

---

## AKIŞKANLAŞTIRICI KATKI TEKNOLOJİSİNİN YENİ SINIRLARI VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Songül GÜNEŞ  
İnşaat 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

Osman Onur TEZEL  
İnşaat Müh., Ürün Sor.

Degussa Yapı  
Kimyasalları San. A.Ş.  
İstanbul, Türkiye

### ÖZET

Hazır beton üreticileri betonu dayanımına ve işlenebilirliğine göre üretilip sevk etmekle yükümlüdürler. Burada şantiye şartlarında işlenebilirliği sağlamak için yeterli işlenebilirlik süresinin korunması en önemli koşuldur. İşlenebilirliğin korunması betonun taşınması ve yerleştirilmesi için önemlidir. Betonarme bir yapının durabilitesi yapının yalnızca binanın içinde bulunduğu çevre sınıfına değil aynı zamanda betonun su-çimento oranına, betonun yerleştirilmesindeki homojenliğe ve sıkıştırılmasına da bağlıdır. Beton bileşimindeki su miktarı ise agreganın şekline ve kullanılan kimyasal katkının tipine bağlıdır.

Bütün bunları gerçekleştirmek için akışkanlaştırıcı katkı biliminden talep edilen özellikler:

- Betonun durabilitesinin artırılması için düşük su-çimento oranını sağlamak
- Betonun iyi yerleştirilebilmesi için uzun işlenebilirlik süresi
- Kolay doldurma için betonun reolojisinin kontrol altında olması
- Yapıların hızlı tamamlanabilmesi için hidrasyonun hızlandırılması
- Yapıların doğal taş gibi dayanıklı olması

---

TS-EN 206 hazır beton standardı ülkemizde betonun servis ömrü boyunca maruz kalacağı çevre şartları için günümüz beton standartlarının üstünde, günümüz katkıları ile zor elde edilebilecek su/çimento oranları ve yüksek beton sınıflarında oluşan şartlar getirmektedir. Düşük çimento dozları ve günümüzde kullanılan beton katkıları ile bahsi geçen beton sınıflarını sağlamak ve ancak düşük işlenebilirlik ile mümkün olmaktadır. Düşük işlenebilirlik ise işlenebilirlik süresini kısaltmakta, pompalama ve yerleştirmeyi güçleştirmektedir. Bunu önlemek için işlenebilirlik artırıldığında ise daha yüksek çimento dozları ile süper akışkanlaştırıcılara yönelmesi gerekmektedir. Yüksek çimento muhtevaları ve süper akışkanlaştırıcı kullanımı ise özellikle sıcak havalarda işlenebilirlik kayıplarına, ve yüksek çimento muhtevası nedeniyle geniş yüzeylerde çatlamalara neden olmaktadır

Gerçekte tüm taleplerin birarada hedeflenmesi oldukça güçtür. Düşük su-çimento oranında çimento taneleri birbirine çok yakındır ve bunun anlamıda erken kıvam kaybı olmaktadır. Uzun işlenebilirlik süresi için fazladan su gereklidir. Akışkanlaştırıcı katkı bilimindeki yapılan yeni gelişmeler ile düşük su-çimento oranını ve uzun işlenebilirlik süresi aynı anda sağlanmaktadır. Bu yeni teknoloji ile :

- Çimento-kimyasal katkı ilişkisinin çok iyi anlaşılması
- Çimento sistemlerinde kimyasal yapı-performans ilişkisinin daha iyi bilinmesi
- Çimento ve betonun organik ve inorganik kimyasının anlaşılması
- ARGE ve Pazar arasındaki sıkı ilişkiler sağlanmaktadır.

Bu bildiri Nano-teknoloji kullanılarak geliştirilen Polikarboksilik eter esaslı yeni bir akışkanlaştırıcı kimyasal katkının (GLENİUM SKY –Toplam Performans Kontrol Sistemi) performans kriterleri , çalışma mekanizması, teknik ve ekonomik avantajları ,örnek bir endüstriyel çalışma sonuçları sunulmuştur.

