

Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

Cenk Kılınc*

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) önemli ölçüde akışkanlık özelliği ve kendi ağırlığı ile yerleşme yeteneği olan betondur. Sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon gerektirmeyen yenilikçi bir betondur. Akışkanlığı ve ayrışma direnci, yüksek seviyede homojenlik, minimum beton boşlukları ve üniform beton dayanımını garanti eder ve yapı için daha üstün seviyede dayanıklılık ve bitirme potansiyeli sağlar. KYB genellikle potansiyel olarak erken yaşta yüksek dayanım sağlar. Düşük su-çimento oranı ile üretilmesi, erken yaşta kalıptan alınması ve yapıların daha hızlı kullanımına imkan sağlaması önemli avantajlarındandır.

KYB'yi geleneksel betonlarla karşılaştırdığımızda birçok avantajı vardır. Akıcı olması, minimum işçilik gerektirmesi, ekonomik olması, hızlı uygulanması, gürültü kirliliğine engel olup sık donatı arasında ayrışma oluşmadan kalıp içerisinde kolaylıkla doldurabilmesi, vibrasyona gerek duymadan her türlü kalıba kendi ağırlığı ile yerleşebilmesi ile geleneksel betonlara göre daha yüksek performans elde edilir.

Özellikle güçlendirme projelerinde KYB kullanılması avantajlıdır. Çünkü dar kalıplarda en uzak noktalara betonun homojen olarak yayılabilmesi bu tip betonlarla mümkün olabilmektedir.

*THBB Teknik Ofis Müdürü, cenk.kilinc@thbb.org.

KYB üretiminde çoğunlukla yeni kuşak kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Dağıtma (dispersiyon) gücü yüksek olan kimyasal katkıların beton içerisinde belirli oranlarda kullanılması esastır. Kimyasal katkı içeriği ve taze beton sıcaklığı en uygun seviyede kullanılmadığı takdirde, taze ve sertleşmiş beton özellikleri etkilenecektir.

Self-Compacting Concretes

Self-compacting concrete (SCC) is a concrete type, which has considerable liquidity feature and ability to emplace by its own weight. This is an innovative concrete, which does not require vibration for compression and emplacement. Its liquidity and disintegration resistance guarantee high levels of homogeneity, minimum concrete holes and uniform concrete resistance and provide high levels of resistance and finishing potential. SCC potentially provides high resistance in early stages in general. Some of its significant advantages are production with low water-cement rates, removal from the mould at early stages and enabling faster use of the buildings.

Geleneksel beton dökümünde vibrasyon, betonu kalıba boşluksuz olarak yerleştirmek ve sıkıştırmak için uygulanır. Vibrasyon, betonu kalıbın her tarafına yayarak donatıları devamlı bir şekilde kaplamasını sağlar, hava boşluklarını dışarıya çıkartarak kompasiteyi artırır. Dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek, aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek için vibrasyon gereklidir. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımı, boşluklu bir yapı oluşacağı için vibrasyon uygulanmış betonlara göre daha düşük olacaktır. Ayrıca yeterli vibrasyon yapılmayan beton elemanların yüzeyi de düzgün olmaz. Özellikle binaların depreme karşı güçlendirilmesi için yapılan projelerde tüm bu etkenlere dar beton kesitleri ve sık donatı eklenince, vibrasyon uygulaması daha da zor, bazen de imkânsız hale gelir. Oysa KYB, kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri ortadan kaldırarak, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar. KYB'lerin kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Geleneksel beton dökümünde vibrasyon, betonu kalıba boşluksuz olarak yerleştirmek ve sıkıştırmak için uygulanır. Vibrasyon, betonu kalıbın her tarafına yayarak donatıları devamlı bir şekilde kaplamasını sağlar, hava boşluklarını dışarıya çıkartarak kompasiteyi artırır. Dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek, aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek için vibrasyon gereklidir. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımı, boşluklu bir yapı oluşacağı için vibrasyon uygulanmış betonlara göre daha düşük olacaktır. Ayrıca yeterli vibrasyon yapılmayan beton elemanların yüzeyi de düzgün olmaz. Özellikle binaların depreme karşı güçlendirilmesi için yapılan projelerde tüm bu etkenlere dar beton kesitleri ve sık donatı eklenince, vibrasyon uygulaması daha da zor, bazen de imkânsız hale gelir. Oysa KYB, kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri ortadan kaldırarak, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması, şehir merkezlerinde gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar. KYB'lerin kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Güçlendirme projelerinde,
- Sık donatılı elemanlarda,
- Estetik kalıp tasarımlarında,
- Zor ve ulaşılmaz kalıplarda,
- Vibratör kullanımının imkânsız olduğu yerlerde

