlerdeki etkisi aşağıda belirtilmektedir:

**Betonun karıştırılması:** Betonun üretimi anında beton içerisindeki su miktarını azaltarak; betonun maliyetini, dayanımını ve beton içerisinde kullanılan kaynakların optimizasyonunu sağlamaktadır.

**Betonun taşınması:** Betonun üretildikten sonra inşaat sahasına taşınırken karıştırılabilir ve uygulanabilir işlenebilirlikte olmasında beton katkılarının büyük bir etkisi vardır. Hatta bazı özel beton katkıları ile 2 saat üzerinde betonun kıvam koruması sağlanarak, uygulamanın ve nakliyenin sorunsuz bir şekilde yapılması mümkün olmaktadır. Bu durum hem performansın sağlanması hem de operasyonun hızlanması ile inşaat maliyeti açısından büyük bir avantaj getirmektedir.

**Betonun teslimi:** İnşaat yerinde betonun kolaylıkla pompalanarak her türlü yapının rahat bir şekilde üretilmesi gerekmektedir. Özellikle son yıllarda anıtsal yapılar ve mega projelerin başarıyla gerçekleşmesinde (Yavuz Sultan Selim Köprüsü, Burj Khalifa vb.) betonun bu özelliği önemli rol oynamaktadır.

**Betonun yerleştirilmesi:** Betonun yerleştirilmesi aşamasında beton katkıları kritik bir rol üstlenerek daha az işçilik ile betonun daha iyi yerleştirilmesini sağlamakta ve hem ekonomik olarak hem de performans olarak inşaat üretimine büyük faydalar sağlamaktadır.

**Betonun kalıptan çıkarılması:** Beton kalıba yerleştikten sonra dayanım ve durabilite özelliklerinin gelişmesinde yine en önemli faktörlerden biri beton katkılarıdır. Betonun sertleşmiş özelliklerine etki ederek hem inşaat süresinin kılmasında hem de betonun mühendislik özelliklerini geliştirilip yapının daha uzun ömürlü kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 11. Hazır betonun üretim ve kullanım süreci



Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkıların özellikleri ve gereklilikleri TS EN 934-2 Standardında belirlenmiştir. Tablo 4'te görüleceği üzere TS EN 934-2 kapsamında 12 çeşit katkı yer almaktadır. Püskürtme beton katkıları ise TS EN 934-5 kapsamındadır.

Tablo 4. Türk Standartlarında yer alan beton kimyasal katkıları

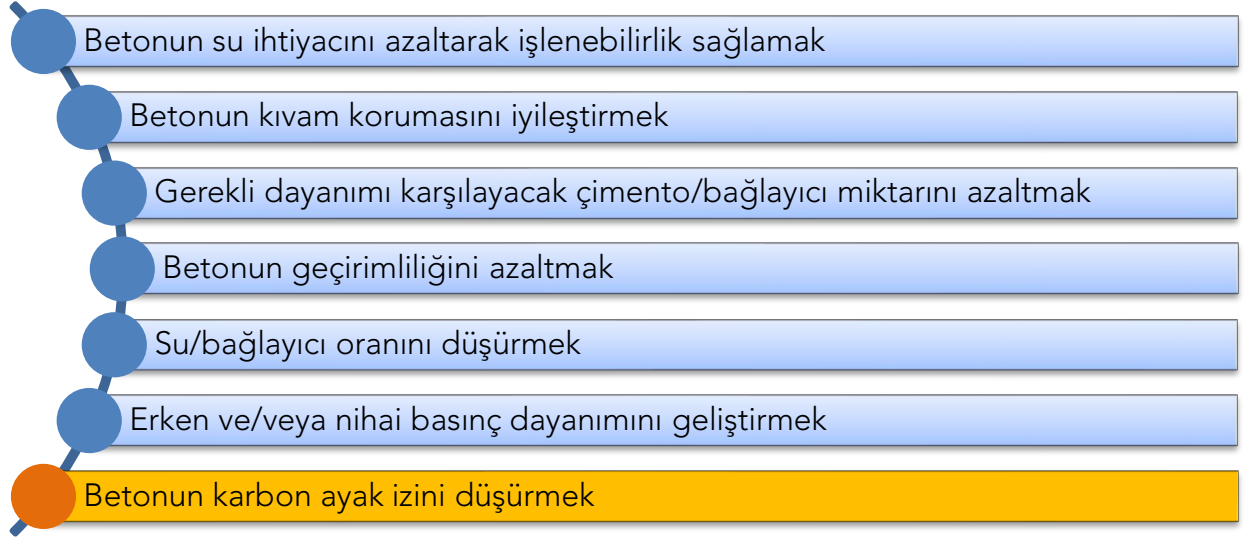
Standart	Katkı Türleri
TS EN 934-2	<b>Beton Kimyasal Katkıları</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı</li><li>2. Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı</li><li>3. Su tutucu kimyasal katkı</li><li>4. Hava sürükleyici kimyasal katkı</li><li>5. Priz hızlandırıcı kimyasal katkı</li><li>6. Sertleşmeyi hızlandırıcı kimyasal katkı</li><li>7. Priz geciktirici kimyasal katkı</li><li>8. Su geçirimsizlik kimyasal katkısı</li><li>9. Priz geciktirici / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı</li><li>10. Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı</li><li>11. Priz hızlandırıcı / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı</li><li>12. Viskozite iyileştirici kimyasal katkıları</li></ol>
TS EN 934-5	Püskürtme beton katkıları

Henüz standardı olmayan diğer beton katkıları ise:

- Yüzey geciktiriciler
- Alkali-silika reaksiyonu azaltıcılar
- Korozyon azaltıcılar
- Renkli beton pigmentleri
- Rötne azaltıcı katkıları
- Ayrışma azaltıcı katkıları
- Köpük beton katkıları
- Antibakteriyel katkıları

Hazır beton sektöründe en çok kullanılan beton kimyasal katkısı süperakışkanlaştırıcı katkılarıdır. Lignin, naftalin, melamin, polikarboksilik eter (PCE) bazlı ham maddelerden üretilen akışkanlaştırıcı katkıların Şekil 12'de belirtildiği gibi betonun fiziksel, mekanik ve çevresel performansı üzerinde doğrudan ve dolaylı çok önemli etkileri bulunmaktadır.

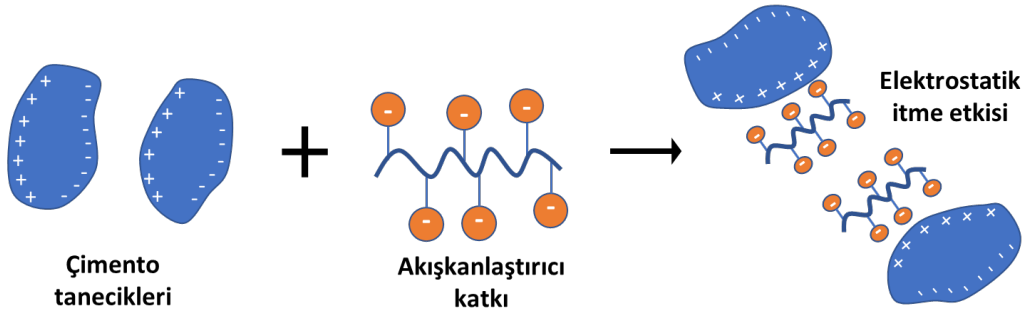




Şekil 12. Süperakışkanlaştırıcı katkıların beton performansına etkileri

Süperakışkanlaştırıcıların nasıl çalıştığını anlamak için önce çimento ve su arasındaki hidratasyon reaksiyonunu anlamak gerekmektedir. Çimento tanecikleri, düzensiz şekillere sahip ince tanelerdir. Çimento ve su karıştırıldığında, tanecikler pozitif ve negatif yüklü bölgeleri arasındaki elektrostatik çekim nedeniyle topaklanır. Topaklanmış çimento ve su karışımı içinde, karışım suyunun bir kısmını tutan boşluklar oluşur. Karışıma anyonik bir süperakışkanlaştırıcı eklendiğinde, polimerin negatif bölümleri taneciklerin yüzeyine adsorbe olur ve her bir taneciğin negatif yükünü artırır. Bu durum, çimento taneciklerinin topaklanmasını engelleyen ve sıkışan suyu serbest bırakan, tanecikler arasında itme kuvveti ile sağlanır. Süperakışkanlaştırıcı katkılar 3 farklı mekanizmada çalışmaktadır:

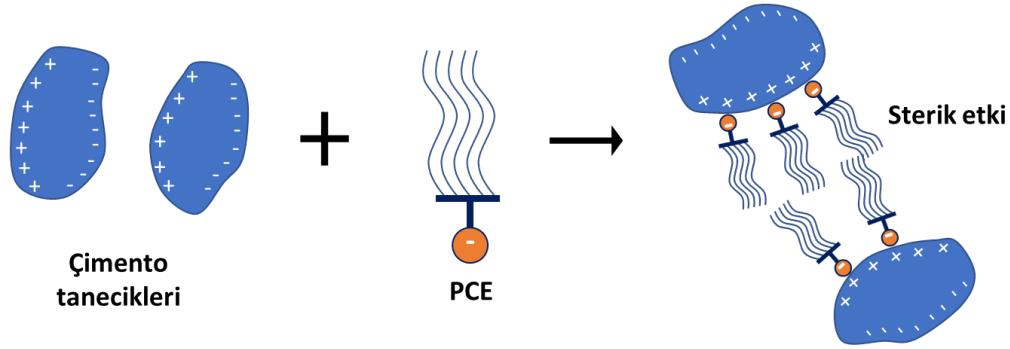
- 1. Elektrostatik Etki:** Melamin, naftalin veya PCE bazlı süperakışkanlaştırıcılar; elektrostatik itme ile çalışır. Şekil 13'te görüldüğü gibi anyonik polimerler, çimento taneciklerinin yüzeyine adsorbe olur ve taneciklerin karşılıklı olarak itici olmasına neden olan negatif yük yoğunluğunu artırır.