Nano teknoloji sayesinde çimento taneciklerinin ve kimyasal katkı moleküllerinin etkileşimi incelenmiş, makro boyutta betonun taze ve sertleşmiş fazlarındaki sorunlarına çözüm aranmıştır. Organik kimya ve inorganik kimyanın ileri uygulamaları çimento ve beton kimyası ile örtüştürülüp çözüme ulaşılmıştır. Nano teknoloji sayesinde kimyasal katkıların fonksiyonel blokları istenen performanslara göre düzenlenmişlerdir.

---

## GİRİŞ

Günümüzde kullanılan kimyasal katkıların betonda kullanım amaçları başlıca uzun işlenebilirlik süresi, mukavemet gelişimi ve erken mukavemet ile özetlenebilir. İstenilen kriterleri sağlamak için su/çimento oranı ve katkı tipi değiştirilerek sonuca ulaşılabilir. Genel anlamda uzun işlenebilirlik süresi sağlandığında su/çimento oranı artmakta su/çimento oranının artması mukavemet gelişimini düşürmektedir. Mukavemeti arttırmak için su/çimento oranı düşürüldüğünde ise hidratastyonun hızı kontrol edilememekte ve işlenebilirlik kayıpları yaşanmaktadır. İşlenebilirlik süresine katkı tipinde yapılacak değişikliklerle kontrol edilmek istendiğinde ise erken yüksek mukavemet sağlanamamaktadır. Yaşanılan bu çelişkiler proje mühendislerinde yüksek sınıflı betonların şantiye uygulamaları hakkında soru işareti doğurmakta, şantiyelerde yüksek sınıflı betonların pompalanması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sorun olmakta ve hazır betoncularda yaşanan sıkıntılar ve teknolojik yetersizlikler yüksek beton sınıflarına karşı önyargı oluşmasına sebep olmuştur.

TS-EN 206 hazır beton standardı ülkemizde betonun servis ömrü boyunca maruz kalacağı çevre şartları için günümüz beton standartlarının üstünde, günümüz katkıları ile zor elde edilebilecek su/çimento oranları ve yüksek beton sınıflarında oluşan şartlar getirmektedir.

Konvansiyonel katkılar çimento taneciklerinin üzerine yapışarak taneciklerin birbirlerini itmesini sağlarlar. Böylelikle kimyasal katkıların dağılma etkisi görülür. Ancak düşük su/çimento oranlarında çimentonun ilk hidratasyonu ile oluşan etringit yapıları katkının üzerinde formasyonlar oluşturarak kıvam kaybına neden olurlar. Nano teknoloji ile elde edilen modifiye edilmiş Glenium molekülleri sayesinde çimentonun üzerine daha yavaş adsorbe olurlar. Bu yavaş adsorpsiyon çimentonun hidratasyonuna izin verirken çimentonun üzerine tam yapışmadığı için dağılma etkisini göstermeye devam ederler

## TOPLAM PERFORMANS KONTROLÜ

Total Performans Kontrolü konsepti, hazır beton üreticisine, müteheait ve mühendislere ; yüksek kaliteli betonun santralde üretiminden, şantiyeye taşınması, kalıba yerleştirilmesi ve sertleşme prosesi sürecince betonun başlangıçtaki özelliklerini bozmadan teslim etme imkanı sunar.

---

Düşük Su/Çimento ,Yüksek kaliteli beton ,yüksek sıcaklıklarda dahi, priz geciktirmeden yüksek işlenebilirlik,yüksek nihai ve erken dayanım, tek bir katkı ile ,çok amaçlı ,çeşitli uygulamalar ve farklı koşullarda beton üretme imkan sağlamaktadır.