KYB' de akışkanlığı yüksek olan yeni kuşak kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı ayrışma oluşmaması için karışım içinde ince malzeme miktarı yüksek tutulur.

Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihçesi

1983' ten önceki yıllarda, beton yapılarda dayanıklılık Japonya'da büyük bir problem konusuydu. Dayanıklı beton üretmek için kalifiye elemanlar tarafından betonun yeterli miktarda sıkıştırılması gerekiyordu. Bununla birlikte, kalifiye eleman sayısı zamanla artmadığı için benzer şekilde gün geçtikçe yapı kalitesi de azaldı. Şantiyede fazla sayıda kalifiye elemana gerek duymadan başarılı bir sonuç elde etmek için ulaşılan çözümlerden bir tanesi kendiliğinden yerleşen beton kullanmaktır. Bu beton tamamen kendi ağırlığı ile herhangi bir vibrasyona gerek duymadan kalıbın her noktasına yayılmaktadır. Bu şekilde ihtiyaç duyulan beton 1986 yılında Okamura tarafından oluşturuldu. Kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliğinin geliştirilmesi üzerine önemli ölçüde Ozawa ve Maekawa tarafından Tokyo üniversitesinde çalışmalar yapıldı [1].

Japonya'da öncülüğü yapılan KYB zamanla Asya, Güney Pasifik, Avrupa ve Kuzey Amerika'da kullanılmaya başlandı. KYB oluşturulurken yeterli miktarda su azaltıcılar gereklidir. KYB' de su azaltıcı katkıları temel olarak sülfonat naftalin formaldehit (SNF), sülfonat melamin formaldehit (SMF) veya polikarboksil etilen oksit (PCE) üzerine kurulmuştur [2].

Su/bağlayıcı madde oranının düşük tutulmasına rağmen KYB üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı katkıları hem betonda akışkanlığı sağlamakta, hem de homojen bir çimento dağılımı oluşturarak segregasyonun oluşmasını önlemektedir. Dayanım ve dayanıklılık özellikleri bakımından normal betona göre KYB daha avantajlıdır [3].

Kendiliğinden Yerleşen Betonun Oluşum Biçimi

KYB' de akıcılığı sağlamak amacıyla kuvvetli bir süper akışkanlaştırıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özellik sadece ilk kuşak süper akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi, ince tanelerin üzerine adsorbe olarak aynı işaretli elektrik yükü tanelerin birbirini iterek dağıtması (dispersiyon) ile sağlanmamakta, bunun yanında dallanmış uzun polimerlerin (süper akışkanlaştırıcılar) oluşturduğu hacim doldurma etkisi de gerekmektedir. Burada betonun akışının yanında hızı da önem taşımaktadır.

Beton içindeki agrega tanelerinin arasındaki sürtünme etkilerini azaltmak için tanelerin birbirinden uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla çimento hamuru miktarı artırılabilir. Bunun sonucu betonun şekil değiştirme yeteneği artar [4].