Şekil 13. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılarda elektrostatik itme etkisi [32]



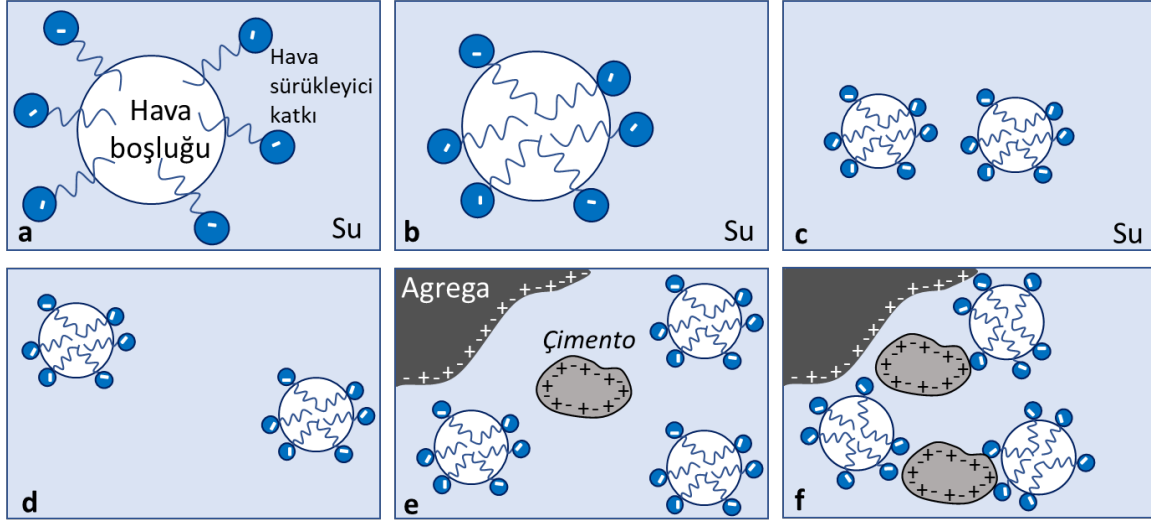
2. **Sterik Etki:** Sterik dispersiyon (dağılma); melamin, naftalin ve PCE dayalı süperakışkanlaştırıcılarda meydana gelir. İyonik olmayan polimerler, çimento taneciklerinin yüzeyine adsorbe olur ve yüzeyden dışarı doğru uzanır. Tanecikler birbirine yaklaşırsa zincirlerin serbest dönüşü azalır. Bu da entropinin azalmasına neden olur.



Şekil 14. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılarda sterik etki [32]

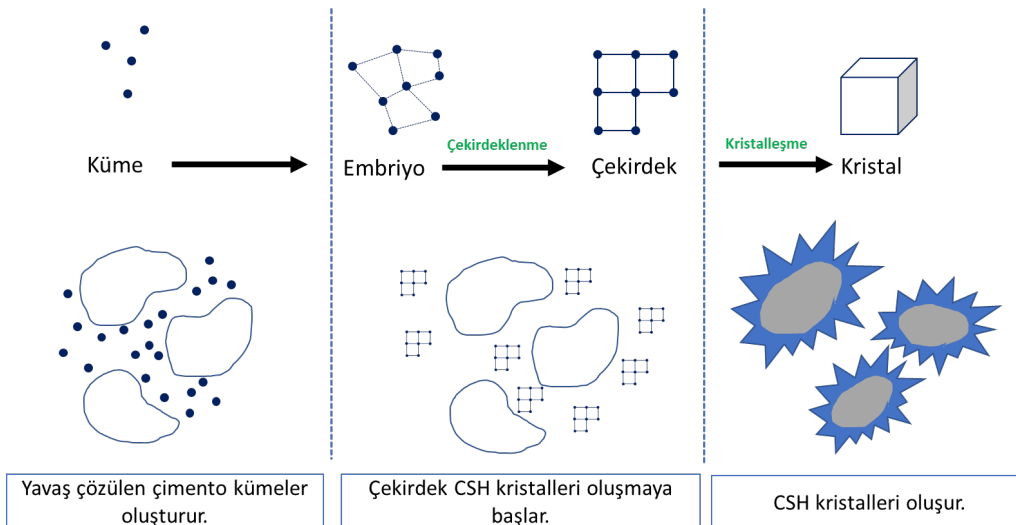
3. **Elektro-Sterik Etki:** Elektrostatik ve sterik etkinin bir kombinasyonudur. Sadece PCE esaslı süperakışkanlaştırıcılarda bulunur. Hem anyonik hem de iyonik olmayan yan zincirlerden oluşan ve çimentoya ince ayarlı polimerik moleküller; çimento taneciklerinin yüzeyine yapışarak beton, grout veya harcın mümkün olan en iyi dağılımını ve reolojisini sağlar.

Süperakışkanlaştırıcı katkıların dışında diğer bir önemli mekanizma hava sürükleyici katkılarda görülmektedir. Hava sürükleyici katkıların, karıştırma sırasında taze betona kontrollü miktarda küçük, düzgün dağılmış ve sertleşme sonrasında da kalıcı olan hava kabarcığı sürükleyen kimyasal katkılarıdır. Hava sürükleyici katkıların, hava-su arayüzünde etki eder. Hava sürükleyici katkıların tipik olarak hidrofilik olan ve suyu çeken negatif yüklü bir başlığa ve suyu iten hidrofobik bir kuyruğa sahiptir. Şekil 15'te gösterildiği gibi; hidrofobik uç, karıştırma işlemi sırasında oluşan kabarcıklar içindeki havaya çekilir. Hidrofilik olan kutup ucu, kendisini suya doğru yönlendirir (a). Hava sürükleyici katkı, hava kabarcıklarını tutmak ve stabilize etmek için yeterli dayanım ve esnekliğe sahip, sabun filmine benzer, sert, su itici bir film oluşturur. Hidrofobik film ayrıca suyu kabarcıklardan uzak tutar (b). Mekanik karıştırma hava kabarcıklarını dağıtır. Her kabarcığın etrafındaki yük, kabarcığın birleşmesini önleyen itici kuvvetlere yol açar (c&d). Yüzey yükü, hava kabarcığının çimento ve agrega parçacıklarının yüklü yüzeylerine yapışmasına neden olur. İnce agrega parçacıkları ayrıca karışımdaki kabarcıkları tutmaya yardımcı olmak için üç boyutlu bir izgara görevi görür (e). Bu, karışımın kohezyonunu geliştirir ve hava kabarcıklarını daha da stabilize eder (f).



Şekil 15. Hava sürükleyici katkıların çalışma mekanizması [33]

Bir diğer önemli mekanizma ise betonun sertleşme ve priz alma sürecinin hızlandırılmasıdır. Bu amaçla priz hızlandırıcı ve/veya sertleşme hızlandırıcı katkıları kullanılır. Özellikle yüksek oranda mineral katkı kullanılan beton karışımlarında erken dayanım düşük olabilmektedir. Şekil 16’da belirtildiği gibi hızlandırıcı katkıları, hidrasyon sürecini hızlandırarak betonun kuruma ve sertleşme süresini kısaltan ve erken yaş dayanımını arttıran kimyasal katkılarıdır. Bu katkıları ayrıca yüksek erken dayanım gerektiren prefabrik beton üretiminde, kayar kalıp projelerinde ve hızlı bakım onarım gerektiren işlerde son derece etkili olmaktadır. Priz süresinin ve erken dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi sayesinde çimento tüketimi düşürülebilmekte, daha fazla mineral katkı kullanılabilenmekte, operasyonel enerji sarfiyatı azaltılabilmekte ve dolayısıyla daha düşük karbon ayak izine sahip beton tasarımı yapılabilmektedir.

