

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN ÖZELİKLERİ

İlker Bekir TOPÇU¹, Turhan BİLİR², Hasan BAYLAVLI³

ÖZET: Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kimyasal katkı kullanılarak yüksek akıcı kıvamda üretilen bir tür özel betondur. Bu tür betonların yerleştirilmesi daha kolay olacağı gibi, işlenebilirlikten doğan hatalar da azaltılmış olur. Daha kaliteli beton ve beton ürünlerinin elde edilmesi kolaylaşır. Bu çalışmada, KYB'nin tarihsel gelişimi, tanımı, avantajları, özellikleri, bu özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler ve kullanım alanları derlenmiştir. Son zamanlarda, dünyada yaygın şekilde kullanılmaya başlanan KYB'nin özelliklerinin iyi bilinmesi beton sektörü açısından yararlıdır.

ANAHTAR KELİMELEER: Akışkanlaştırıcı, Kendiliğinden Yerleşen Beton, Özellikler.

PROPERTIES OF SELF COMPACTED CONCRETE

ABSTRACT: Self compacted concrete (SCC) is a new type of special fluent concrete which is produced by using chemical admixtures. Thus, concrete can be compacted easily and workability losses due to workmanship can be prevented. Additionally, It has become easy to obtain quality concrete and concrete products. In this study, the historical development, identification, advantages, properties, tests for determining mentioned properties and usage fields of SCC are compiled. It is beneficial to know the properties of SCC which is widely used all over the world in recent times.

KEYWORDS: Plasticizer, Properties, Self Compacted Concrete.

^{1, 2, 3} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Dünyada hazır beton sektörünün gelişmesiyle birlikte, sektöre hammadde sağlayan diğer sektörler de bununla birlikte gelişme göstermiştir. Bunlardan en önemlilerinden birisi de katkı sektörüdür. Beton katkıları, temel olarak betonun özelliklerinin iyileştirilip geliştirilmesi ve özellikle çevre koşullarına daha dayanıklı beton üretiminde kullanılmaktadır. Betonda kimyasal katkıları kullanılmaya başlanmadan önce, betonun işlenebilirliğini arttırmak için beton karışımında yüksek su/çimento oranı kullanılmıştır. Bu durum, betonun kalitesini düşürmüştür. 1970'li yılların başında, düşük su/çimento oranında, betonun işlenebilirliğini arttıran, akışkanlaştırıcı veya süper akışkanlaştırıcılar kullanılmaya başlanmıştır [1-3]. 1986 yılında Tokyo Üniversitesi'nde, kendiliğinden yayılabilen ve sıkışan beton üzerinde araştırmalar yapılmaya başlanmış ve böylece KYB tasarımının ilk adımları atılmıştır [4-6].



Şekil 1. Yüksek akıcılıkta kendiliğinden yerleşen beton.

1994 yılında Bangkok’da yapılan ACI çalıştayından sonra, birçok araştırmacı KYB üzerinde çalışmaya başlamıştır [7,8]. 1990 yılında İsveç karayolu yapılarında KYB kullanılması Avrupa’daki ilk örnekleridir. 1996’da New Orleans’da ACI Sonbahar Kongresi’nde, KYB ile ilgili bildirimlerin yayınlanmasıyla, Amerika ve Kanada’da KYB daha fazla kullanılır olmuştur. 1997 yılından sonra Avrupa Birliği de KYB kullanımını arttırmayı hedefleyen çalışmalar başlatmıştır [9,10]. 2005 yılında, Uluslararası Prefabrike Beton Üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) ve Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) birleşerek ortak bir şartname hazırlamışlardır [11]. KYB ile ilgili yapılmış araştırmalar, sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır [8].