KYB' de kullanılan yeni kuşak kimyasal katkıların dağıtma gücü yüksek olmaktadır. Buna karşılık ince malzeme miktarı su içeriği değiştirilmeden yüksek tutulur. İnce malzeme olarak uçucu kül, cüruf, silis dumanı ve taş tozu kullanılabilir. Genel olarak uçucu kül ve taş tozu kullanılan betonlarda toplam ince malzeme miktarının 500-600kg/m³ düzeylerine çıkması gerekir. Bu ise yüksek maliyete neden olur. Maliyeti düşürmek için ince malzeme miktarı azaltılırsa terleme ve ayrışmaya sebep olmaktadır. Bu yüzden ince malzeme miktarını düşürüp bunun yerine viskozite düzenleyici katkıları (VDK) geliştirilmiştir. Polisakkaritler, akrilik bazlı polimerler, selülöz türevleri ve nişasta kökenli ürünler örnek gösterilebilir.

Doğal bir polisakkarit olan Welan Gum' ın VDK olarak kullanımının etkili olduğu bulunmuştur. Ancak Welan Gum'ın pahalı bir ürün olması beton maliyetini arttırmaktadır. Mc. Lachemi ve arkadaşları polisakkarit bazlı farklı VDK içeren KYB'ler üretmişler ve bunları Welan Gum'lı KYB ve VDK'sız KYB ile reolojik özellik ve maliyet açısından karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak Welan Gum'lı KYB'ye göre maliyeti daha düşük, reolojik özellikleri daha iyi farklı VDK'lı betonlar üretmeyi başarmışlardır [5].

Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Haldeki Özellikleri

KYB'lerin performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Reoloji ve işlenebilirlik parametreleri KYB'nin pratikteki kullanım performansını etkilemektedir. Kendiliğinden yerleşme yeteneği üç parametre ile karakterize edilebilir: doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği [4].

Doldurma Yeteneği

KYB kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve deforme olma özelliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon kapasitesi) kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile söz konusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge olmalıdır.

Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması faydalıdır. Ancak bu yeterli değildir; çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akış-

kanlıkla birlikte ayrılmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'nin engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir [6].

Uygun doldurma yeteneği için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

a) Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin artırılması:

- Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı
- Dengelenmiş su/bağlayıcı oranı

b) Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması:

- Düşük kaba agregaya hacmi (yüksek çimento hamuru fazı içeriği)
- Kullanılan agregaya ve çimentoya göre uygun değerlerde tane boyut dağılımı

Ayrılmaya Karşı Direnc

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerin homojen olmaksızın dağılılarak yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. Normal akışta ayrışma göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda ayrılmaya uğrayabilir.

KYB gerek durağan, gerekse akış halinde aşağıdaki tip ayrışmaları göstermemelidir:

- Terleme (su ve katı arasında ayrışma)
- Çimento hamuru fazı ve agregaya ayrışması,
- Tıkanmaya neden olan kaba agregaya ayrışması,
- Hava boşluğu dağılımının homojen olmaması

Terlemeden kaçınmak için, karışımda hareket eden su miktarının az olması gerekmektedir. Yer değiştiren su, karışım içerisinde katı malzemeyle karışmayan bağımsız olarak hareket eden su anlamına gelmektedir. Hareket eden su miktarı, su/ince madde oranı azaltılarak sağlanır. Serbest su, yüzeyi büyük olan malzemelerin üzerinde daha fazla bulunacağından, yüzey alanı çok olan ince malzemeler kullanmak mümkündür. Su ve katı arasındaki ayrışma direnci viskozite arttırıcı katkıları kullanarak iyileştirilebilir [1].

Geçiş Yeteneği

KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrılmaya karşı dirence sahip olduğunda etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ekstra bir ihtiyaç daha doğmaktadır ki, bu da kaba agregaların blokajlanmasıdır [7].

Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB'de bile aşağıdaki durumlarda blokaj riski söz konusudur:

- Agregaya en büyük dane çapı çok büyükse
- İri agregaların içeriği çok yüksekse

Uygun geçiş yeteneği için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

Agregaya ayrışmasını azaltmak için kohezyonu arttırmak

- Düşük su/bağlayıcı oranı
- Viskoziteyi arttırmak

Uygun iri agregaya kullanımı

- Düşük kaba agregaya hacmi
- Düşük en büyük dane çaplı agregaya

Tasarım Kriterleri

KYB'nin iyi bir performans sağlaması için gereken nitelikler Şekil 1'de gösterilmektedir. Sınırlı iri agregaya içeriği agregaya tanelerinin çarpışmasını azaltmakta, geçiş yeteneği sağlamakta ve geri kalan çimento hamuru fazı hacmini arttırmakta; düşük su/bağlayıcı oranı ve süper akışkanlaştırıcı katkı ise akıcılığı ve ayrışma direncini sağlamaktadır [4].



Şekil 1: KYB Bileşim Özelliklerinin Şematik Gösterimi [4]

Ülkeler bazında, değişik uygulama alanlarına yönelik çok farklı tasarım yaklaşımları bulunmaktadır. Deneyimler başarılı KYB üretmek için bir takım limitler oluşmasına imkân vermiştir. Aşağıdaki tüm terimler hacimseldir.

- Beton hacminin % 30-34'ü iri agregaya hacmidir. Bu değerler, normal işlenebilir bir beton için geçerli olan değerlerden daha azdır.
- Viskozite arttırıcı katkı kullanılmadığında 155-175 lt/m³ su idealdir. Viskozite arttırıcı kullanıldığında 200 lt/m³'lere kadar çıkılabilir.
- Beton hacminin % 34-40'ı kadar bir çimento hamuru fazı bulunmalıdır.
- Harç fazı hacminin % 40-50'si kadar ince agregadır.

Tüm bu sınır değerler ışığında, ağırlıkça aşağıdaki miktarlar kabaca önerilebilir:

İri agregası	: 750-920 kg/m ³
İnce agregası	: 710-900 kg/m ³
İnce malzeme	: 450-600 kg/m ³
Su	:150-200kg/m ³

Taze haldeki KYB karışımlarındaki özelliklerin gerekli bileşimi elde etmek için:

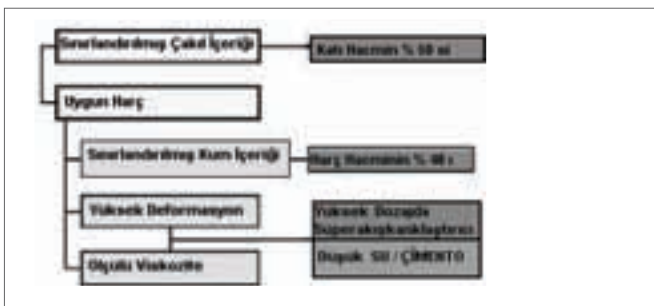
- Hamurun akışkanlık ve viskozitesi çimento ve mineral katkıların dikkatli seçimi ve oranlamasıyla, su/ince madde oranını sınırlandırmayla ve süper akışkanlaştırıcı ve (isteğe bağlı olarak) viskozite düzenleyici katkı ilave ederek ayarlanır ve dengelenir. KYB'nin bu bileşenlerinin doğru bir şekilde kontrolü, uygunluk ve etkileşimleri; iyi doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve ayırmaya karşı direnç elde etmede anahtardır.
- Hamur, agreganın taşınması için bir araçtır; bu yüzden bütün agregası taneciklerinin bir hamur tabakası tarafından tamamen kaplanması için hamur hacmi agregadaki boşluk hacminden büyük olmalıdır. Bu akışkanlığı artırır ve agregası sürtünmesini azaltır.
- Karışımdaki iri agreganın ince agregasıya oranı, tekil iri agregası taneciklerinin bir harç tabakası tarafından tamamen çevrelenmesi için azaltılır. Bu, beton donatılar arasındaki dar açıklıklardan veya boşluklardan geçerken, agregası kenetlenmesini ve köprülenmeyi azaltır ve KYB'nin geçme yeteneğini artırır.

Bu karışım, tasarım prensipleri geleneksel vibrasyonlu betona kıyasla normalde aşağıdakileri kapsayan bir beton ile sonuçlanır.