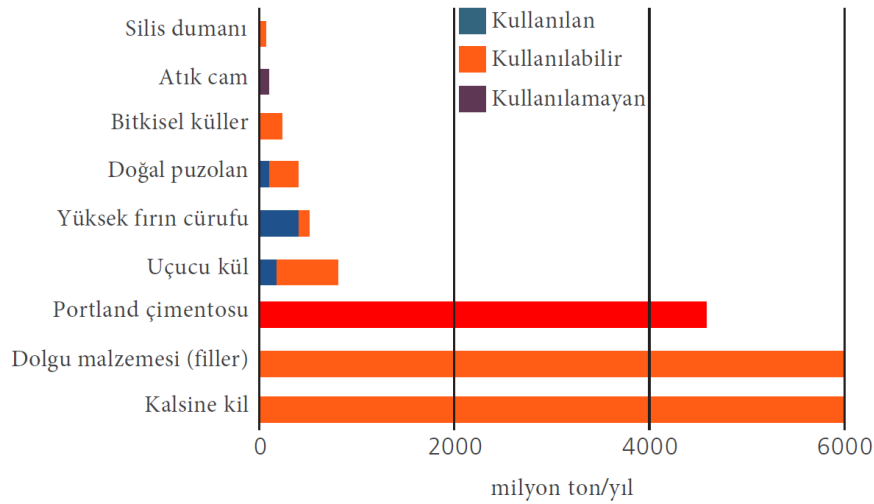


Şekil 16. Çimentonun hidrasyon süreci



### 3.4. Beton Teknolojisinde Yeni Trendler ve Kimyasal Katkıların Rolü

- **Düşük Karbonlu Beton:** Düşük karbonlu beton, geleneksel betondan daha düşük karbon ayak izine sahip betondur. Bu da genellikle çimento miktarının daha doğru bir ifade ile klinker miktarının azaltılması yoluyla elde edilir; çünkü beton üretim sürecindeki karbon emisyonlarının en önemli kaynağı çimentonun ana bileşeni olan klinkerdir. Bunun en bilinen ve etkili yolu; klinkerin uçucu kül, yüksek fırın cürufu, doğal puzolan gibi mineral katkıların aracılığıyla ikame edilmesidir. Ancak, mineral katkıların çimento ya da betonda kullanımı standartlar ve proje gereksinimleri kapsamında sınırlandırılmaktadır. Dayanıklılık açısından son derece etkili olan mineral katkıların betonda su ihtiyacını arttırabilmekte ve erken yaş dayanımları düşük olabilmektedir. Bu nedenle kullanım potansiyelleri düşmektedir. Tüm bu sorunların çözümünde yine beton kimyasalları öne çıkmaktadır.
- **Kalsine Kil Çimentosu:** Son yıllarda trend haline gelen kalsine kil, çimento ve beton için yeni bir çevre dostu ham madde olarak öne çıkmaktadır. Bu durumun en önemli sebeplerinden birisi Şekil 17’de görüldüğü üzere klinker ikamesinde kullanılabilir mineral katkıların içinde mevcudiyeti en yüksek potansiyele sahip malzemenin kalsine kil olmasıdır. LC3 (limestone calcined clay cement); klinker, kireçtaşı ve kalsine kil içeren bağlayıcıların formüle edilmesine yönelik özel ve yeni bir konsepttir. Özel gereksinimlere bağlı olarak, %20-70 arasında klinker ikamesi yapılabilmektedir. Bu da hem çimentonun hem de betonun karbon ayak izini önemli miktarda düşürebilmektedir. Katkı üreticileri bu yeni konseptte uygun kimyasal katkıları geliştirmektedir. Bu sayede kalsine kil çimentosu ile üretilecek olan betonların su ihtiyacı, erken yaş dayanımı ve priz süresi gibi özellikleri iyileştirilebilmektedir.

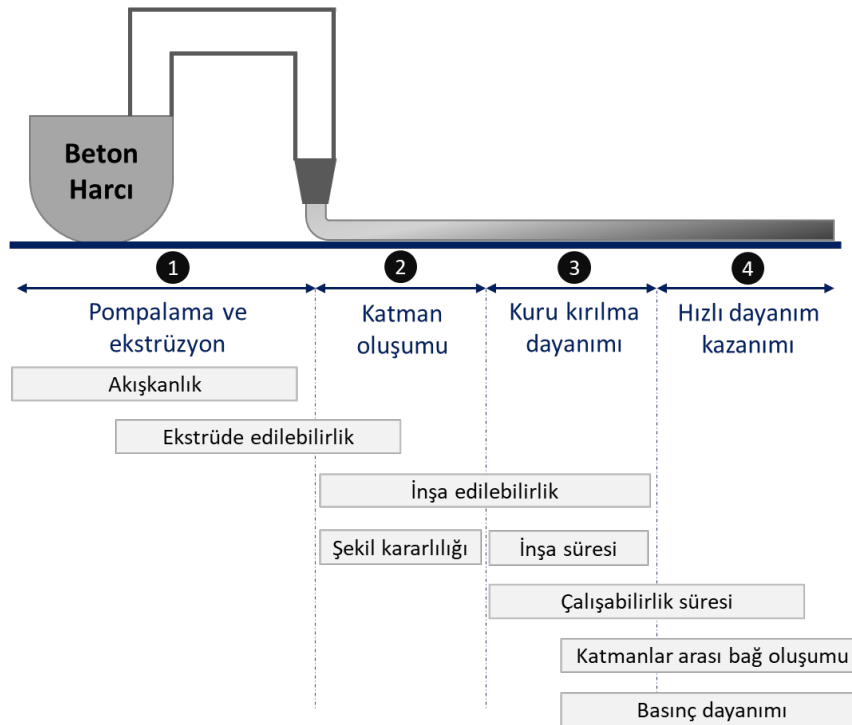


Şekil 17. Küresel ölçekte çeşitli mineral katkıların kullanımı ve tahmini mevcudiyeti [35]



- **3 Boyutlu (3D) Beton Baskı Teknolojisi:** Gelişen teknoloji ile birlikte 3D yazıcı yöntemi, mevcut yapı endüstrisinin zorluklarına çözüm olabilecek yaklaşımlardan bir tanesi olarak benimsenmiştir. 3D yöntemini kısaca katman üzerine katman eklemek suretiyle yapı imalatı olarak ifade etmek mümkündür. 3D ile yapıların inşası; geleneksel beton üretim yöntemlerine kıyasla çok daha fazla tasarım özgürlüğü tanıyan, daha hızlı, daha az atık üreten, daha ekonomik, işçilik hatalarını ortadan kaldıran, kalıp gerektirmeyen ve daha sürdürülebilir yöntemler olarak ifade edilebilmektedir. 3D teknolojisi malzeme kaynaklı olumsuz çevresel etkiyi azaltarak, son ürünün kalitesini artırmakta ve geometrik olarak daha karmaşık projelerin ve tasarımların hızlı bir şekilde yapımına olanak sağlamaktadır. Son 20 yılda beton ve yapı kimyasalları teknolojisinde önemli gelişmeler sağlanırken, bu gelişmelerin 3D beton teknolojisi için de avantaj sağladığı bilinmektedir.

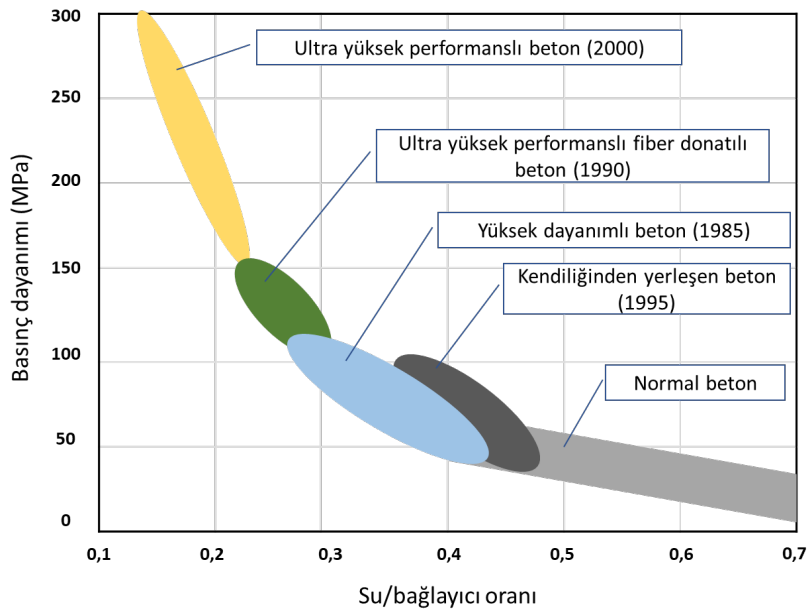
3D beton; ince agrega, çimento, su, özel katkı ve/veya kompozit fiberden oluşmaktadır. Kısa sürede üst üste binen katmanlar şeklinde beton dökümü yapıldığından betonun reolojik özellikleri çok önemli olmaktadır. Betonun istenilen reolojide üretilmesinde kimyasal katkıların aktif rolü bulunmaktadır. Şekil 18’de 3D beton baskı sürecindeki aşamalar belirtilmektedir. Normal betona göre tiksotropik davranış sergileyen 3D beton karışımında istenilen performansı karşılamak için süperakışkanlaştırıcı, priz hızlandırıcı, rötre önleyici ve viskozite düzenleyici kimyasal katkıları ile birlikte lifler ve pigmentler de kullanılabilir.



