

---

## ÖN ÜRETİMLİ BETONLARDA KULLANILAN KİMYASAL KATKI VE KORUYUCU MALZEMELER

Okan DUYAR  
İnşaat Yüksek Müh.,  
Ürün Md.  
Degussa Yapı Kimyasalları San.  
A.Ş.,  
İstanbul, Türkiye

Gülnehal AYKAN  
Kimya Müh., AR-GE ve Kalite  
Kontrol Md.  
Degussa Yapı Kimyasalları San.  
A.Ş.,  
İstanbul, Türkiye

### ÖZET

Ön üretilmiş beton teknolojisi kimyasal katkıların kullanımını açısından incelendiğinde, üretimde kullanılan ve üretim sonrasında kullanılan kimyasallar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Ancak gerek üretimde kullanılsın gerek koruyucu amaçlı kullanılsın tüm kimyasal katkıların amacı ön üretilmiş betonların kalıcılıklarını arttırmak ve servis ömürlerini uzatarak ekonomikliğini sağlamak olarak özetlenebilir. Bu çalışmada, kimyasal katkı kullanımını, sırasıyla; üretimde kullanılan kimyasal katkı ve üretimden sonra kullanılan kimyasal katkı ve kimyasal malzemelerden uygulama ve deney sonuçları verilecektir.

Ön üretilmiş betonarme elemanlarda kimyasal katkı betonun kalıcılığını arttırmak ve üretimde verimliliğini arttırmak için kullanılmaktadır. Betonun kalıcılığı çok farklı parametrelerle ölçülmesine rağmen geçirimsizlik, mukavemet, yorulma gibi hemen hemen tüm parametreler anlamlı olarak su/bağlayıcı oranına bağlı olarak değerlendirilmektedirler (1), (3). Buna göre su/bağlayıcı oranını düşüren kimyasal katkı betonların kalıcılığını sağlanması için önemlidir. Erken mukavemetin sağlanabilmesi için de düşük su bağlayıcı oranları için uygundur. Hazır beton veya normal beton imalatı için istenen şartlarla, ön üretilmiş beton imalatı istenen şartlar arasındaki en büyük farklılık, ön üretilmiş beton imalatlarında erken yaşlarda mukavemet gelişimi ve nispeten düşük çalışma süresidir. Bu farklılıklar özellikle

---

nitelikli ön gerilmeli beton üretimlerinde dikkate alınması gereken önemli özelliklerdendir. Beton sınıflarının artması, yüksek performansları gerekli kılmakta, yüksek oranlarda bağlayıcı kullanımını gerektirmektedir. Yüksek bağlayıcı kullanımı her zaman çözüm olmamakta, alternatif kimyasal katkıların kullanımı bu tür üretimlerde şart olmaktadır. Özel yapılı polikarboksilik eter esaslı kimyasallar kullanıldığında, betonun erken mukavemet gelişimi ve düşük su/çimento oranları sağlanarak, işlenebilirlik istenilen mertebelerde tutulmaktadır. Özel yapılı polikarboksilik eter esaslı katkılarla, kullanım dozuna ve farklı polimer kombinasyonlarına bağlı olarak kuru kıvamdan (0 - 5 cm işlenebilirlik), kendiliğinden yerleşen kıvama (60 - 70 cm yayılma) kadar değişen işlenebilirliklerde betonlar elde edilebilmektedir. Elde edilen farklı işlenebilirlikler, üretilen elemanın mekanik ve estetik özelliklerine göre farklı amaçlara yönelik üretimlerde kullanılmaktadır.

## GİRİŞ

### Ön Üretimli Elemanlarda Kimyasal Katkı Kullanımı

Ön üretimli elemanların imalatında kullanılan betonlar diğer tüm betonlar gibi TS-EN 206'nın çevre şartlarına uymak zorundadır,

, (5). Kullanılacak katkıların ön üretimli betonlarda öncelikle sağlaması gereken şart bu

'de belirtilen su çimento ve çimento dozajlarıdır.