- Beton fiziksel özellikleri
  - Betonun kolay yerleştirilmesi
  - Vibratöre gereksiniminin azalması
  - Slump (kıvam) kaybetmemesi
- Düşük Su/Çimento oranı
  - Mukavemet gelişimi
  - Durabilite
  - Mühendislik özellikleri
  - Ekonomik avantajlar

**Toplam Performans Kontrol Kimler için Ne Faydalar Sağlar :**

**Hazır Beton :** Mükemmel slump koruma, yüksek işlenebilirlik,yüksek nihai ve erken dayanım

**Müteahhit :** Kolay yerleştirme ve daha hızlı mukavemet kazanma,işçilikten tasarruf daha erken kalıp alma/çevirme

**Mühendisler :** Düşük çimento pastası miktarına dayalı olarak daha az plastik ve büzülme çatlakları.Uygun maliyette daha dayanıklı yüksek kalitede beton

## **NANO-TEKNOLOJİ VE KATKI BİLİMİNE UYGULAMASI**

Nano-Teknoloji, malzemeleri ve birbirleri ile olan ilişkileri nanometre boyutunda ölçümleyebilmek için birçok araştırma dalında kullanılan anahtar bir terimdir.

Nanometre (nm); milimetrenin milyonda biridir.Toplam performans kontrol, Nano teknolojidir ve beton performansını etkileyen nano-scaladaki ilişkilerin moleküler boyutta incelenmesine olanak sağlar.

---

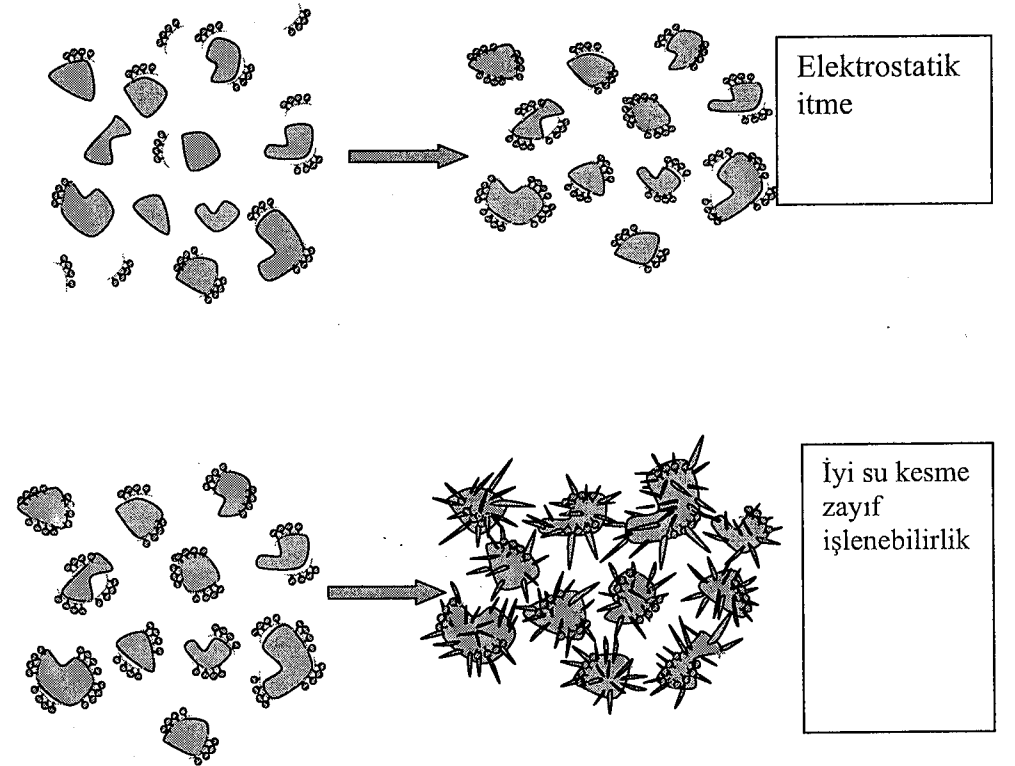
İnşaat piyasası malzeme teknolojisinden teknolojik uygulamalarda yüksek performans ve mükemmel sorun çözümleri beklemektedir. Artan teknolojik istekler ve inşaat yatırımları günümüz kimyasal katkılarından dürabiliteyi arttırmak için düşük su/çimento oranı, güvenilir bir yerleştirme için uzun işlenebilirlik süresi, betonun boşluksuz olması için kontrollü bir reoloji, hızlı inşaat yapımı için erken yüksek mukavemet ve doğal taş kadar kalıcı betonlar istemektedir. İstenilen özellikler ayrı ayrı istendiğinde sorun olmamakla birlikte bir kaç özelliğin mesala, erken yüksek mukavemet, dürabilite ve yüksek işlenebilirliğin aynı projede sağlanması teknolojik olarak güçlüklerle dolu olması malzeme biliminin en büyük sorunlarından birisidir. Düşük su oranları çimento tanecikleri arasındaki mesafeleri azaltmakta ve taşıma ve yerleştirme için gerekli işlenebilirlik süreleri sağlanamamaktadır. İstenilen özelliklerin sağlanması için karışıma fazladan su yada kimyasal katkı eklenerek çözüm üretilmeye çalışılmış ancak istenilen diğer özelliklerden feragat edilmiştir.