II. KYB’NİN TANIMI

KYB’ler yüksek akıcılıkları sayesinde yerine, işlenebilirliğini kaybetmeden kolay bir şekilde yerleştirilebilen betonlar olarak tanımlanmaktadır. KYB’nin yüksek bir akıcılığa sahip olması gerekmektedir. Yüksek akıcılık sağlanırken, ayrışma ve su kuma (terleme) olayları gerçekleşmemelidir. Yüksek akıcılık süper akışkanlaştırıcılar ile sağlanır. Betonun kararlılığını bozmamak önemlidir. Bunun için, ince malzeme miktarını arttırmak ve/veya viskozite arttırıcı maddeler kullanılır. KYB’ler düşük su/çimento oranında, yüksek dayanıma ve üstün kalıcılığa sahip betonlar olduğu için, yüksek dayanımlı betonlar sınıfına girerler [12,13]. KYB’nin iki temel özeliği vardır. Bunlar, kalıpları doldurma yeteneği ve yüksek ayrışma direncidir. Kalıpları doldurma yeteneği, süper akışkanlaştırıcılar ile sağlanır. Yüksek ayrışma direnci ise, ince malzeme miktarının yüksek tutulması ve viskozite düzenleyici bir katkıyla sağlanabilir [13]. Böylece daha dolu ve homojen bir beton elde edilebilmektedir.

III. KYB’NİN AVANTAJLARI

KYB’nin yerleştirilmesi için vibrasyon uygulanmamaktadır. Bu nedenle, beton dökümü sırasında çalışanların etkisinde kaldıkları gürültü ve titreşim miktarı düşmektedir. Prefabrik imalat yapan tesislerde üretimi kolaylaştırır. Yoğun ve sık

donatılar arasında kolaylıkla akar ve boşluksuz olarak yerleşir. Betonun demir donatıyı çok iyi sarması ve boşluksuz bir yapı oluşturması dayanıklılığını artırır. Özellikle, depremde zarar görmüş binaların güçlendirilmesinde, tek bir noktadan döküm yapıldığında kalıp içerisinde, kendiliğinden yerleşmesi ve yükselmesi güçlendirme projeleri için çok iyi bir çözüm yöntemidir. Yerleştirme sırasında işçilikten kaynaklanan uygulama hatalarını ortadan kaldırır. Klasik betonlara göre daha geçirimsiz olduğundan, dayanıklılık açısından yapıların çok daha avantajlı bir duruma gelmesini sağlamaktadır. Betona şantiyede işlenebilirliği arttırmak için su katılması bir risktir ve KYB bu riskin oluşmasını engeller. Ayırışmayı önler. Hava kabarcıksız ve düzgün yüzeyli homojen beton elde edilir. Zamandan ve paradan büyük tasarruf ve iyi bir çalışma ortamı sağlar. Bir yapıda, döşeme ve düşey elemanların üretimi geleneksel betonla üretime göre, KYB ile 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleşmektedir [14].

IV. DENEY YÖNTEMLERİ

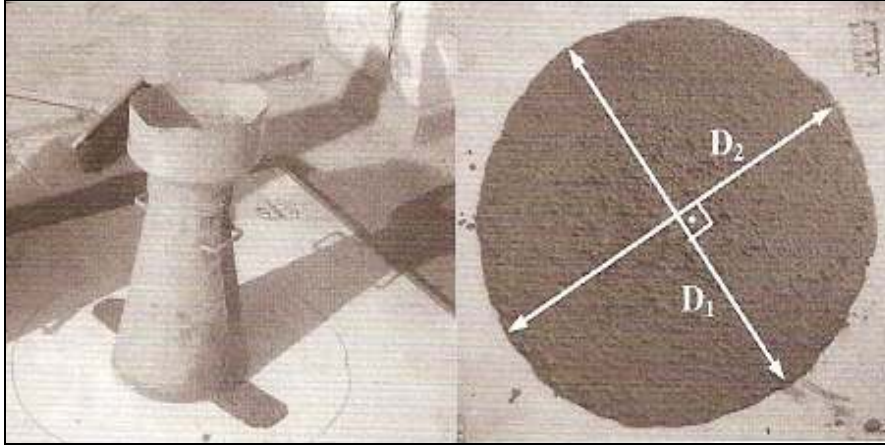
Laboratuvar koşullarında KYB için gerekli deneyler taze betonun akışkanlığını, ayırışmasını, yerleşmesini ve sıkışmasını incelemek için yapılır. Taze betonların işlenebilmesinin belirlenmesinde, klasik işlenebilme deneyleri yetersiz kalmaktadır. Bu parametrelerin ölçülmesi için bazı deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu deney yöntemlerine göre kabul edilebilir sınır değerler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney yöntemleri ve kabul edilebilir sınır değerler [15].