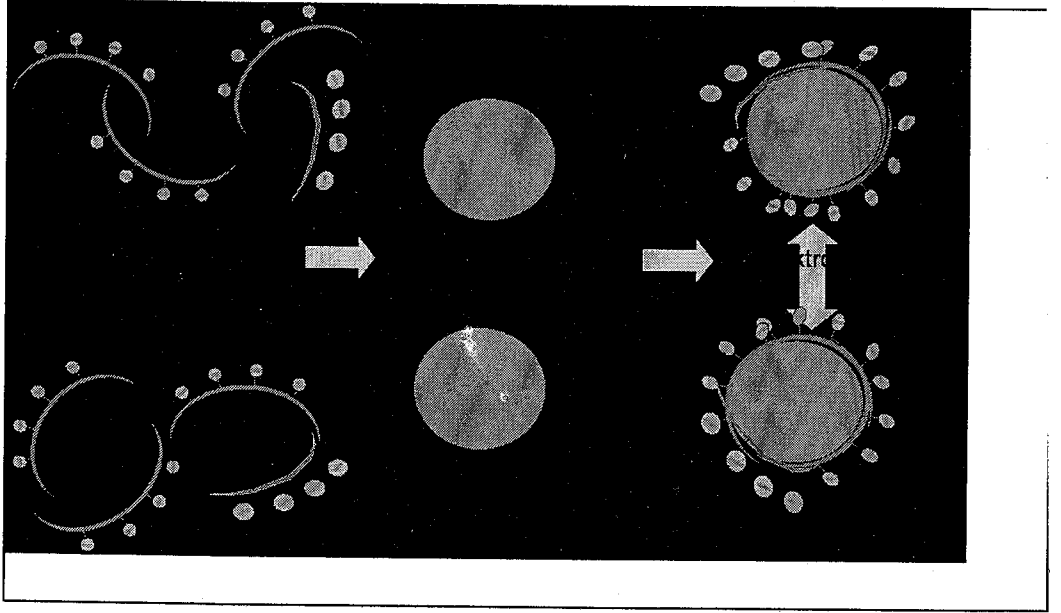
Amerikan Sözlüğünde enerji fiziksel bir sistemin mevcut durumundan istenilen duruma geçmesi için yapılması gereken iş olarak tanımlanmaktadır. Zero Energy System (Sıfır Enerji Sistemi) ön üretimli imalat yapan firmalar için üretimde kullanılan enerjiyi azaltarak daha yüksek kaliteli ürünler üretmeleri için geliştirilmiştir. Sıfır Enerji Sisteminin esasını özel yapılı polikarboksilik eter esaslı kimyasal katkıları oluşturmaktadır. Bu katkıların çalışma mekanizmaları diğer geleneksel katılardan çok daha farklıdır (1), (3).

### Normal Katkıların Çalışma Mekanizması

Ön üretimli betonlarda erken yüksek mukavemet arandığından genel katkı tipi olarak süperakışkanlaştırıcılar kullanılmaktadırlar. Süper akışkanlaştırıcı katkıları beton imalatı sırasında suya karıştırılarak kullanılırlar. Süperakışkanlaştırıcı katkı suya karıştırıldığında öncelikle su içerisinde yayılır, daha sonra su içinde yayılan

bu parçacıklar çimento tanesinin yüzeyine yapışarak tanecikler arasında elektrostatik itme etkisiyle işlenebilirlik sağlarlar.

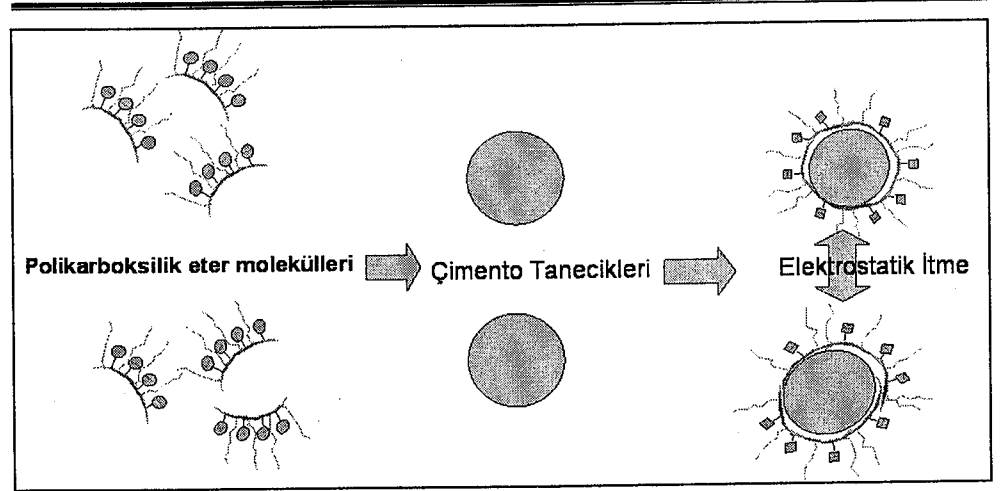
Şekil 1'de bir süper akışkanlaştırıcı hammaddesi olan Beta Naftalin Sülfonat (BNS) in taze betondaki davranış mekanizması görülmektedir (3).