Şekil 18. 3D beton baskı aşamaları [34]



- **Ultra Yüksek Performanslı Betonlar:** Ultra yüksek performanslı beton (UHPC); yüksek işlenebilirlik, yüksek basınç dayanımı, artırılmış süneklik ve çevresel etkilere karşı yüksek direnç gibi üstün özelliklere sahip, 1990'larda Fransa'da geliştirilen yeni bir beton sınıfıdır. UHPC, yüksek yapılar ve uzun açıklıklı prekast yapılarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bugüne kadar UHPC için evrensel bir tanım yapılmamıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde Federal Karayolu İdaresi (FHWA) UHPC'yi; taneli bileşenlerin optimize edilmiş gradasyonuna sahip, 0,25'ten düşük su/bağlayıcı oranında ve yüksek oranda fiber içeren çimentolu bir kompozit malzeme olarak tanımlamaktadır. UHPC'nin mekanik özellikleri arasında 150 MPa'dan daha yüksek basınç dayanımı ve 5 MPa'dan daha yüksek sürekli çatlama sonrası çekme dayanımı yer almaktadır. UHPC, su geçirimsizliğini azaltan ve geleneksel betona kıyasla dayanıklılığı önemli ölçüde artıran süresiz bir gözenek yapısına sahiptir. UHPC karışım tasarımı genel olarak iki farklı türde kimyasal katkı içerir. Bunlar yüksek oranda su azaltıcılar (süperakışkanlaştırıcılar) ve priz hızlandırıcılarıdır.



Şekil 19. Farklı beton türleri için su/bağlayıcı oranına göre basınç dayanımları [36]

### 3.5. Çevresel Ürün Beyanları

Çevresel ürün beyanı (EPD); ürünlerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri hakkında şeffaf ve karşılaştırılabilir bilgileri içeren, bağımsız olarak doğrulanmış ve tescilli bir belgedir. EPD; yaşam döngüsü analizi 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.



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 aranan dokümanlardır.



Şekil 20. Çevresel ürün beyanında yer alan yaşam döngüsü aşamaları

KÜB'ün de üyesi olduğu Avrupa Beton Katkıları Federasyonu (EFCA) akışkanlaştırıcı, süperakışkanlaştırıcı, priz geciktirici, priz hızlandırıcı, hava sürükleyici, su geçirimsizlik ve sertleşmeyi hızlandırıcı katkıları için EPD'ler yayımlamıştır. KÜB üyeleri EFCA model Çevresel Ürün Beyanları (EPD) ile ürünlerini arz etmektedir. Bu katkıların beşikten kapıya (A1-A3) süreci kapsamındaki karbon ayak izi Tablo 5'te belirtilmiştir [37].

Tablo 5. EFCA Çevresel Ürün Beyanlarında yer alan katkıların karbon ayak izi

Kimyasal Katkılar	A1 – A3 Karbon emisyonu [kg CO <sub>2e</sub> ] / kg
Akışkanlaştırıcı / Süperakışkanlaştırıcı	1,53
Priz hızlandırıcı	1,34
Priz yavaşlatıcı	1,23
Sertleşmeyi hızlandırıcı	1,79
Hava sürükleyici	0,439
Su geçirimsizlik	2,67

Türkiye'de 1 m<sup>3</sup> hazır betonda ortalama 4 kg akışkanlaştırıcı / süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanıldığı düşünüldüğünde 1 m<sup>3</sup> betonda kimyasal katkı kaynaklı karbon ayak izi ortalama 6 kg olmaktadır. Bu da hazır betonun toplam karbon ayak izinin yaklaşık %2'si gibi oldukça düşük bir miktardır.



### 4. BETON KATKILARININ NET SIFIR KARBON HEDEFİNDEKİ ROLÜ



Dünyada en çok tüketilen yapı malzemesi olan beton; sağlamlığı, dayanıklılığı, işleme kolaylığı ve çok geniş bir alanda kullanılabilirliği sayesinde her yıl dünya ölçeğinde 10 milyar m<sup>3</sup>ten fazla kullanılmaktadır. Kimyasal katkıları her ne kadar miktarsal olarak en düşük oranda kullanılan beton bileşeni olsa da betonun özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, beton kimyasal katkıları betonun karbon ayak izini azaltmada son derece etkilidir. Bu kapsamda, kimyasal katkıların betonun dekarbonizasyonu ile ilgili potansiyelini detaylıca incelemek gerekmektedir.

Modern betonun temel bir bileşeni haline gelen kimyasal katkıları; benzersiz ve yenilikçi bina tasarımlarına, operasyonel kolaylıklara, uzun süreli dayanıklılığa, geliştirilmiş beton davranış parametrelerine ve genel olarak sürdürülebilir beton karışım tasarımlarına olanak tanımaktadır. Katkıların beton karışım tasarımında kendi karbon katkılarının ihmal edilebilir düzeyde olmasına rağmen özellikle çimento azaltımı sayesinde betonun karbon ayak izi üzerinde etkisi oldukça yüksektir.

Bu bölümde beton kimyasal katkılarının sürdürülebilir ve düşük karbonlu beton üretimindeki etkileri 12 maddede açıklanmaktadır.

#### 4.1. Çimento (Klinker) Miktarını Azaltma

1970'lerden itibaren akışkanlaştırıcıların/süperakışkanlaştırıcıların piyasaya sürülmesi, betondaki çimento içeriğini azaltarak karbon emisyonunun azaltılmasını sağlamıştır. Bu katkıların çimento taneleri üzerindeki dağıtıcı etkisi sayesinde, daha düşük su içeriğine sahip beton karışımlarında aynı işlenebilirliği korumak mümkün olmaktadır. Örneğin, %1 süperakışkanlaştırıcı ilavesi eşit kıvamda yaklaşık %20-30 oranında su azaltımına karşılık gelmektedir. Ayrıca, eşit kıvamda su/bağlayıcı oranının düşürülmesi ile betonun basınç dayanımında önemli bir artış meydana gelmektedir.

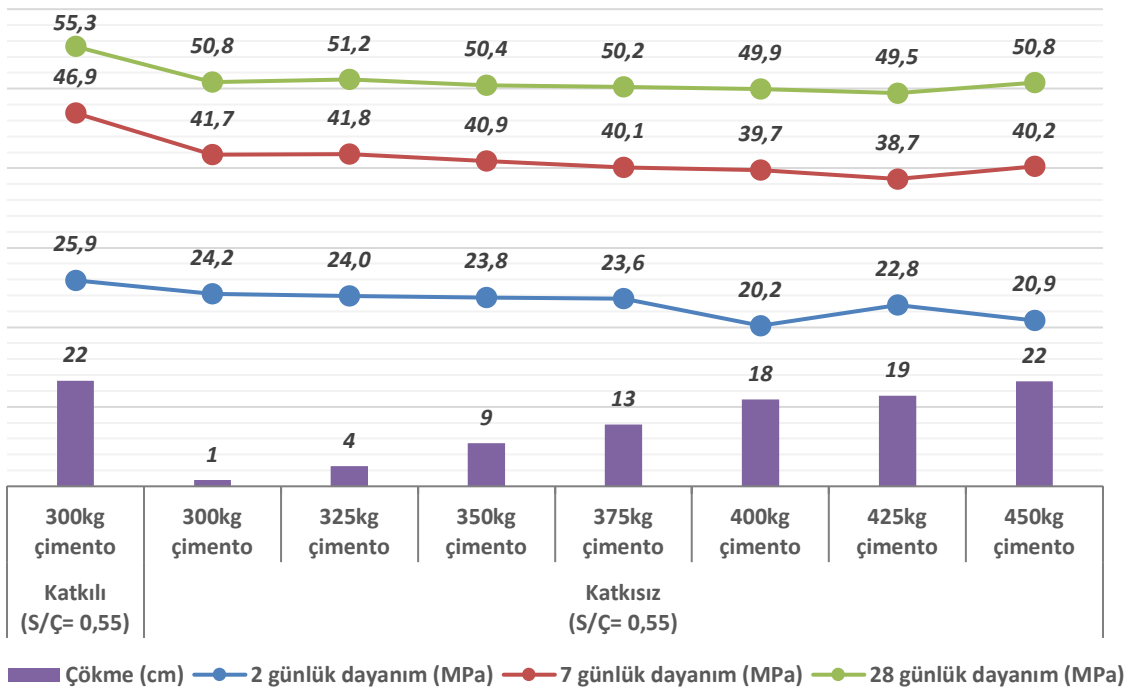
Kimyasal katkıları işlenebilirliğin artmasına neden olarak karıştırma ve yerleştirme esnasında daha az enerji kullanılmasına, dolayısıyla daha az karbon emisyonuna neden olmaktadır.

Şekil 21'de KÜB Teknik Komitesi üyeleri tarafından yapılan kapsamlı bir çalışmanın konsolide edilmiş sonuçları görülmektedir. Çalışma kapsamında 300 kg CEM I 42,5 R çimentosu içeren, su/çimento oranı 0,55 olan ve %1 oranında PCE içerikli kimyasal katkı ile üretilen beton referans olarak alınmıştır. Diğer tasarımlar ise aynı su/çimento oranında referans ile eşit kıvama ulaşılan dek çimento dozajı 25'er kg arttırılarak katkısız bir şekilde üretilmiştir.