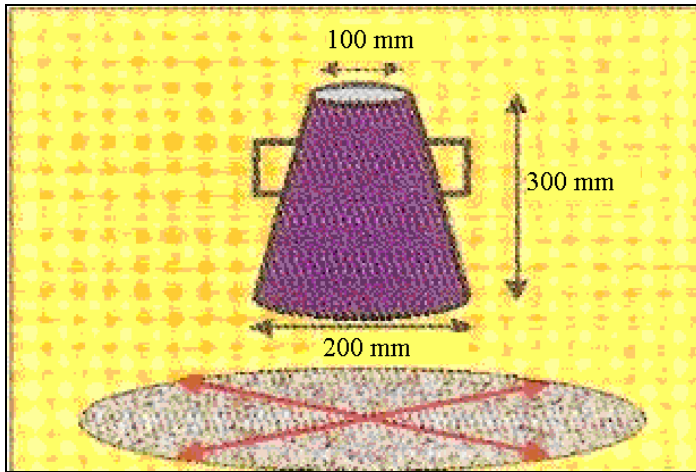
Deney yöntemi	Ölçülecek özellik	Birim	Sınır değer	
			En küçük	En büyük
Yayıлма tablasında yayılma	Doldurma yeteneği	mm	650	800
Yayıлма tablasında ilk 50 cm yayılma için geçen süre	Doldurma yeteneği	sn	2	5
V-hunisi	Doldurma yeteneği Ayrışmaya karşı direnç	sn	6	12
U-kutusu Yükselme miktarı ölçümü (H)	Geçme yeteneği	mm	30	-
Doldurma kutusu	Geçme yeteneği	%	90	100

IV.1. Çökme-Yayılma (Slump-Flow) Deneyi

Taze KYB'nin şekil değiştirme hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini içerir. Deney aparatı olarak çökme (Abrams Konisi) hunisi ve 80 x 80 cm boyutlarında bir tabla kullanılır (Şekil 2,3) [15,16].



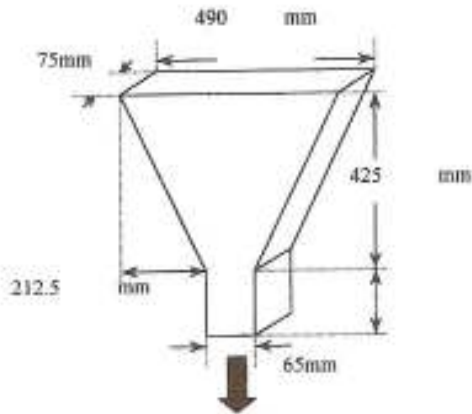
Şekil 2. Çökme-yayılma deneyi yapılışı.



Şekil 3. Çökme yayılma deney aparatı.

Betonun “doldurma yeteneğini” ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Yayılma tablası üzerine konulan Abrams Konisi içerisinde, beton şişleme yapılmadan dondurulduktan sonra, Abrams Konisi yukarıya çekilerek betonun herhangi bir sarsma yapmadan kendi ağırlığı ile yayılması beklenir. Yayılma çapları iki farklı noktadan ölçülür (Şekil 2). Bir betonun KYB olarak kabul edilebilmesi için Abrams Konisinde deney yapılarak elde edilen yayılmasının 550 ile 850 mm arasında olması gerekmektedir [2,11]. EFNARC’a göre bu yayılma değeri 650 ile 800 mm arasında olmalıdır. Ancak, KYB’nin kullanım alanının genişletilebilmesi için, Avrupa KYB şartnamesinde bu değer arttırılmıştır [2,11].