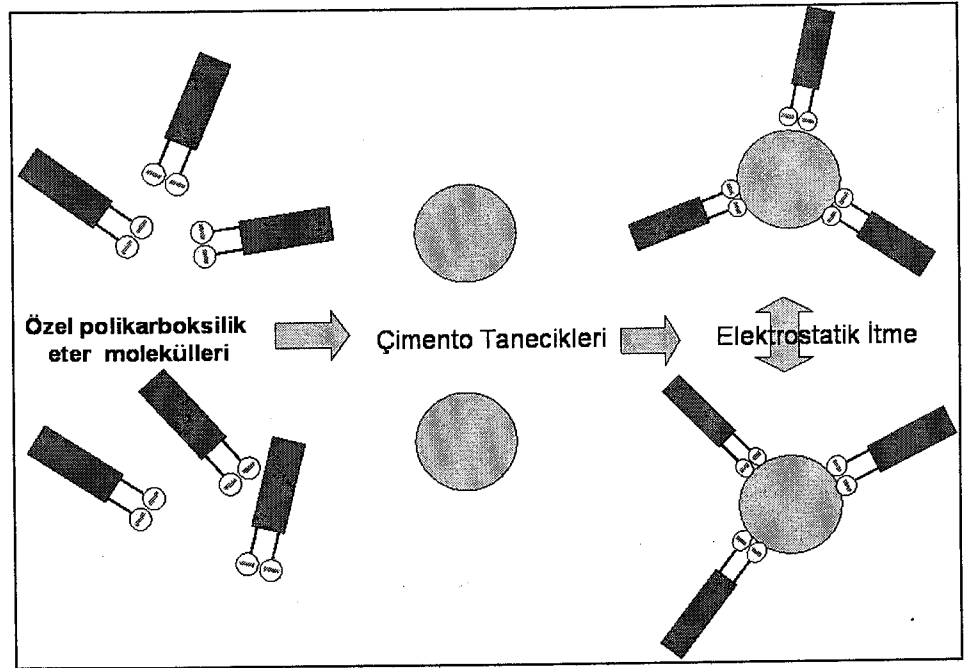
**Şekil 1 BNS moleküllerinin çalışma mekanizması**

#### **Polikarboksilik Eter Esaslı Katkıların Çalışma Mekanizması**

Polikarboksilik eter esaslı katkıların çalışma prensiplerinin belirlenmesinde en önemli faktör moleküllerin şeklidir. Polikarboksilik eterlerin genel çalışma mekanizmaları normal katkıların çalışma prensipleri birbirine yakın özellikler göstermektedirler, Şekil 2, Şekil 3.



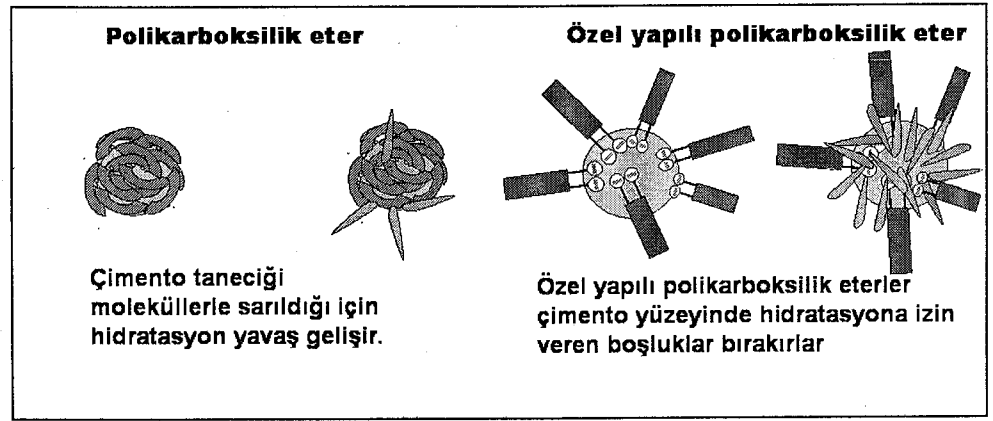
Şekil 2 Polikarboksilik eter moleküllerinin çalışma mekanizması