Şekil 21’de görüleceği üzere referans (katkılı) tasarımın kıvam değerine 0,55 eşit su/çimento oranında 450 kg/m<sup>3</sup> çimento kullanılan tasarımda ulaşılmıştır. Buna rağmen referans tasarıma göre daha düşük dayanım elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda beton kimyasal katkısı kullanımının eşit kıvamda çimento ihtiyacını %33 civarında azaltabildiği ve daha yüksek basınç dayanımı kazandırdığı tespit edilmiştir. Çimento ihtiyacını azaltma potansiyeli beton tasarımına ve kullanılan katkı cinsi ve miktarına bağlı olmak üzere %20-%40 arasında değişebilmektedir. TS EN 206 ve TS 13515 Standartlarında çevresel etkilere göre kullanılacak en düşük eşdeğer çimento miktarları belirtilmiştir. Onaylanmış eşdeğer beton performans deneyleri olmadan bu limitlerin altına inilemeyeceği unutulmamalıdır.



Şekil 21. Beton kimyasal katkısının eşit su/çimento oranında çimento dozajına etkisi



60 – 170 kg  
CO<sub>2e</sub> / m<sup>3</sup>

Süperakışkanlaştırıcı katkıları 1 metreküp hazır betonun karbon ayak izini, katkısız betona kıyasla, **60–170 kg** azaltma potansiyeline sahiptir. Bu da **%17-35** oranında azaltım anlamına gelmektedir. Mevcut durumda neredeyse tüm hazır beton üretiminde kimyasal katkıların kullanıldığı düşünülse de daha etkili kimyasallar ile yüksek oranlarda karbon azaltımına ulaşmak mümkün olabilmektedir.

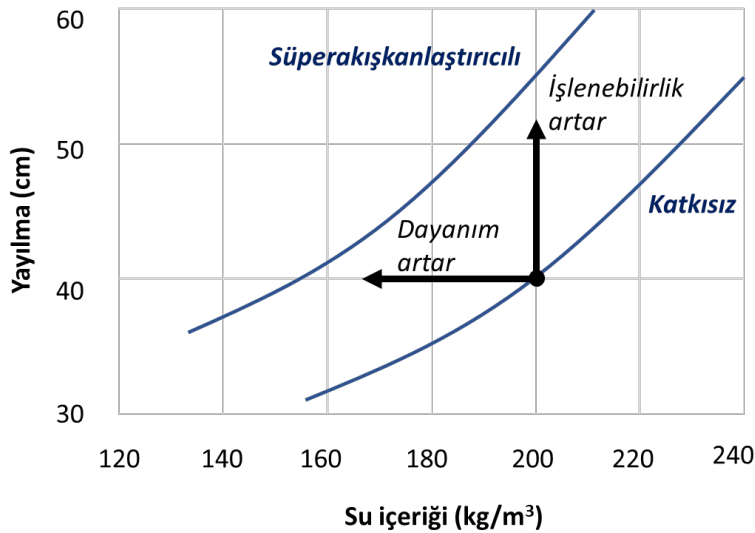


### 4.2. Su İhtiyacını Azaltma



Akışkanlaştırıcı / Süperakışkanlaştırıcı beton kimyasal katkıların çevre açısından bir diğer önemli katkısı da betonun işlenebilirliği için gerekli olan su miktarını azaltmalarıdır. Bu etki hem su kaynaklarının sorumlu kullanımına doğrudan fayda sağlamakta hem de betonun dayanıklılığını dolaylı olarak arttırmaktadır. Bilindiği üzere beton karışım suyu hidrasyon reaksiyonu ve karışımın işlenebilirliği için gereklidir. Hidrasyon için gerekli olan suyun dışında kalan su herhangi bir şekilde bağlanmadığı için zamanla buharlaşmakta ve boşluklar oluşturmaktadır. Oysa kimyasal katkılar bu görevi üstlenerek daha geçirimsiz bir beton yapısı oluşumunu sağlamaktadır.

Şekil 22’de betonun su içeriği, kıvamı (yayılma) ve basınç dayanımı arasındaki ilişki katkısız ve katkılı karışımlar özelinde belirtilmektedir. Süperakışkanlaştırıcı katkıli beton aynı işlenebilirlik için katkısız betona göre daha az suya ihtiyaç duyar ve daha yüksek dayanım performansı gösterir.



Şekil 22. Betonda su içeriği, basınç dayanımı ve kıvam ilişkisi [33]

KÜB Teknik Komitesi üyeleri tarafından yapılan çalışma sonucunda Tablo 6’da belirtildiği üzere referans %1 katkıli betonun aynı işlenebilirliğine ulaşmak için 0,55 eşit su/çimento oranındaki katkısız tasarımda %50 daha fazla çimento ve su kullanımı gerçekleşmiştir. Bu değere ulaşmak için eşit su/çimento oranında 25'er kg çimento artırılarak denemeler yapılmıştır.

Eşit su/çimento oranı olmasına rağmen katkısız betonun dayanımı %6 daha düşük gelmiştir. Bu da katkıların sadece su azaltma nedeniyle değil; ayrıca doğrudan dayanıma da etkisi olduğunu gösteren bir örnektir. Bu çalışma özelinde süperakışkanlaştırıcı katkıli



beton, katkısız betona göre eşdeğer performans için %33 oranında daha az suya ihtiyaç duymaktadır. Farklı beton tasarımlarına ve kullanılan katkı cinsi ve miktarına bağlı olarak su azaltma potansiyeli %15-%40 arasında olabilmektedir.

Tablo 6. Süperakışkanlaştırıcı katkının betonun su ihtiyacına etkisi

Betonda Kimyasal Katkı Kullanımı	Çimento Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	Su Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	Çökme (cm)	2 günlük dayanım (MPa)	7 günlük dayanım (MPa)	28 günlük dayanım (MPa)
Katkılı	300	165	22	27,0	45,8	54,6
Katkısız	300	165	2	24,9	40,0	49,1
	325	179	4	24,0	41,8	51,2
	350	193	9	23,8	40,9	50,4
	375	206	13	23,6	40,1	50,2
	400	220	17	23,0	39,6	49,7
	425	234	19	22,8	38,7	49,5
	450	248	22	22,8	39,6	51,1



30 – 110 kg  
H<sub>2</sub>O / m<sup>3</sup>

Süperakışkanlaştırıcı katkılar 1 metreküp hazır betonun ortalama su ayak izini **30 – 110 kg** azaltma potansiyeline sahiptir. Bu da **%15-40** azaltım anlamına gelmektedir. Mevcut durumda neredeyse tüm hazır beton üretiminde kimyasal katkıların kullanıldığı düşünülse de daha etkili kimyasallar ile daha yüksek oranda su ayak izi azaltımına ulaşmak mümkün olabilmektedir.

2022 yılında ülkemizde 105 milyon metreküp hazır beton üretildiği düşünüldüğünde beton katkılarının yıllık ortalama **7 milyon ton su tasarrufu** sağladığı hesaplanmaktadır.

### 4.3. Mineral Katkı Kullanımını Artırma

Çimento üretiminin çevresel etkisini azaltma hedefi sonucunda çok farklı bileşimlere, reaktivitelere, yüzey alanlarına, su emme kapasitelerine ve diğer faktörlere sahip çeşitli alternatif malzemelerin kullanımının giderek artması beklenmektedir. Özellikle klinker/çimento oranının azaltılmasında etkili olan uçucu kül, yüksek fırın cürufu, doğal ya da kalsine puzolanlar, kalker vb. mineral katkıları dayanıklı ve çevre dostu beton tasarımı için kilit faktörler haline gelmektedir. Bu malzemelerin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kullanımlarında sınırlama getirdiği de bir gerçektir. Düşük erken dayanım, priz süresinde gecikme ya da artan su ihtiyacı gibi olası problemler kimyasal katkıları ile etkin bir şekilde çözülmektedir.

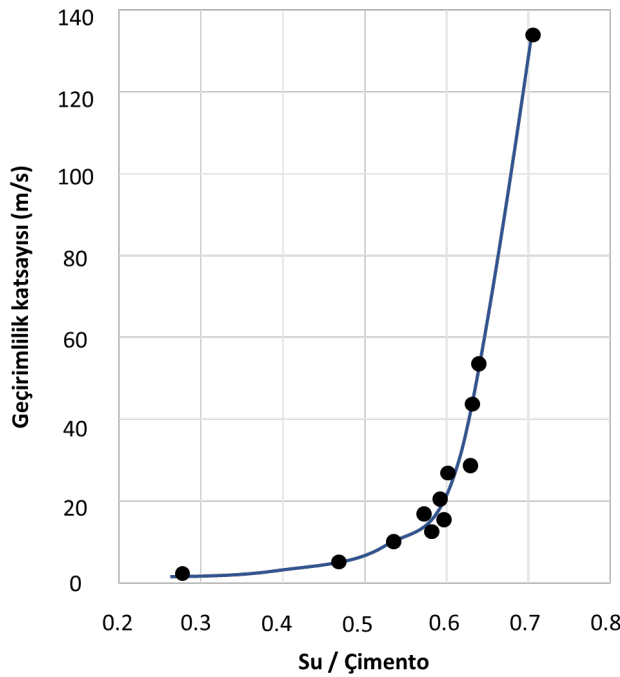


10 – 25 kg  
CO<sub>2e</sub> / m<sup>3</sup>

Süperakışkanlaştırıcı, sertleşme ve priz hızlandırıcı katkıların kullanımı sayesinde daha fazla mineral katkı kullanımı mümkün olmaktadır. Özellikle erken dayanım ve su ihtiyacı gibi beton özelliklerinin iyileşmesi sonucu **ilave olarak %5-10** oranında çimento ikamesi yapılabilmektedir. Bunun sonucunda 1 metreküp hazır betonun karbon ayak izi katkıları sayesinde **ilave olarak 10 – 25 kg** daha da azaltılabilmektedir.