- Daha az iri agregası miktarı
- Arttırılmış hamur miktarı
- Düşük su/ince madde oranı
- Arttırılmış süper akışkanlaştırıcı
- Bazen viskozite düzenleyici katkı

Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanizması

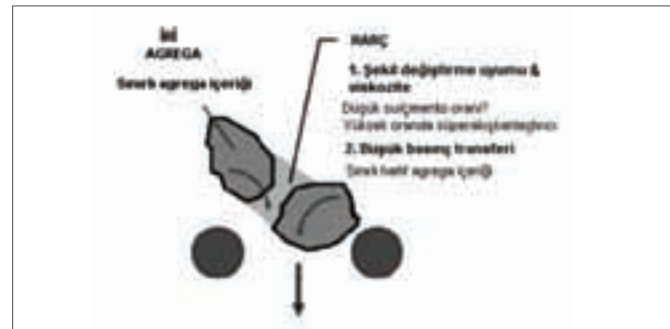
Kendiliğinden yerleşebilirliğin metodu sadece çimento hamurundaki veya harçtaki yüksek deformasyonu değil aynı zamanda iri agregası taneciklerinin beton içinde iki donatı arasında akarken segregasyona karşı direncidir. Okamura ve Oza-wa yaptıkları çalışmalarla kendiliğinden yerleşebilirliği Şekil 2'deki gibi geliştirdiler.



Şekil 2: KYB Üretmek İçin İzlenen Yol

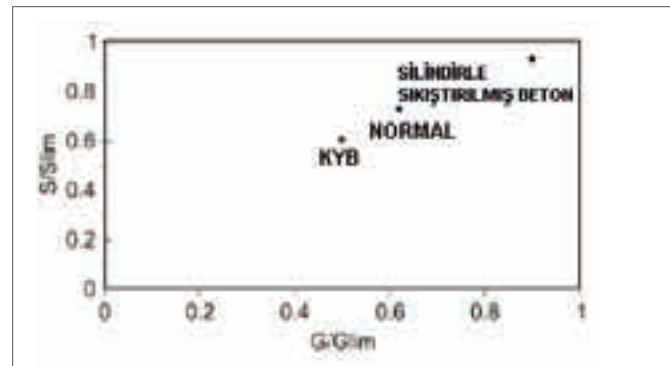
- 1) Sınırlanmış agregası içeriği
- 2) Düşük su/toz madde oranı
- 3) Süper akışkanlaştırıcı kullanımı

Agregalar arasındaki çarpışma ve temas azalan parçacıklar arasındaki rölatif mesafeyi arttırabilir. Daha sonra, beton deforme olunca özellikle bir engelle karşılaşıncaya iç basınç artar. Araştırmalar, akış için gerekli olan enerjinin artan iç basınç ve agregaların birbirini engellemesi sonucu tüketildiğini göstermektedir. Yüksek viskoz çimento hamuru, aynı zamanda beton, engel içine doğru akarken iri agregaların engel oluşturmamasından kaçınmak için gereklidir [1].



Şekil 3: Kendiliğinden Yerleşebilirliğin Meydana Gelmesindeki Mekanizma [1]

Beton deforme olduğunda yüksek viskoziteli çimento hamuru aynı zamanda iri agregaların birbirine yaklaşmasıyla artan iç basınç önler. Yüksek şekil değiştirme özelliği süper akışkanlaştırıcılar ve su/bağlayıcı madde oranının düşük tutulması ile sağlanabilir [1].



Şekil 4: Farklı Betonda İri ve İnce Agregaların Sıkışma Dereceleri [1]

İri agregası hacminin dolu katı hacme oranı (G/Gim) her bir beton için Şekil 4 de gösterilmiştir. KYB' de iri agregası doluluk derecesi beton deforme olduğu zaman agregalar arasındaki etkileşimi %50 azaltır. Buna ek olarak harçtaki ince agregası hacminin katı hacme oranı (S/Slim) aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. KYB harcındaki ince agregası doluluk derecesi yaklaşık olarak %60 dır. Böylece kayma deformasyonu beton deforme olduğunda sınırlandırılabilir. Diğer taraftan, KYB çimento hamuru

runun viskozitesi, düşük su/bağlayıcı madde olmasına rağmen diğer beton çeşitlerine nazaran en üst değerdedir.