Şekil 3 Özel polikarboksilik eter moleküllerinin çalışma mekanizması



Her iki katkı arasındaki fark özellikle çimentonun hidrasyona başlamasında belirginleşmektedir. Hazır betona yönelik olarak hazırlanan polikarboksilik eter esaslı katkıda çimento molekülleri çimento taneciklerini sararken hidrasyon ürünlerine oluşacak boşluk bırakmamakta ve dolayısıyla çimentonun hidrasyonu yavaşlamaktadır, ön üretimli elemanlar için tasarlanmış olan özel yapı polikarboksilik eterde ise çimento üzerinde hidrasyon ürünlerinin gelişmesi için boşluklar oluşması için serbest yüzeyler kalmakta ve çimento hidrasyonu hızla ilerlemektedir, Şekil 4. Özel yapı polikarboksilik eterde su molekülleri polikarboksilik eterin bıraktığı yüzeylerde hidrasyonu başlatmakta ve ön üretim için istenen erken yüksek mukavemetleri sağlamaktadırlar (1), (3)



**Şekil 4 Polikarboksilik eterlerin hidrasyon farklılıkları**

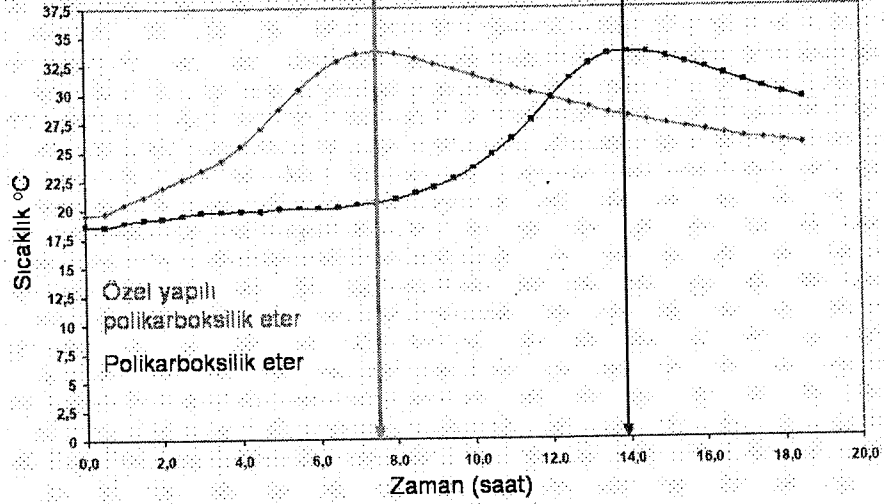
Çalışma mekanizmasındaki bu etkin farklılıklar laboratuvar deneylerinde de erken mukavemet ve işlenebilirlikteki farklılıklarla kendini göstermektedir, Tablo 1.

Deney sırasında kullanılan CEM I 42,5 çimentosunun  $C_3A$  sı %5,8, ve Blaini  $3800 \text{ gr/cm}^2$  olarak belirlenmiştir. Kullanılan kırmataşlar İstanbul Cebeci bölgesinin kırmataşları ve Şile bölgesi doğal kumları kullanılmıştır. Deney  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  'de yapılmıştır,  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$  de yapılan deneylerde kırmataş ve çimento en az 24 saat iklimlendirme odasında  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$  de bekletilmiş, deneyden sonra alınan numuneler gene iklimlendirme odasında mukavemet deneyine kadar tutulmuştur. 24 saat sonra numuneler standart küre tabii tutulmuştur. Basınç numuneleri 15 cm ayrıtlı küp numunelerdir, her yaş için iki adet numune kırılarak ortalama değerler elde edilmiştir.

	BNS Esaslı Süper Akışkanlaştırıcı		Polikarboksilik Eter		Özel Yapılı Polikarboksilik Eter	
Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	420		420		420	
Su (kg/m <sup>3</sup> )	155		148		142	
Su Çimento	0,37		0,34		0,35	
Katkı Dozu (% Çimento)	% 1,5		% 0,8		% 0,8	
Doğal kum (kg/m <sup>3</sup> )	400		410		414	
Kırma kum (0-5 mm)	420		434		430	
Agrega 1 (5-15 mm)	549		568		565	
Agrega 2 (15-25 mm)	458		474		471	
Çökme (mm)	150		180		140	
Hava (%)	1,8		2,0		1,6	
Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2406		2458		2450	
Mukavemetler (kg/cm <sup>2</sup> )	+ 10 °C	+ 20 °C	+ 10 °C	+ 20 °C	+ 10 °C	+ 20 °C
18 saat sonra	84	243	126	273	209	327
24 saat sonra	110	310	187	330	278	372
3 Günlük	482	514	533	560	545	598
7 Günlük	561	564	597	600	600	610
28 Günlük	581	589	685	678	692	680