VI.2. V Hunisi (Akma Değerlendirme) Deneyleri:

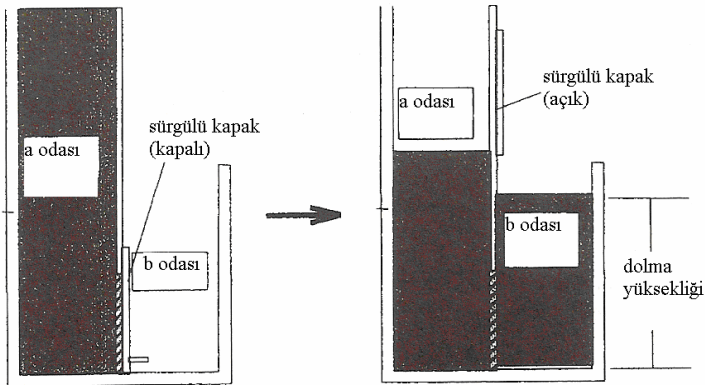
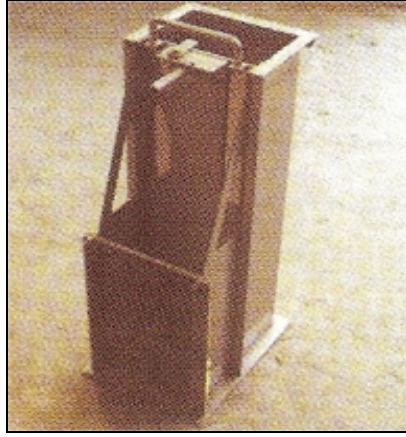


Şekil 4. V hunisi deney aparatı.

KYB'nin birim zamandaki yayılması değerlendirilir. Taze KYB'nin kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağızından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Betonun boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deneyidir. Deney, KYB'nin viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Bu deney için, Şekil 4'te gösterilen özel bir huni kullanılır. Huniye taze KYB, hiçbir sıkıştırma ve vibrasyon uygulanmadan doldurulduktan sonra, huninin altındaki sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun alttaki kovayı doldurma süresi kaydedilir [16,17]. KYB'nin akma değerlendirme değerini test etmek için ise, slump deneyinde kullanılan Abrams hunisinin içine taze KYB doldurulur. Huninin etrafında 50 cm çapında bir daire çizilir. Huni kaldırılır ve betonun 50 cm çapındaki daireye ulaşma süresi kaydedilir [2,17]. Betonun akış hızı ne kadar yüksek olursa, betonun ayrışma riski de o kadar fazla olur [11,18].

IV.3. U Kutusu Deneyi

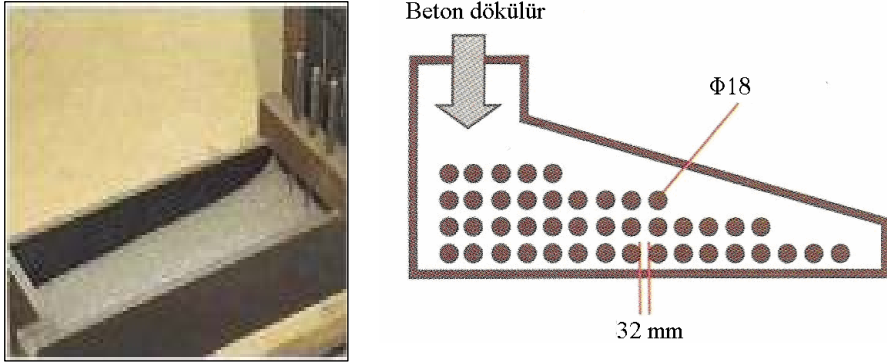
Taze KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin ve numunenin özel bir kutu içerisinde, kendi ağırlığı ile yükselmesini içerir. U şeklinde, alt ortasında sürgülü bir kapak olan ve aynı zamanda engel oluşturan demir çubuklar bulunan bir kutu kullanılır (Şekil 5). KYB herhangi bir sıkıştırma ve vibrasyon uygulanmadan doldurulduktan sonra, beton 1 dakika dinlendirilir. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme doğru dolarak yükselmesi beklenir. Her iki bölmedeki beton yüksekliklerinin farkı betonun geçme yeteneğini gösterir. Yükseklik farkının en fazla 30 cm olması istenir. Deney süresi 5 dakikadır. Donatı çapları ve açıklıkları projeye uygun seçilebilir [11,15,16].