Sıkıştırma Derecesi ve Numuneler

Beton yapı, tam olarak yapılamayan sıkıştırmadan yüksek oranda etkilenebilir. Beton, perde duvara, kolona veya dar kesitlere yerleştiği zaman sıkıştırılması güç olur. En iyi sıkıştırma ölçüsü 1 olarak kabul edilirse bu bölgelerde vibratör kullanarak yapılan sıkıştırma en fazla 0,93- 0,98 oranında yapılabilir. Sonuç olarak sıkıştırma derecesi 1'den küçük olmaktadır. Basınç dayanımı her 0,01 değeri için % 5 oranında azalmaktadır. 0,97 ölçekli bir sıkıştırma %15 oranında basınç dayanımında azalmaya sebep olacaktır. KYB' de sıkıştırma derecesi 0,98-1 arasında olmaktadır. Çünkü kendi ağırlığı ile yerleşme yeteneği iyi yapılmış vibrasyonlu betondan daha üstün kılmaktadır. KYB' de iki önemli sonuç çıkmaktadır.

- Sıkıştırma derecesi, kalıp şekli, mesafesi, geometrisinde farklılık ve donatı yoğunluğundan etkilenmeden yapının her bölgesinde eşit olmaktadır.
- Bütün deney numuneleri iyi sıkıştırma derecesine sahiptir. Sonuç olarak numuneler temsilidir. Bundan dolayı KYB' de iyi yerleşme sonuçlardaki kuşkuyu ortadan kaldırır [8].

KYB, normal betona kıyasla daha yüksek oranda sıkışık hava boşluğu içermesine rağmen, normal betona kıyasla çok daha yüksek basınç dayanımı değeri vermesi göreceli olarak düşük su/çimento oranına, kullanılan akışkanlaştırıcı ve mineral katkılarına bağlanabilir. Ayrıca KYB' nin sıkışık hava boşluklarının, şekil olarak küresel yapıda olması da dayanım ve dayanıklılık açısından birçok avantajlar getirebilmektedir. Boşluk adedi ve boşluk alanının toplam alana oranı için normal betondan elde edilen değişkenlik katsayılarının KYB' ye kıyasla çok daha yüksek olduğu için KYB' de iri boşlukların daha homojen bir boyut dağılımında olduğunu ortaya koymaktadır [3].

Kendiliğinden Yerleşen Betonda Basınç Dayanımı

İyi sıkışmadan dolayı yüksek basınç dayanımı beklenmektedir. Tecrübelerle göre C25/30 en düşük KYB özelliklerinde görülür. C30-C35 en çok kullanılan ve C55-C60 yüksek fırın çürufu, uçucu kül, silis dumanı veya diğer özel katkıları olmadan kolayca elde edilebilmektedir.

Geçirimsizlik Özelliği

KYB' de ince madde oranı fazla olduğu için güçlü miktarda geçirimsizlikte azalma beklenmektedir. Aynı oranda su/çimentoya sahip normal beton ile KYB karşılaştırıldığında aşağıda belirtilen etkileyici sonuçlar çıkmaktadır.

- Geçirimsizlik derinliği su/çimento arttıkça KYB' de normal betona göre daha yavaş artmaktadır. Bu durum ince madde oranının yüksek olmasıyla açıklanabilir.
- Ortalama ve maksimum geçirimsizlik derinliği azalmaktadır. Bu yüksek oranda homojen dağılımın sonucudur.

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA KULLANILAN DENEY YÖNTEMLERİ

Kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özelliklerini incelemek için aşağıdaki deneyler uygulanır.