**Tablo 1 Kimyasal katkıların performans değerlendirilmesi**

18 saat gibi betonun henüz taze fazda olması beklenen bir sürede kalıp sökümüne ve hatta ön gerilme halatlarının kesilmesine izin verecek kadar ciddi bir erken mukavemet gelişimi sağlanmaktadır. Erken yüksek mukavemet gelişiminin sağlanmasında en kolay takibi hidrasyon ısısının yükselmesi ile takip edilebilir. Aynı doz çimento ile yapılan çalışmalarda hidrasyon ısısının ölçümü ile yukarıda bahsedilen argümanların sağlanması yapılabilir. Degussa Yapı Kimyasalları Treviso laboratuvarlarında bu konuda yaptığı çalışmada Şekil 4' teki sonuçlar elde edilmiştir (1), (3)



**Tablo 2 Hidratasyon ısı yükselme değerleri**

Yüksek hidratasyonun sağlanmasının kalıcılığa olan en büyük etkisi daha az boşluklu yapıda çimento pastası oluşur, böylelikle daha yüksek mukavemet ve daha uzun süreli kalıcılık sağlanır. Katkisız, polikarboksilik eter ve özel yapılı polikarboksilik eter üzerinde yapılan çalışmalarda polikarboksilik eterlerin daha küçük yapılı boşluklar oluşturduğu görülmektedir. Degussa Yapı Kimyasalları Treviso laboratuvarlarında yapılan Civa porozimetri ölçümlerinde betondaki boşluk dağılımları elde edilmiştir, Şekil 5.

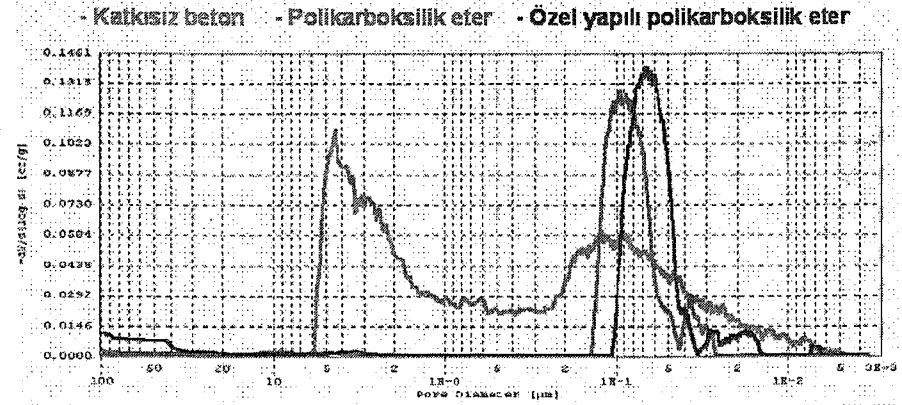
### **Polikarboksilik Eter Kullanarak Üretilen Betonlarda Dikkat Edilmesi**

#### **Gereken Hususlar**

Polikarboksilik eter esaslı katkılarla üretime başlamadan önce muhakkak bir ön çalışma ile istenilen çalışma şartlarına uygun doz ve katkı tipi tespit edilmelidir. İşlenebilirlik bazı tesislerde taşıma koşullarından dolayı düşük istenebilmekte ancak bazı tesislerde vibrasyon yetersiz olduğu için yüksek istenmektedir. Elbetteki her iki dizayn için gereken kimyasal katkı dozu farklıdır. Kendiliğinden yerleşen beton ile üretim yapmak istendiğinde ise ince malzeme miktarları önem kazanmaktadır. Çimento ve agregadan gelen her 100 mikron altı malzeme miktarının toplamının 550, 600 kg mertebelerinde olması durumunda kendiliğinde yerleşen beton ile imalat yapılabilir. İnce ve temiz kumun olmadığı tesislerde yapılan çalışmalarda ayrışma ve betonun işlenememesi gibi sıkıntılar



yaşanmaktadır. Ön çalışmalarda toplam ince miktarı ve ayırma limitleri tespit edilmelidir (1), (3).