Şekil 5. U kutusu deney aparatı.

IV.4. L Kutusu Deneyi

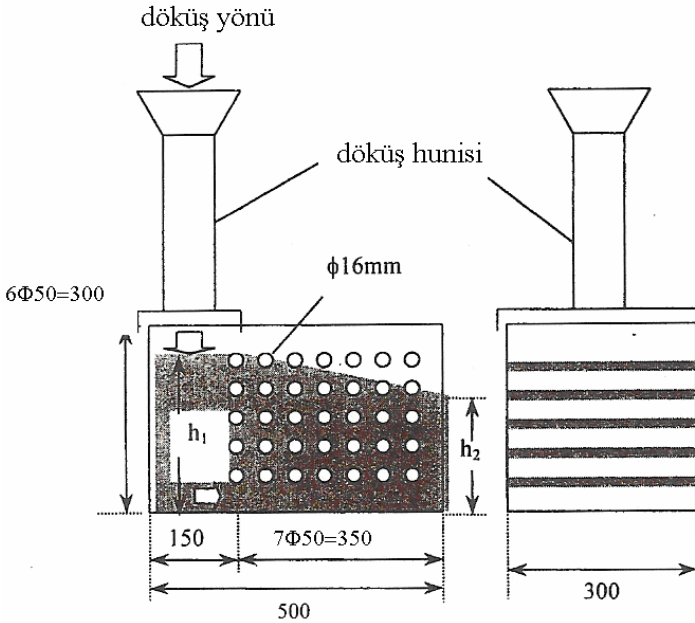
Taze KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin, L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini içerir (Şekil 6). Kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel oluşturan demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm ilerleme süreleri ölçülür. İki taraftaki yükseklik farkı belirlenir [15,16].



Şekil 6. L kutusu deney aparatı ve detayı.

IV.5. Doldurma Kutusu Deneyi

KYB'nin akış hareketinin ve özel şeffaf bir kutu içerisinde yükselme yeteneğinin gözlenmesini içerir. Bu deneyde Şekil 7'de kullanılan şeffaf ve içinde engeller bulunan bir kutuya KYB boşaltılarak iki ucundaki yükseklik farkı ölçülür.



Şekil 7. Doldurma kutusu deney aparatı.

V. KYB'DE KULLANILAN MALZEMELER

KYB'de kullanılacak malzemelerin özellikleri, genel olarak TS EN 206-1 standardında belirtilen koşullara uygun olmalıdır [19].

V.1. Çimento ve Karışım Suyu

Geleneksel betonda kullanılan Normal Portland Çimentoları, KYB üretiminde de kullanılabilir. Ancak bazı çimentolarla, KYB üretimi daha başarılı olabilmektedir. Bu konuda yapılan bir çalışmada TÇ 32.5 ve PZÇ 32.5 çimentolarının kendiliğinden yerleşen beton katkılarının ilk kuşak türleri ile uyumsuzluk gösterdiği görülmüştür [20,21]. KYB'de kullanılacak çimento TS EN197-1'deki standartlara uygun olmalıdır [22]. Bünyesinde Al_2O_3 miktarı % 10'un üzerinde olan çimentolar, çalışma süresinin kısalmasına neden olur [22]. Karışım suyu TS EN 1008'e uygun olmalıdır [23].

V.2. Agregası

Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB'de de kullanılabilir. Ancak en büyük agrega boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür ve genellikle 20 mm'nin altındadır. Tane boyutları uygulama yapılacak yere göre değişmektedir. Ayrıca geleneksel betondan farklı olarak kum oranı artmış, buna karşılık iri agrega miktarı azalmıştır. KYB'de kullanılacak agregaların özellikleri, agrega standartlarına (TS EN 12620) uygun olmalıdır. Agregası içinde bulunan ve tane boyutu 0.125 mm'nin altında olan malzemeler tasarımda ince malzeme miktarına katılmalıdır [24].