1. Çökme yayılma deneyi- TS EN 12350-8
2. V hunisi deneyi- TS EN 12350-9
3. L kutusu deneyi- TS EN 12350-10
4. Elekte ayrışma deneyi- TS EN 12350-11
5. J halkası deneyi- TS EN 12350-12

1. Çökme-Yayıma Deneyi TS EN 12350-8

Çökme - yayılma deneyi geleneksel çökme hunisi ile gerçekleştirilir. Fakat düşey yükseklikten çok yatay yayılma mesafesi ölçülür. Çökme yayılma testi bilinen Abram's konisinden yararlanılarak yapılır. Tamamen düz bir yüzeye yerleştirilen yayılma tablasının yüzeyi nemlendirildikten sonra merkezine Abram's konisi yerleştirilir herhangi bir zorlama, sıkıştırma yapmadan tek işleme beton ile doldurulur. Daha sonra koni tablaya dik yukarı çekilir. T_{500} süresi tayin edilecekse, taze betonun 500 mm çaplı daireye ilk temas etmesine kadar geçen süre kaydedilir.

Beton, yayılma hareketi durduktan sonra, yayılan betonun çapı, birbirine dik olarak iki noktadan ölçülür ve her iki çapın aritmetik ortalaması alınır.

EN 206-12 Taslağı ile kendiliğinden yerleşen betonlar için sınıflandırmalar getirilmiştir. Çökme yayılma 550-650mm arasında ise SF1, 660-750mm arasında ise SF2, 760-850mm arasında ise SF3 ile sınıflandırılmaktadır. EN 206-12 taslağında T_{500} süresi için de sınıflandırma getirilmiştir. T_{500} süresi 2 sn'den az ise VS1, eşit veya büyük ise VS2 sınıfını almaktadır [9,10].



Şekil 5 Çökme-Yayıma Testi Deney Düzenliği

2. V-hunisi Deneyi - TS EN 12350-9

KYB' nin dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacı ile yapılan bir deneydir. Akış hızının belirlenmesi ve gözlem yapılması sureti ile KYB' nin viskozitesi hakkında bilgi veren bu deney yönteminde, belirli aralıklarla belirlenen akış sürelerinin kullanılması sonucu ayırışma direnci hakkında da bilgi edinilmektedir. V şeklinde dikdörtgen kesitli huninin en alt kesitinde betonun akışına izin vermek üzere kullanılan bir kapak bulunmaktadır. Deney düzeneğinin yüzeyleri nemlendirildikten sonra üst yüzeye kadar beton sıkıştırma işlemi yapılmadan doldurulur. Beton alt kapığın açılması ile V hunisinden akmaya başlar. Kapak açıldığı anda, üstten bakıldığında alt kesitte ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre ölçülür. EN 206-12 taslağında V hunisi için de sınıflandırma getirilmiştir. V hunisinden akma süresi 9 s'den az ise VF1, 9-25 sn arasında ise VF2 adını almaktadır [10].

3. L-kutusu Deneyi - TS EN 12350-10

L kutusu deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun, donatılar arasından ve dar açıklıklardan, ayırışma veya blokajlanma olmaksızın akarak geçme yeterliliğinin değerlendirilmesi için kullanılır.

L kutusu iki çubuklu ve üç çubuklu olmak üzere iki çeşittir. Üç çubuklu deney, daha sık donatıyı temsil etmektedir. Ölçülmüş belirli hacimdeki taze beton, düz, düşey donatı çubukları arasındaki boşluklardan yatay şekilde geçirilir. Deney sonunda düşey bölüm içerisindeki (H_1) ve yatay bölüm sonundaki (H_2) beton yükseklikleri ölçülür ve H_2/H_1 oranı belirlenir. Bu oran kendiliğinden yerleşen betonun akarak geçiş veya blokajlanma davranışının bir ölçüsüdür. EN 206-12 taslağında L kutusu için de sınıflandırma getirilmiştir. 2 çubuklu L kutusunda PL (L kutusu ile ölçülen geçiş yeterlilik oranı) değeri 0,80'e eşit veya büyük ise PL1, 3 çubuklu L kutusunda PL değeri 0,80'e eşit veya büyük ise PL2 olarak sınıflandırılır.