**Şekil 5** Betonda oluşan boşlukların Mercury porozimetry ile ölçüm değerleri

Tiksotropik etki polikarboksilik eter esaslı katkılarda görülen bir yan etkidir. Tiksotropik etki betonun hareketsiz beklediği süre içinde sertleşerek işlenebilirliğinin ve yüzey bitirme yetisinin azalması olarak tanımlanabilir. Bu etkinin üretimde azaltılması için karıştırıcı taşıma sistemleri tercih edilmelidir. Tiksotropik etkinin azaltılmasına yönelik çalışmada çimento ve katkı miktarları sabit tutulmuştur. Betonlar karıldıktan 10 dakika sonra ilk işlenebilirlik değerleri yayılma olarak ölçülmüş daha sonra betonlar kaplara alınarak karıştırılmadan bekletilmişlerdir. 45 dakika sonunda betonlar tekrar 30 sn karıştırılarak işlenebilirlik ve mala ile yüzeybitişi ve yüzeyin sertliği üzerinden tiksotropik etki tetkiki yapılmıştır. Betona giren toplam ince malzeme miktarı kaba malzeme miktarı ile ikame edilerek değiştirilmiş, işlenebilirlik ve tiksotropik etki değişimleri gözlenmiştir, Tablo 3. Bu çalışmada ince miktarının artırılmasının beton mukavemetine olan etkileri ve kür sıcaklığı değişimleri incelenmemiştir.

	%45 İnce %55 Kaba	%50 İnce %50 Kaba	%55 İnce %45 Kaba	%60 İnce %40 Kaba
Yayılma cm (10 dk Sonra)	55	57	58	60
Yayılma cm (45 dk sonra)	35	39	46	52
Tiksotropik etki (45 dk sonra)	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük

**Tablo 3** Beton dizaynında kaba ince oranlarının değişiminin işlenebilirliğe ve tiksotropik etkiye etkisi

---

Bu çalışmada görüleceği gibi ince miktarının artırılması tiksotropik etkiyi ve kıvam korumayı olumlu yönde etkilemektedir. Katkı dozajlarında yapılacak artışlar tiksotropik etkiyi geri getirmektedir. Polikarboksilik eter kullanılacak tesislerde katkı dozajlama sistemleri ve personelin katkı ve reolojik beton konusundaki eğitimi tamamlanmadan seri üretime geçilmemelidir.

Ön üretimli elemanların imalatında kimyasal katkı seçimi görünen işletme parametrelerinin dışında üretilen elemanın servis ömrünü de içine alan toplam maliyete bakılarak yapılmalıdır. Toplam maliyetin optimumda sağlanabilmesi için elemanların yapı içerisinde de kalıcılıklarının sağlanması önemlidir.

### **Ön Üretimli Elemanların Kalıcılığını Sağlayan Koruyucu Malzemeler**

Ön üretimli elemanlar üretildikten sonra servis yapacakları bölgedeki iklim ve çevre şartlarına karşı dayanmak, dizayn amaçlarına uygun şekilde çalışmak ve estetik görünüşlerini kaybetmemek durumundadırlar. Diğer betonarme yapıların aksine ön üretimli elemanlarda sıva veya tuğla gibi elemanı koruyacak üretimler bulunmamakta ve elemanlar ilk üretimde alınan beton ve/veya koruyucu uygulamalarla korunmaya çalışılmaktadır.

Ön üretim esnasında, betona verilen ısı kütlesi çimentonun performansında, normal beton üretiminden farklı yan etkilere neden olmaktadır. Isıl kürenin şiddetine ve uygulandığı süreye bağlı olarak mukavemet geri dönüşleri, yüzey çatlakları, aderans azalması ve buna bağlı sorunlar görülebilmektedir.

Teorisi gereği ön üretimli elemanların kesitlerinde herhangi bir çekme gerilmesi bulunmamakta kesit tamamen basınç altında tutularak elemanlar yük taşımaktadır. Sürekli uygulanan basınç ve ön gerilmeden kaynaklanan bölgesel gerilme yığılmaları betonun iç yapısında mikro çatlaklara neden olmaktadır. Yapı elemanının servis ömrü boyunca maruz kalacağı dinamik yüklerde mikro çatlak oluşumlarına ve oluşan çatlakların artmasına neden olacaktır. Servis ömrünü kısaltan en önemli reaksiyonlar betonun içine penetre olan su ve zararlı kimyasallar, buna bağlı oluşan korozyon ve donma-çözülme ile oluşmaktadır. Dolayısıyla mikro çatlaklar yapı elemanının beklenen servis süresini kısaltmaktadırlar.