Nano teknoloji sayesinde çimento taneciklerinin ve kimyasal katkı moleküllerinin etkileşimi incelenmiş, makro boyutta betonun taze ve sertleşmiş fazlarındaki sorunlarına çözüm aranmıştır. Organik kimya ve inorganik kimyanın ileri uygulamaları çimento ve beton kimyası ile örtüştürülüp çözüme ulaşılmıştır. Nano teknoloji sayesinde kimyasal katkıların fonksiyonel blokları istenen performanslara göre düzenlenmişlerdir. Polimerler fonksiyonel blokları çimento taneciği üzerinde zayıf ve güçlü adsorpsiyon yaparak dağılma etkisi verirler ve çimentonun hidrasyonun düzenlenmesini sağlarlar.

- Nano teknoloji ile polimerin yapısını ve çimento partikülleri ile reaksiyonunu kontrol edebiliyoruz
- Polimerin kimyasal ve fiziksel davranışının kontrol edilmesi aşağıdaki özelliklerin kontrol edilmesi ile sağlanabilir.
  - ◆ Zincir uzunluğu
  - ◆ Yan zincir uzunluğu
  - ◆ Elektrik yükleri
  - ◆ Yan zincir yoğunluğu
  - ◆ Serbest fonksiyonel guruplar

## GLENİUM SKY ÇALIŞMA MEKANİZMASI

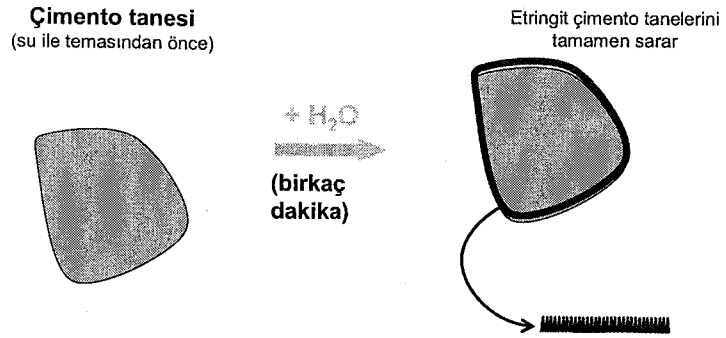
Konvansiyonel katkılar çimento taneçiklerinin üzerine yapışarak taneçiklerin birbirlerini itmesini sağlarlar. Böylelikle kimyasal katkıların dağılma etkisi görülür. Ancak düşük su/çimento oranlarında çimentonun ilk hidrasyonu ile oluşan etringit yapıları katkının üzerinde formasyonlar oluşturarak kıvam kaybına neden olurlar. Nano teknoloji ile elde edilen modifiye edilmiş Glenium molekülleri sayesinde çimentonun üzerine daha yavaş adsorbe olurlar. Bu yavaş adsorpsiyon çimentonun hidrasyonuna izin verirken çimentonun üzerine tam yapışmadığı için dağılma etkisini göstermeye devam ederler. Bu etki sayesinde konvansiyonel katkıların kullanımıyla bir miktar etringit oluşumu katkı tarafından boşa harcanmış olur. .