Ülkemizde mineral katkı kullanımıyla ortalama 20 kg/m<sup>3</sup> çimento ikamesi yapılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda hem katkılı çimento kullanımının hem de beton üretiminde mineral katkı kullanımının daha da artması beklenmektedir. Kalsine kil, öğütülmüş karbonatlar gibi yeni malzemeler ile bu durum desteklenecek ve beton kimyasal katkıların rolü ve etkisi giderek artacaktır. Daha yüksek oranda mineral katkı kullanımı, kullanılan malzemeler ve reçete özelinde tasarlanmış kimyasal katkıları sayesinde mümkün olabilmektedir. Bu konuda kimyasal katkı üreticileri etkin Ar-Ge çalışmaları yapmaktadır.

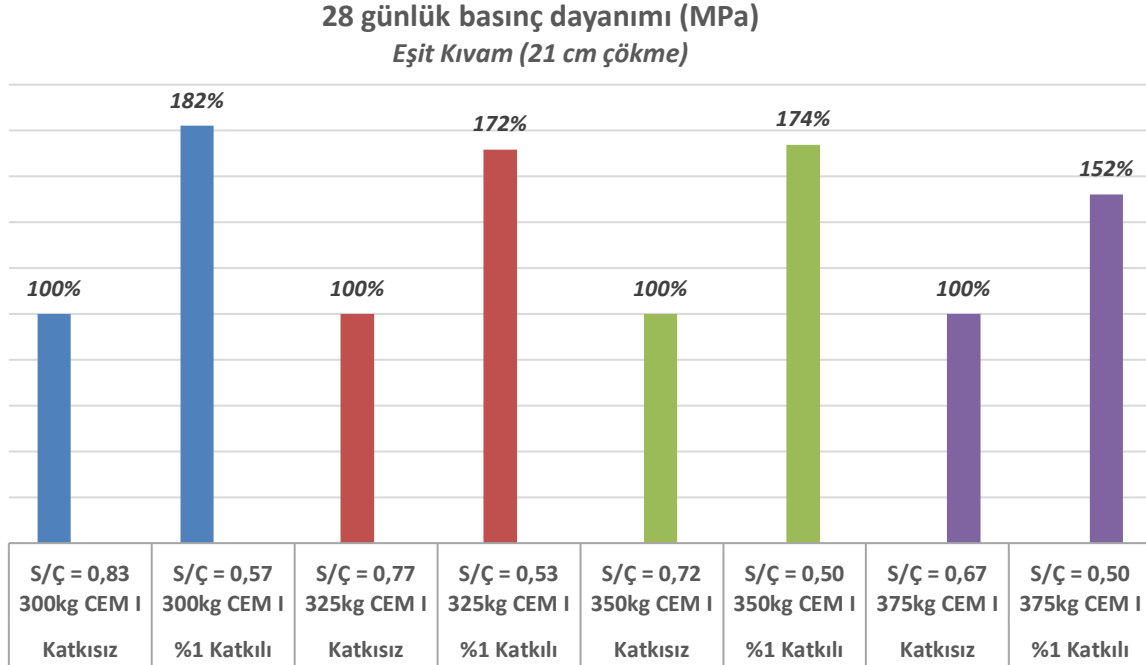
#### 4.4. Su/Çimento Oranını Düşürme



Su/çimento oranı daha doğru bir ifade ile su/bağlayıcı oranı betonun dayanım ve dayanıklılık performansı için en önemli parametredir. Şekil 23'te görüldüğü üzere su/çimento oranının artması ile betonun geçirimsizlik katsayısı da artış göstermektedir. Özellikle 0,55 su/çimento oranına kadar lineer bir ilişki varken, bu değerden sonra eksponansiyel bir artış meydana gelmektedir. Su/çimento oranının düşürülmesi, betonun geçirimsizliğini azaltmakta ve çevresel etkilere karşı direncini arttırmaktadır. Bu da yapının servis ömrü boyunca beklenen performansı göstermesini, daha az bakım ve onarıma ihtiyaç duymasını ve daha sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır.

Şekil 23. Su/çimento oranı ve geçirimsizlik ilişkisi [38]

KÜB Teknik Komitesi üyeleri tarafından yapılan çalışmada Şekil 24'te görüleceği üzere eşit kıvamda (21 cm çökme) farklı çimento dozajlarında katkısız ve %1 katkılı beton tasarımlarının dayanımları incelenmiştir. Tüm farklı dozajlarda eşit kıvamda katkılı beton karışımları %50 ila %80 arasında daha yüksek basınç dayanımı vermiştir. Bu durum doğrudan su/çimento oranından kaynaklanmaktadır.



Şekil 24. Beton kimyasal katkısının eşit kıvamda su/çimento oranına etkisi

#### 4.5. Geri Kazanılmış Agregaların Kullanımı

Geri kazanılmış agregaların ve kullanım açısından ideal olmayan bölgesel kaynakların (kil veya şist içeren agregalar vb.) beton üretiminde değerlendirilmesinde beton kimyasal katkılarının önemli bir rolü vardır. Özellikle geri kazanılmış agregaların ve metilen değeri yüksek ince agregaların betonun su ihtiyacını arttırması bu malzemelerin kullanımlarının önündeki önemli bir bariyerdir. Son yıllarda beton kimyasal katkı sektörü bu tür malzemelerin kullanımına yönelik özel ürünler geliştirmektedir. Bu tür kaynakların değerlendirilmesi lojistik süreçlerin optimizasyonu ile birlikte kaynak tasarrufu, karbon emisyonlarında önemli bir azalma ve daha az atık anlamına gelmektedir.

#### 4.6. Prekast Beton Üretiminde Enerji Tasarrufu

Birçok prekast üreticisi, prekast elemanları kalıptan erken çıkarmak için gerekli olan yüksek erken dayanım ihtiyacını ısıtma sistemleri (buhar kürü) ve/veya dayanım hızlandırıcı katkılar kullanarak karşılar.

Buhar kürü, prekast beton üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, üretilen prekast beton ürünleri buhar odalarında belirli bir sıcaklık ve nem seviyesinde bekletilir. Bu işlem, beton ürünlerinin dayanıklılığını arttırır ve sertleşme sürecini hızlandırır. Buhar kürü için gerekli enerji genellikle doğalgaz, mazot veya elektrik gibi emisyonla neden olan kaynaklardan sağlanır.



Yapılan bir çalışmada 1 m<sup>3</sup> prefabrik beton üretiminde buhar kürü işlemi sonucunda 38,5 kg CO<sub>2e</sub> açığa çıktığı hesaplanmıştır [39]. Bir başka çalışmada ise 1 adet prefabrik kiriş üretiminde kerosen ile buhar kürü kaynaklı 42 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>3</sup> karbon salımı gerçekleştiği hesaplanmıştır [40]. Erken dayanımı arttıran kimyasal katkıları ile bu miktar önemli düzeyde düşürülebilmektedir.

KÜB üyesi bir firma tarafından prekast üreticisiyle yapılan çalışmada, yeni nesil sertleşmeyi hızlandırıcı kimyasal katkı kullanımının daha düşük üretim maliyetinde ve eş değer performansta buhar kürü için gerekli mazot ihtiyacını 10 – 20 litre/m<sup>3</sup> seviyesinde azalttığı tespit edilmiştir. Bu da 1 metreküp prekast kiriş üretiminde 26 - 52 kg CO<sub>2</sub> azaltımına denk gelmektedir.

Ayrıca beton kimyasal katkıları prekast beton üretiminde su ihtiyacını azaltarak daha az çimento tüketimine ve daha fazla mineral katkı kullanımına neden olur ve bu sayede karbon ayak izinin azalmasını sağlar.

### 4.7. Tünel Kalıpta Enerji Tasarrufu

Tünel kalıbın geleneksel kalıp yöntemine göre en önemli avantajı imalatın yani inşaat sürecinin daha hızlı olmasıdır. Tünel kalıp kullanılan projelerde geleneksel kalıba oranla daha hızlı kalıp sökümü yapılabilmektedir. Bunun içinde betonun priz alma süresi kritik bir öneme sahiptir. Özellikle soğuk havalarda betonun erken dayanımını sağlamak için kalıplar ısıtılmaktadır. Bu sayede hidratasyon süreci hızlandırılmaktadır.