### **Mikro İklim**

Mikro iklim binanın yapıldığı bölgedeki iklim koşullarına verilen addır. Mikro iklimin bilinmesi yada doğruya en yakın şekilde tahmin edilebilmesi son derece önemli bir dizayn aşamasıdır. Binanın yapılacağı yerdeki donma çözülme sayısı, maruz kalacağı maksimum ve minimum sıcaklıklar, solar radyasyon miktarı, rüzgar ve diğer çevre şartları önem kazanmaktadır (1). Bina çevresinde bulunan kimyasal atık üreten firmalar, nem ve karbondioksit miktarları da mikro iklim

içerisinde değerlendirilmelidir. Mikro iklim parametreleri TS EN 206-1 de belirtilen çevre şartlarına esas kabul edilerek dizayn kriterleri oluşturulmalıdır.

Betonun herhangi bir uygulama yapılmadan kalıcılığının sağlanması betonun mikroyapısına, sertleşme sürecinde gördüğü küre ve oluşan gözenek yapısına ve boyutuna bağlıdır. Mikro iklim koşullarından kaynaklanan çevre şartlarında ön üretilmiş beton eleman servis ömrü süresince kalacağı için betonun mikro yapısı ve gözenek sistem bozulmadan servis sağlamalıdır.

Kuzey Amerikada betonun çevre şartlarına karşı dayanımı üzerine yapılan çalışmalarda betona penetre olabilen kimyasal sealentlerin betonların Kuzey Amerika şartlarında köprülerde dahi kullanılabilmesi ispatlanmıştır. Koruma için kullanılan sealentlerin özellikle köprü kirişleri üzerinde görülen kimyasal içerikli suların sıçraması ile görülen trafik yönündeki kirişlerin aşırı korozyonunda ve güney cephedeki kirişlerin dona çözülme etkisini daha fazla olmasına karşı kullanılacakları ve betonun servis ömürlerini arttırdıkları pratik olarak ispatlanmıştır (6), (7).

Genel olarak bu amaç için kullanılan iki tip kimyasal malzemeler silanlar ve siloksanlardır. Silanlar ve siloksanlar betonun gözeneklerini kapatıp yüzey gerilimini düşürerek suların beton içerisine girmesine engel olurlar. Gözenek kapatıcı tip olan kimyasallar betona penetre olarak gözenekleri kapatırlar, su itici olan kimyasallar ise betone penetre olarak çimento hidrasyonu ile oluşan hidroksil grubuyla reaksiyona girer, beton yüzeyine yakın gözeneklerin duvarlarını kaplarlar. Su itici tipte olan kimyasallar nemin beton içerisine girmesine engel olur ancak betonun nefes almasını önlemezler. Gözenek kapatıcı tipteki kimyasallar betonda hem nem hemde buhar transferini engelledikleri için betonun kalıcılığını olumsuz yönde etkilememektedirler. Gözenek kapatıcı tipteki kimyasallar moleküler yapıları büyük oldukları için su iticiler kadar betona penetre olamazlar (7).

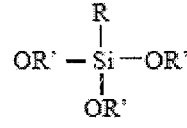
### **Malzemelerin Özellikleri**

- Penetre olan su itici kimyasalların kullanımı için betonun ve kimyasalların özelliklerin çok iyi anlaşılması gereklidir. Bu penetre olan sealentlerin nasıl betone penetre olduğunun ve betonu nasıl koruduklarının anlaşılması için önemlidir.

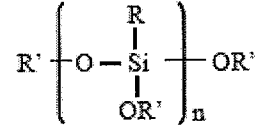
### **Penetre Olabilen Silan ve Siloksanlar**

Silanlar monomerlerdir ve sadece tek silikon atomundan oluşurlar. Siloksanlar ise daha uzun en fazla beş tane silikon atomu içeren zincirlerden oluşurlar ve birden fazla silan monomeri içerirler, Şekil 6. Silanlarda ve siloksanlarda bir dal organofonksiyon grubu olarak (R) adlandırılır. Bu grup organik hidrokarbonlardan oluşur ve tek veya zincir şeklinde olabilir. Fonksiyonel silikon grupları (OR') ise silikat kökenli grupla reaksiyona girerler. Dış yüzeyde kalan organofonksiyon grupları gözenek duvarlarında su itici bir zar oluştururlar. Organofonksiyonel ve

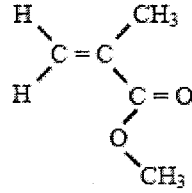
silikonfonksiyonel grupları alkyl ve alkoksil grupları olarak da adlandırılırlar. Bu yapıdaki silikonfonksiyonel grubu beton içerisinde penetre olmaya organofonksiyonel gruplar ise su itmeye yönelik davranış gösterirler (7).