4. Elekte Ayırışma Deneyi- TS EN 12350-11

Kendiliğinden yerleşen betonun ayırışmaya karşı direncinin değerlendirilmesi için kullanılır. Kendiliğinden yerleşen beton, numune olarak alındıktan sonra 15 dakika bekletilir. Numunenin belirlenmiş miktardaki üst tabakası, 5 mm göz açıklıklı kare gözlü elek üzerine dökülür. İki dakika sonrasında elekten geçen malzeme miktarı tartılarak kaydedilir. Ayırışma oranı, taze beton numune kütesinin, elekten geçen malzeme kütesine oranı olarak hesaplanır.

15 dakika bekleme süresinin sonunda, numune kabının kapağı açılır ve taze beton üzerinde görülebilir herhangi terleme suyu olup olmadığı kaydedilir.

EN 206-12 taslağında ekte ayırışma için sınıflandırma getirilmiştir. SR (ayırışan beton kısmı) değeri 20'den küçük veya eşit ise SR1, 15'den küçük veya eşit ise SR2 olarak sınıflandırılmıştır.

5. J-Halkası Deneyi

J halkası deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun, donatılar arasından ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan, ayırışma veya blokajlanma olmaksızın akarak geçme yeterliliğinin değerlendirilmesi için kullanılır. Deneyin amacı L kutusu ile benzer özellikler taşır.

Deneyin, dar çubuk aralıklı deney ve geniş çubuk aralıklı deney olmak üzere iki çeşidi vardır. Dar çubuk aralıklı deney, daha sık donatıyı temsil etmektedir.

Deneyde, koni betonla doldurulmadan önce, etrafına düzgün aralıklarla düşey olarak yerleştirilmiş düz çubuklar bulunan J halkasının yerleştirilmesi haricinde çökme yayılma deneyinde tarif edilen işlemler uygulanır.

EN 206-12 taslağında J halkası deneyi için de sınıflandırma getirilmiştir. 12 çubuklu J halkasında PJ değeri 10'a eşit veya küçük ise PJ1, 16 çubuklu J halkasında PJ değeri 10'a eşit veya küçük ise PJ2 olarak sınıflandırılır.

KAYNAKLAR

- [1] Okamura, H., Ouchi, M., 2003 Self Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, Japan Concrete Institute.
- [2] Reknes, K., Petersen, B.G., 2003 Self Compacting Concrete with lignosulphonate based superplasticizer, **3rd International Symposium on SCC**, Reykjavik, Iceland.
- [3] Felekoğlu, B., Önal, O., Özden, G., 2005 Kendiliğinden Yerleşen Betonların Boşluk Yapısının Normal Betonla Karşılaştırılması, **6. Ulusal Beton Kongresi**, İstanbul
- [4] Skarendahl, A., Petersson, O., 2000. Self Compacting Concrete, State-of-the- Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC
- [5] Özkul, M.H., IŞIK., İ.E., Sağlam, A.R., Parlak, N., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Viskozite Düzenleyici Katkı Kullanımı, **6. Ulusal Beton Kongresi**, İstanbul
- [6] Bui, V. K., Montgomery, D., Hinczak, I., Turner, K., 2002. Rapid Testing Method for Segregation Resistance of Self - Compacting Concrete, Cement and Concrete Research
- [7] Demirtaş, M., 2004. Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlar) bileşimin taze ve sertleşmiş betonlara etkisi, **Yüksek Lisans Tezi**, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Borroni, M., Ready-mix Concrete Production and Application Development
- [9] Bartos, Peter. J. M., 2005. Testing - SCC: Towards New European Standards For Fresh SCC, **First International Symposium on Design, Performance and Use of Self Consolidating Concrete SCC**, China, 26 - 28 May 2005, Changsha, Hunan, China
- [10] DRAFT pr EN 206-12- Concrete - Specification, performance, production and conformity