V.3. Süperakışkanlaştırıcı Katkı

KYB katkıları ilk olarak Japonya'da sualtı uygulamaları için geliştirilmiştir. Özellikle yeni nesil katkıları; betonun, yüksek akıcılık, yüksek ayrışma direnci ve yüksek doldurma kapasitesi gibi özelliklerini artırır. Yüksek oranda su kesici özeliğe sahip ve molekül ağırlığı yüksek olan bir kimyasal katkı kullanılabilir. Bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler yaygın kullanılan katkılarıdır [25]. Süperakışkanlaştırıcı katkı, KYB'nin çalışma süresinin ayarlanmasındaki asıl bileşendir. KYB'de kullanılacak katkı, TS EN 934-2'ye uygun olmalıdır [26]. Bu nedenle, kimyasal katkı olarak, erken dayanım kaybı oluşturmayacak (geciktirici özellikli olmayan) ve aynı zamanda, betona en az bir saat çalışma süresi özeliği katabilen bir katkı

seçilmelidir. KYB tasarımında kullanılacak katkının miktarı belirlenirken ince malzeme (toz) miktarı dikkate alınmalıdır. Kullanılan ince malzemenin miktarı ve mineralojisindeki değişimler, ayrışma, kuma ve dayanımında düşüklük gibi olumsuzluklara neden olabilirler [11].

V.4. Viskozite Arttırıcı Katkı

Bu maddeler suyun viskozitesini artırarak, ayrışma ve terlemeyi azaltan, betonun kararlılığının bozulmasını sağlayan ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını gerçekleştiren maddelerdir. Viskozite arttırıcı katkıları (VAK), suda çözünen polimerik maddeler, nişasta ve doğal zambak (sakız) gibi doğal polimerler, ayrılmış nişasta, selüloz eter türevleri, yarı sentetik polimerler, etilen ve vinil kökenli sentetik polimerlerdir [21]. Bunlar, ayrışmayı yok etmek için katılabilir. Ancak, iyi bir tasarımla viskozite ayarlayıcıya gereksinim duyulmadan da KYB üretilebilir.

V.5. Hava Sürükleyici Katkı

Betonu, donma-çözünmeye karşı dayanıklı hale getirmek için kullanılabilir. Eğer kullanılacaksa TS EN 934-2 standardına uygun bir katkı olmalıdır [26].

V.6. Mineral Katkı

Mineral katkı, betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona özel nitelikler kazandırmak amacıyla kullanılan ince öğütülmüş bir malzemedir. Avrupa KYB şartnamesinde, inorganik iki tip mineral katkı tarif edilmiştir. Bunlar, Tip-1 (inert kabul edilebilir mineral katkıları) ve Tip-2 (Puzolanik veya gizli hidrolik çimento benzeri etki gösteren mineral katkıları) olarak sınıflandırılırlar. Tasarıma bağlı olarak aşağıdaki mineral katkılardan biri veya bir kaçını KYB için kullanılabilir. Filler Tozu, TS EN 12620'ye uygun olmalıdır. İnce kırma taş, dolomit veya granit tozu, tasarımda gereksinim duyulan 0.125 mm'den küçük ince malzeme miktarını sağlamak için kullanılabilir. Dolomit alkali, karbonat reaksiyonuna neden olacağı için risklidir. Uçucu Kül, Puzolanik özellikli, ince inorganik bir malzemedir. TS EN 451'e uygun olmalıdır [27]. KYB'nin özelliklerini geliştirmek için kullanılabilir. Kullanımından önce mutlaka standarda uygunluğu kontrol edilmelidir. KYB'de kullanılacak silis dumanı, TS EN 13263 standardına uygun olmalıdır. Betonun mekanik özelliklerini arttıracığı gibi, kimyasallara da dirençli hale getirerek, beton dayanıklılığına olumlu yönde etki eder [15,28,29].