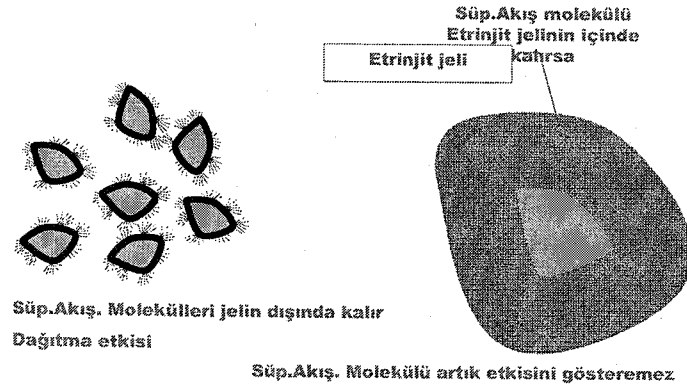
Şekil 1 Konvansiyonel katkıların çalışma mekanizması

Glenium SKY teknolojisi boşa harcanan bu etrinjit oluşumunu da değerlendirerek erken mukavemet gelişimini desteklemektedir

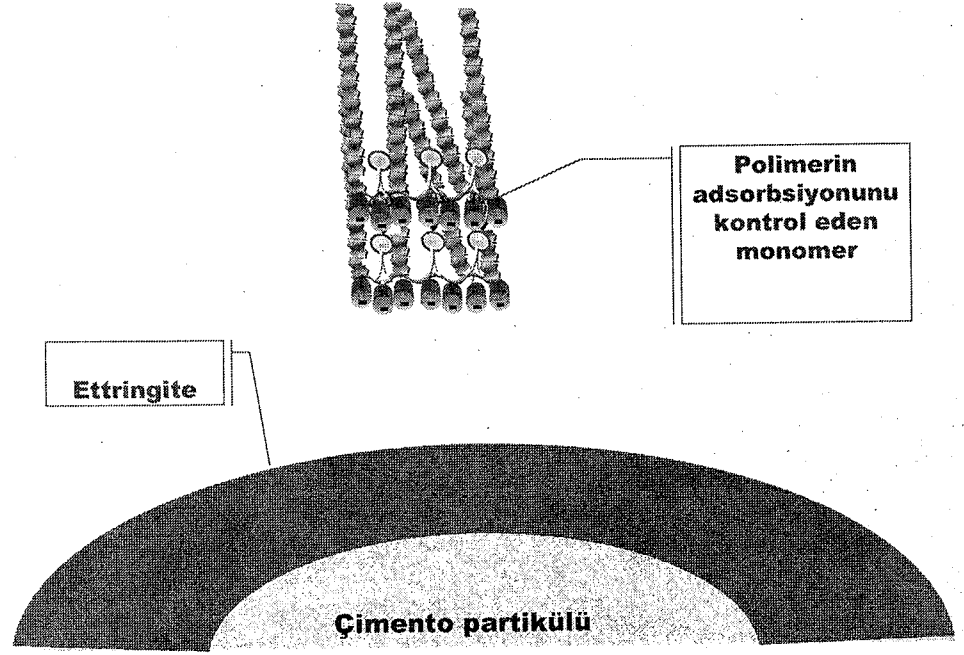
The Ettringite oluşumu ve süperakışkanlaştırıcının çimento tarafından adsorbsiyonu



Şekil.2 Etringit Oluşumu ve Süper akışkanlaştırıcının Çimento Tarafından Adsorbsiyonu



Şekil 3 Süperakış. Molekülünün Çalışma Mekanizması



Şekil 4 Glenium Sky Molekülünün Davranışı

Glenium SKY nano teknoloji ürünü olduğu için çimentonun ve ince malzemelerin mikro ve kristal yapılarından aşırı etkilenmektedir. Hidratasyon başladığında polimerin bir parçasının çimento taneciği üzerine adsorbe olması durumunda mümkündür. Bağımsız kalan polimer parçacığı işlenebilirliğin sağlanması açısından önemlidir. Çimento taneciğinin polimeri adsorbe ediş süresi, kırma kumun su emme ve kristal yapıları bahsedilen polimer fonksiyonundan sapmalara neden olmakta ve öngörülen dağılma, erken mukavemet ve uzun işlenebilirlik koruma etkilerinde sapmalar olabilmektedir. Bu hassasiyet nedeniyle kullanıcıya özel (tailor made) katkı üretilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bölgesel malzemelerin özelliklerine göre katkı kullanım oranları değişebilmektedir.



## ENDÜSTRİYEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

PÇ 42,5 Set Çimento			
Hedef Beton Sınıfı	C 30	C 30	C 30
Beton sıcaklığı C°	28	28	27,5
Çimento + Kül	315	255 + 40	315
Kimyasal katkı	Süper akışkanlaştırıcı % 1.2	PCI SKY SP % 1.2	PCI SKY SP % 1.2
Su/çimento oranı mm	0,64	0,61	0,52
Slump (5 dakika)	200	220	230
Slump (1 saat) mm	130	220	220
Mukavemet			
1 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	115	145	223
7 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	353	431	510
28 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	435	543	648

Tablo 1

PÇ 42,5 Bolu Çimento			
Hedef Beton Sınıfı	C 30	C 30	C 30
Beton Sıcaklığı °C	26,2	25,5	26
Çimento + Kül (kg/m <sup>3</sup> )	320	250 + 60	320 + 60
Kimyasal Katkı	Süper akışkanlaştırıcı % 1.2	PCI SKY SP % 1.2	PCI SKY,SP % 1.2
Su/çimento oranı	0,57	0,60	0,49
Slump (5 dakika) mm	200	220	230
Slump (1 saat) mm	130	210	215
Mukavemet			
1 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	84	145	227
7 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	371	357	458
28 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	437	474	554

Tablo 2

PÇ 42,5 Nuh Çimento			
Hedef Beton Sınıfı	C 30	C 30	C 30
Beton Sıcaklığı °C	27	26,4	27,5
Çimento + Kül (%)	300+50	250 + 70	300 + 50
Kimyasal katkı (%)	Süper akışkanlaştırıcı % 1.2	PCI SKY SP % 0.9	PCI SKY SP % 0.9
Su/çimento oranı	0,58	0,57	0,52
Slump (5 dakika) mm	210	230	230
Slump (1 saat) mm	140	190	220
Mukavemet			
1 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	80	167	229
7 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	482	521	572
28 Günlük (kg/cm <sup>2</sup> )	511	589	597

Tablo 3

---

## SONUÇ

Toplam Performans Kontrolü ve PCI Sky SP teknolojisi tüm hazır beton endüstrisinin ihtiyaçlarına yönelik yeni nesil bir süper akışkanlaştırıcı sunmaktadır.

- Şantiyede hiçbir müdahaleye gerek kalmadan ;Uzun İşlenebilirlik Süresi ile S4 kıvamlı beton teslimi mümkündür
- Uzun İşlenebilirlik Süresi ile beraber ,Yüksek Erken Dayanım ve Erken Kalıp Alma mümkündür
- İş sahasına istendiği zaman yüksek kalitede betonu yerine teslim etme imkanı sayesinde
- Yüksek sıcaklıklarda dahi işlenebilirlik kaybı olmadan TS EN 206-1'e uygun düşük Su/Çimento oranlı beton üretimi
- Tek "teknolojik/ürün" ile pek çok uygulama için:
- Optimize edilmiş stoklar,
- Kolay yerleştirme ve daha hızlı mukavemet kazanma sayesinde :
- İşçilikten tasarruf,
- Daha erken kalıp alma/çevirme,
- Toplamda daha düşük maliyet

## KAYNAKLAR

1. *TS EN 206-1, "Beton-Bölüm 1:Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk", TSE, Ankara, Nisan 2002*
2. *Flatt R. J., Houst Y. F., "A simplified view of effects perturbing the action of superplasticizers", Cement and Concrete Research, 2001, vol. 31 , pages 1169-1176*