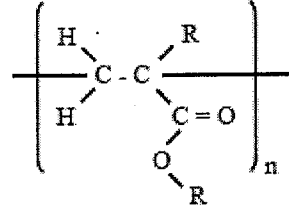
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6 Moleküler yapılar (a) silan, (b) siloksan, (c) metil metakrilat, (d) yüksek molekül ağırlıklı metakrilat

#### Yüksek Molekül Ağırlıklı Metakrilat (YMAM) Sealent

Betonun üretiminde veya servis süresi boyunca çatlaması kaçınılmaz bir sonuçtur ve betonun kalıcılığını etkiler. Moleküler yapıları Şekil 6'da gösterilen YMAM lar Kuzey Amerikada özellikle çatlamış yol yapılarında diğer başka kimyasallarla birlikte veya tek başlarına kullanılırlar (9). Bu tip kimyasallar 0,025 – 2 mm ye kadar olan çatlakların örtülmesinde kullanılırlar. Düşük viskoziteli çözeltileri daha küçük çatlakları örtmek içinde kullanılabilirler. Silan siloksan esaslı penetre olabilen kimyasallarda bu tarz küçük çatlakların tamiratında başarılı sonuçlar vermektedirler. Bu nedenle çatlakların onarımından önce çatlak etrafına silan siloksan esaslı bir uygulama yapıldıktan sonra YMAM uygulanması çatlak civarında gözle görülmeyen mikroçatlakların onarılması için gereklidir (8).

Koruyucu malzemeler ön üretimli elemanlarda servis süresinin uzatılabilmesi ve estetik görüntünün korunabilmesi için tüm yapılarda kullanılacak son derece etkin ve uygulaması kolay ürünlerdir. Betonun imalatı, taşınması, ve inşaa aşamasında oluşan çatlaklar bina servise girmeden önce kolaylıkla tamir edilip korunma altına alınarak ön üretimli elemanların servis süreleri uzatılmış ve estetik yapıları korunmuş olur.

---

## SONUÇ

Bu çalışmada ön üretimli elemanların üretimi ve üretim sonrasında kimyasal malzeme tercihlerinin ön üretimli elemanların beton kalitesine ve üretime olan etkileri incelenmiştir. Üretim sonrasında kullanılan kimyasalların genel olarak tanıtımı yapılarak betonun temel özelliklerinden yola çıkılıp kimyasal malzemelerin betonun kalıcılığına nasıl etki ettikleri anlatılmıştır. Günümüz beton piyasasında beton sadece sınıflarla belitilirken, artık TS EN 206-1 de performans betonları tanımlanmaktadır. Önümüzdeki yıllarda beton sadece basınç dayanım sınıfı ile değil performansı ve kalıcılığı ile tanımlanacaktır. Bu tür özel ve nitelikli betonlarda beton performansının istenilenleri sağlaması ancak betonun performansını arttırmak üzere hazırlanmış kimyasal katkıları ve malzemelerle sağlanabilecektir.

## KAYNAKLAR

- 1) Shah S.P., Ahmad S.H., (1994), *High performance concretes and applications*, Great Britain
- 2) Attiobe E., See H., Daczko J., Farrington S., Miller P., *Rheodynamic concrete for precast applications, evaluation of concrete properties for a zero energy system concept*, 2001 Cleveland, Ohio, Degussa Technical Report
- 3) R. Magaratto, *The mechanism of action of Glenium ACE series*, 2001, Treviso, Italy Degussa Technical Report
- 4) H. Yazıcı, H. Ün, Baradan B., *Betonarmenin Kalıcılığı*, 2000, İzmir
- 5) *Türk Standartları Beton ve Hazır beton üretim (TS EN 206-1)*, Türk Standartları Enstitüsü, 2001,
- 6) Yaman I.O., Birgül R., Aktan H.M., Hearn N., and Staton J.F.A., *A test method to appraise the future durability of new concrete bridge decks*, Transportation Research Board, Paper No: 02-2873, January 2002
- 7) Cady P.D., *Sealers for Portland cement concrete highway facilities NCHRP Synthesis 209*, Transportation Research Board Council, Washington D.C., 1994
- 8) ACI Committee 224, *Causes, Evaluation and repair of cracks in concrete structures*, ACI 224.1R - 93, ACI Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Detroit, Michigan 2001
- 9) Attanayaka A.M.U.B., Duyar O., Liang X., Aktan H.M., Ng K.Y.S., *Fundamentals of use of penetrating sealants for concrete bridge deck protection*, Transportation Research Board, Paper No: 03-2575, January 2003

---