Erken dayanımı arttırıcı beton kimyasal katkılarının kullanımı sonucunda tünel kalıp projelerinde 4-8 saat arasında daha hızlı kalıp sökümü mümkün olabilmektedir. Bu sayede özellikle soğuk havalarda tatbik edilen ısıtma kaynaklı enerji tüketimi azaltılabilmektedir. Bu da doğrudan daha az karbon salımına neden olmaktadır.

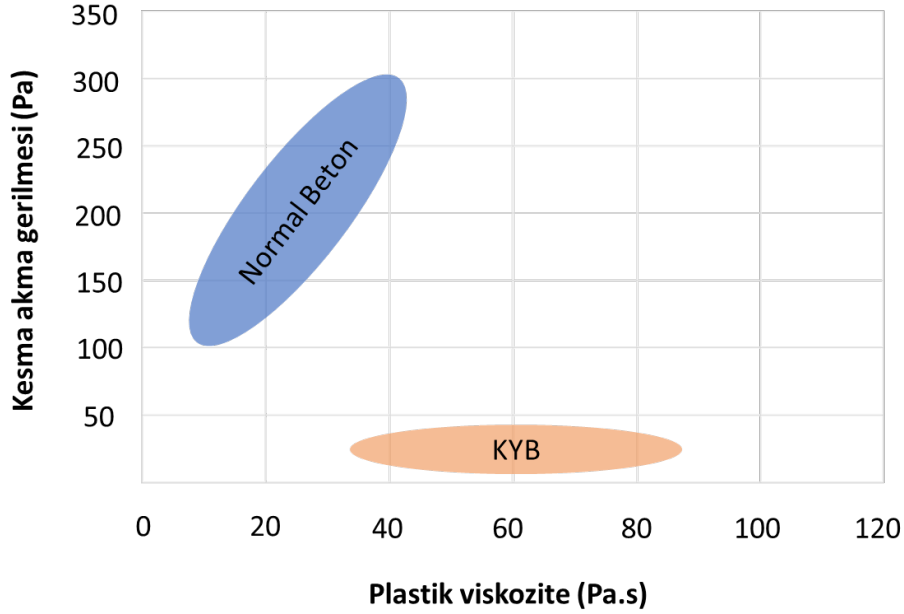
### 4.8. Kendiliğinden Yerleşen Beton

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon işlemi gerektirmeyen yenilikçi bir betondur. Kendi ağırlığıyla akabilen, kalıbı tamamen doldurabilen KYB; beton yerleşiminin hızlanmasını ve yoğun donatının olduğu bölgelerde betonun daha kolay akmasını sağlamaktadır. KYB genellikle potansiyel olarak erken yüksek dayanım sağlayan, daha erken kalıptan alma ve yapıların veya elemanların daha hızlı kullanımını sağlayan düşük su/bağlayıcı oranı ile üretilmektedir. Vibrasyon ekipmanlarının kullanılmaması şantiyede betonun yerleştirildiği yerde işçilerin gürültü ve vibrasyona maruz kalmalarını azaltarak, daha az enerji tüketimi sonucunda daha az emisyon salımına katkı sağlamaktadır.

Şekil 25'te görüleceği gibi KYB reolojisi normal betondan tamamen farklıdır. Gerekli viskozite ve akma özellikleri sadece PCE esaslı özel beton kimyasalları ile



sağlanabilmektedir. Bu açıdan kimyasal katkıları KYB için en önemli girdi olarak öne çıkmaktadır. KYB daha düşük su geçirimsizliği sayesinde yapıların dayanıklılığına olumlu etkide bulunmaktadır. Ayrıca özellikle güçlendirme projelerinde dar kalıp boşluklarından ve yoğun donatı aralarından geçebilme yeteneği ile yapıların en iyi şekilde güçlendirilmesini sağlamaktadır.



Şekil 25. KYB ve normal beton reolojisi [41]

### 4.9. Püskürtme Beton Katkıları

Püskürtme beton olarak da bilinen "shotcrete" işlemi, hava kompresörleri veya diğer özel ekipmanlar aracılığıyla yüksek hızda püskürtülen betonun yüzeylere uygulanması işlemidir. Püskürtme betonun kalitesi, uygulama kadar kullanılan malzemelerin ve özellikle katkı maddelerinin niteliğine bağlıdır.

Geri sıçrama (rebound), beton püskürtme işlemi sırasında betonun hedef yüzeye yapışmayarak geri sekmesi yani dökülmesidir. Geri sıçrama, malzeme israfının artması ve baştan sona gereken çalışma süresinin uzaması anlamına geldiği için hem ekonomik hem de lojistik açısından önemlidir.

Püskürtme beton katkıları, geri sıçrama miktarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu katkı maddeleri, püskürtme betonun hızlı priz almasını ve sertleşmesini sağlayarak betonun akışkanlığını artırmakta ve malzemenin hedef yüzeye daha iyi yapışmasını sağlamaktadır. Ayrıca, katkı maddeleri püskürtme betonun dayanıklılığını artırmakta ve su geçirimsizliğini geliştirmektedir. Kimyasal katkıların geri sıçrama oranını azaltması malzeme israfını azaltırken, doğrudan karbon ayak izinin düşürülmesine de katkı sağlar.



### 4.10. Yenilikçi Bağlayıcıların Kullanımı

Günümüzde farklı klinkerler ve çimentolar üzerinde yoğun Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Kalsine kil içeren çimentolar, kalsiyum sülfat 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 ve beton kimyasalları önemli bir rol üstlenmektedir. Örneğin belit çimentolarının genel olarak erken yaş dayanımının Portland çimentosuna oranla düşük olması erken dayanımı arttıran beton kimyasalları ile telafi edilebilmektedir.

Geopolimer beton, alkali ile aktifleştirilen bağlayıcı sistemler kullanılarak üretilmektedir. Süperakışkanlaştırıcı, aktivatör ve bağlayıcı malzemeden oluşan geopolimer betonu geleneksel çimento bazlı betonlara göre daha düşük karbon ayak izine sahiptir ve daha yüksek sıcaklık ve kimyasal dayanıklılığa sahiptir. Geopolimer betonun üretiminde kullanılan kimyasal katkıları; betonun dayanıklılığını, dayanımını ve diğer özelliklerini artırmaya yardımcı olmaktadır. Bu beton türü, özel bir kimyasal reaksiyonla sentezlenen bir bağlayıcı madde kullanarak üretilmektedir. Bu kimyasal reaksiyon, yüksek alkali özellikli bir sıvı ve yüksek silika ve alümina içeren aktivatörlerin birleşmesiyle gerçekleşmektedir. Geopolimer betonun ana bileşenleri olan uçucu kül, metakaolin, yüksek fırın cürufu ve diğer mineraller, katkı maddeleriyle birleştirilerek betonun dayanımı artırılabilir. Bu katkı maddeleri, betonun işlenebilirliğini ve erken dayanımını da iyileştirmektedir.

### 4.11. Yalıtım ile Enerji Tasarrufu

Hava sürüklenmiş beton, hava sürükleyici katkıları ve çoğu zaman hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif bir yapı malzemesidir. Hava sürükleyici katkıları, betona bir miktar hava ilave etmek için tasarlanmıştır. Betonda oluşan hava boşlukları betonun ısı ve ses yalıtımını özelliklerini geliştirebilmektedir.

Hava sürüklenmiş beton, yüksek ısı yalıtımı gerektiren yapılar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu beton türü, diğer betonlara göre daha hafiftir ve daha düşük bir ısı iletkenliğine sahiptir. Ayrıca; hava sürüklenmiş beton, akustik yalıtım ve yangın dayanıklılığı gibi diğer özelliklerin de geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Hava sürüklenmiş beton, evlerin ve diğer yapıların yapısal olmayan elemanlarında kullanılarak ısı kaybını azaltarak enerji ihtiyacını düşürmektedir. Bu sayede yapının karbon ayak izi de azaltılmış olmaktadır.

### 4.12. Yapıların Servis Ömrü

Akışkanlaştırıcı/süperakışkanlaştırıcı beton katkıları, işlenebilirlik için gerekli olan su ihtiyacını azaltırken bir yandan da sertleşmiş betonda kılcal boşlukların da azalmasına neden olmaktadır. Bu da betonun dolayısıyla yapının dayanıklılığının artması, daha iyi bir yaşam döngüsü, daha az bakım ve onarım ihtiyacı, daha düşük çevresel etki anlamına





gelmektedir. Beton katkı maddelerinin kullanılmasının diğer etkileri; betonarme yapının geçirimsizliğinin iyileştirilmesi, daha az çatlama ve çelik donatıların korunmasını içermektedir.

Özel beton katkıları kullanılarak, düşük bağlayıcı veya klinker içeriği ile istenilen dayanım ve dayanıklılığı elde etmek mümkündür. Bu gerçek, karbon emisyonlarını azaltmak için ek potansiyel sunmaktadır. Hava sürükleyici katkıların kullanılması, donma-çözülme koşullarına maruz beton için geliştirilmiş performans ve dayanıklılık sağlamaktadır.

### 5. KÜB'ÜN DEĞERLENDİRMESİ

Betonarme yapıların sürdürülebilir dönüşümü, 2050 yılına kadar oldukça iddialı olan net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmada kritik bir faktördür. Ham maddelerin daha verimli kullanımı, betonarme elemanların yeniden kullanımı ve/veya geri dönüştürülmesi, dijital dönüşüm ve en önemlisi de betonun karbondan arındırılması tüm değer zinciri boyunca süreçleri önemli ölçüde değiştirecek ve inşaat sektörünün karbon ayak izini önemli ölçüde azaltacaktır. Bununla birlikte, betonu dekarbonize etmeye yönelik önlemler betonun dayanıklılığını ve mekanik özelliklerini azaltmamalıdır. Her geçen yıl artan nüfus ve şehirleşme nedeniyle kullanım miktarının daha da artacağı öngörülen çimento ve betonun karbon ayak izini etkili bir şekilde azaltmak önümüzdeki yılların en önemli konusu haline gelmiştir. İşte tam bu aşamada beton kimyasal katkılarının önemi ve faydası bir daha öne çıkmaktadır.

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 katkı sağlamaya devam etmektedir. KÜB 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 en önemli çözüm ortaklarından biri olduğumuzun bilincindeyiz.

2022 yılında yayımladığımız “Çimento Katkılarının Net Sıfır Karbon Hedefindeki Rolü” başlıklı raporumuzdan sonra “Beton Kimyasal Katkılarının Net Sıfır Karbon Hedefindeki Rolü” başlıklı bu raporu da yayımlayarak sektörümüzün ve tüm paydaşlarımızın farkındalığını arttırmayı hedefledik. Raporda belirtildiği üzere beton kimyasal katkıları, betonun karbon ayak izinin düşürülmesinde son derece etkilidir. Bu etkilerin en başında çimento ve su ihtiyacının azalması, beton dayanıklılığının artırılması, mineral katkı kullanım oranının artırılması ve bazı uygulamalarda operasyonel enerji tüketiminin düşürülmesi sonucunda sağlanan karbon azaltımları yer almaktadır. KÜB olarak, tüm paydaşlarımızla birlikte, sera gazı emisyonlarını düşürmeye yönelik atılacak adımlarda sektörümüze liderlik etmeye ve bu süreçte şeffaf, güvenilir ve ulaşılabilir bilgi üretmeye devam edeceğiz.



### KAYNAKLAR

1. The Global Risks Report 2023, 18th Edition, World Economic Forum, 2023.
2. <https://education.nationalgeographic.org/resource/anthropocene>
3. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
4. Sürdürülebilir Kalkınma Derneği, 100 Maddede Sürdürülebilirlik Rehberi, Sürdürülebilir Kalkınma Derneği, 2017.
5. <https://www.etimolojiturkce.com/kelime/beton>
6. <https://www.etymonline.com/word/concrete>
7. <https://www.betonvecimento.com/beton-2/antik-caglardan-gunumuze-beton-ve-cimento>
8. Geçmişten Geleceğe Vazgeçilmez Yapı Malzemesi: Beton, THBB Hazır Beton Dergisi, Mart-Nisan 2019.
9. <https://www.betonvecimento.com/beton-2/beton-transmikseri>
10. <https://schwing-stetter.com/en/company/milestones.html>
11. Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri 2021, THBB.  
<https://www.thbb.org/media/603935/thbb-sekt%C3%B6r-%C4%B0statistikleri-2021.pdf>
12. Rakamlarla Prefabrike Beton 2021, Türkiye Prefabrik Birliği, 2022.  
<https://www.prefab.org.tr/userfiles/file/pdf/sr2021.pdf>
13. Gagg, C. R., "Cement and Concrete as an Engineering Material: An Historic Appraisal and Case Study Analysis," Engineering Failure Analysis 40 (May 2014)
14. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-cement.pdf>, Erisim tarihi (10.07.2022)
15. [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188\\_GABC\\_en%20%28web%29.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf), Erisim tarihi (10.07.2022)
16. Larson, W., Came, F., "Concrete as a Carbon Sink. Rethinking Carbon Sequestration in the Built Environment," Building Resilience Coalition, 2018.
17. Guo, R., Wang, J., Bing, L., Tong, D., Ciais, P., Davis, S. J., Andrew, R. M., Xi, F., and Liu, Z., "Global CO<sub>2</sub> Uptake by Cement From 1930 to 2019," Earth Syst. Sci. Data, 13, 1791–1805, <https://doi.org/10.5194/essd-13-1791-2021>, 2021.
18. Lehne, J., and Preston, F., Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete, The Royal Institute of International Affairs, 2018.
19. <https://www.bbc.com/news/science-environment-46455844>, Erisim tarihi (10.07.2022)
20. <https://spot.ul.com/blog/embodyed-vs-operational-carbon/>, Erisim tarihi (10.07.2022)
21. Lewis, M., Huang, M., Waldman, B., Carlisle, S., and Simonen, K., Environmental Product Declaration Requirements in Procurement Policies, Carbon Leadership Forum, University of Washington. Seattle, WA. 2021.
22. International Energy Agency, Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry, IEA, 2018.
23. Türkiye Hazır Beton Birliği, Hazır Beton Yaşam Döngüsü Rehberi, 2021.
24. Mission Possible Partnership, Low-Carbon Concrete and Construction:A Review Of Green Public Procurement Programmes, 2022.



25. A. Sathya, P. Bhuvaneshwari, G. Niranjana, and M. Vishveswaran. Influence of bio admixture on mechanical properties of cement and concrete. *Asian Journal of Applied Sciences*, 2014.
26. P. Thirumalini and S. K. Sekar. Review on herbs used as admixture in lime mortar used in ancient structures. *Indian Journal of Applied Research*, 2011.
27. Ravi Ramdoss, Perumal Thirumalini, and S.K. Sekar. Characterization of hydraulic lime mortar containing opuntia ficus-indica as a bio-admixture for restoration applications. *International Journal of Architectural Heritage*, 2016.
28. Güleç A., Bazı tarihi anıt harç ve sıvaların incelenmesi. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.
29. Erdoğan, S.T., Erdoğan, T., Kimyasal Katkı Maddeleri ve Tarihi Geçmişleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 21-34, 2007.
30. Skalny, J., Maycock, J. N., Mechanism of Acceleration of Calcium Chloride: A Review, *Journal of Testing and Evaluation*, V.3, N.4, pp.303-311, 1975.
31. Mielenz, R. C., History of Chemical Admixtures for Concrete, *Concrete International*, pp.40-53, 1984
32. Kujawa, W., Olewnik-Kruszkowska, E., Nowaczyk, J., Concrete Strengthening by Introducing Polymer-Based Additives into the Cement Matrix—A Mini Review. *Materials* 2021, 14, 6071. <https://doi.org/10.3390/ma14206071>
33. Kosmatka, S.H., Wilson, M.L., Portland Cement Association. Design and Control of Concrete Mixtures. Sixteenth ed. Skokie Illinois: Portland Cement Association, 2016.
34. Marchon, D., Kawashima, S., Bessaies-Bey, H., Mantellato, S., & Ng, S. (2018). Hydration and rheology control of concrete for digital fabrication: Potential admixtures and cement chemistry. *Cement and Concrete Research*.
35. Karen L. Scrivener, Vanderley M. John, Ellis M. Gartner, Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry, *Cement and Concrete Research*, Volume 114, 2018, Pages 2-26, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>.
36. Mugahed Amran, Shan-Shan Huang, Ali M. Onaizi, Natt Makul, Hakim S. Abdelgader, Togay Ozbakkaloglu, Recent trends in ultra-high-performance concrete (UHPC): Current status, challenges, and future prospects, *Construction and Building Materials*, Volume 352, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129029>.
37. <https://www.efca.info/efca-publications/environmental/>
38. T.C Powers, L.E Copeland, J.C. Hayes and H.M. Mann, Permeability of Portland cement paste, *J.Amer. Concr. Inst.*, 51, pp.285-98(Nov.1954).
39. Akmandor, T., Betonarme Yapılarda Sürdürülebilirlik: Bir Sanayi Yapısı Üzerinde Örneklemeye, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi FBE, 2011.
40. Kim, T.; Chae, C.U. Evaluation Analysis of the CO<sub>2</sub> Emission and Absorption Life Cycle for Precast Concrete in Korea. *Sustainability* 2016, 8, 663. [doi.org/10.3390/su8070663](https://doi.org/10.3390/su8070663)
41. John Dransfield, 4 - Admixtures for concrete, mortar and grout, Editor(s): John Newman, Ban Seng Choo, *Advanced Concrete Technology*, Butterworth-Heinemann, 2003, Pages 3-36, <https://doi.org/10.1016/B978-075065686-3/50280-9>.



TÜRKİYE PAZARINI %90 ORANINDA TEMSİL EDİYORUZ.

Akkim

CHRYSO  
SAINT-GOBAIN

EGECRETE  
A licensee of EUCLID CHEMICAL

FOSROC

KORDSA

LYKSOR  
Innovation & Trust

MAPEI  
YAPIŞTIRICILAR - MASTIKLER - İNŞAAT KİMYASALLARI

MASTER®  
BUILDERS  
SOLUTIONS

polyfibers®  
REINFORCEMENT SOLUTIONS

Polisan  
YAPIKİM

Sika®  
BUILDING TRUST

kub.org.tr