VI. TAZE BETON ÖZELİKLERİ

KYB'nin performansı ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. KYB'nin doldurma yeteneği, ayrışma direnci ve geçiş yeteneği (donatılar arasında) taze beton özelliklerini taşıması gerekir [13,16,30].

VI.1. Doldurma Yeteneği

KYB kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve şekil değiştirme özeliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (şekil değiştirme hızı) kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile, betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile, söz konusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, şekil değiştirme kapasitesi ile şekil değiştirme hızı arasında bir denge olmalıdır. Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcıyı da içeren katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması yararlıdır ancak yeterli değildir. Çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'nin engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir. Uygun doldurma yeteneği için çimento hamuru fazının şekil değiştirme yeteneğinin artırılması ve tanecikler arası sürtünmenin azaltılması gerekmektedir [16]. Bunun için, süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı, dengelenmiş su/bağlayıcı oranı, düşük kaba agrega hacmi (yüksek çimento hamuru fazı içeriği), kullanılan agrega ve çimentoya göre uygun granülometrisi dikkate alınmalıdır.

VI.2. Ayrışmaya Karşı Direnç

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerin, homojen olmaksızın dağılarak, yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. Normal akışta ayrışma göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda ayrışmaya uğrayabilir. KYB gerek durağan, gerekse akış halinde terleme, çimento hamuru fazı ve agrega ayrışması, kilitlenme neden olan kaba agrega ayrışması ve hava boşluğu dağılımında düzensizlik tipi ayrışmaları göstermemelidir [16,31]. Katkı maddelerinin ayrılmasını azaltmak için, sınırlı agrega içeriği, azaltılmış en büyük agrega tane çapı, düşük su/bağlayıcı oranı veya viskozite arttırıcı bir çözüm olarak seçilebilir. Serbest terlemenin en düşük hale getirilmesi için ise düşük su içeriği,

düşük su/bağlayıcı oranı, viskozite arttırıcı veya yüksek yüzey alana sahip bağlayıcılara gereksinim vardır.

VI.3. Geçiş Yeteneği

KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrışmaya karşı dirence sahip olduğunda etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ayrıca bir gereksinim daha doğmaktadır ki, bu da kaba agregaların kilitlenmesidir. En iyi doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB'de, agregata tane çapı çok büyükse ve iri agregaların içeriği çok yüksekse kilitlenme riski vardır [16,32]. Uygun geçiş yeteneği için, agregata ayrışması azaltılmalı ve uygun iri agregata kullanılmalıdır.

VII. DAYANIKLILIK ÖZELİKLERİ

KYB'nin kuruma rötresi PZÇ ve TÇ ile üretilmiş betonlardan 4-5 kat daha azdır. Ayrıca, KYB'nin 3 yıl sonundaki karbonatlaşması geleneksel betona göre daha az olmaktadır. Kılcal, basınçlı su ve hızlı klor geçirimsizliği geleneksel betona göre daha düşük olmaktadır. KYB geçirimsiz ve dayanıklılığı yüksek bir tür özel betondur. Düşük su/bağlayıcı oranı ve bununla birlikte karışımda kullanılan diğer malzemelerin bu sonucun ortaya çıkmasında etkili olduğu söylenebilir [20].

VIII. TASARIM YÖNTEMİ

Karışım tasarımı yöntemleri ve kendiliğinden yerleşebilirlik deney yöntemleri araştırmaları, KYB'yi standart beton haline getirmiştir. EFNARC, 2002 yılında KYB ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren "Specification and Guidelines for SCC" isimli dokümanı yayınlamıştır [16,29]. Burada verilen tasarım yöntemi, önerilen bir tasarım yöntemidir. Yayılabilme özeliğini 65–80 cm sağlayabilmek, işlenebilirliğini en az bir saat koruyabilmek, bunları yaparken de betonun ayrışmasını ve terlemesini engellemek tasarımın en önemli hedefleridir. Hacimsel olarak, KYB'nin % 50'si harç ve % 50'si kaba agregadan oluşmalıdır. % 50'lik harç kısmında % 30'u çimento, % 30'u su ve % 40'ı ince agregadan oluşmalıdır. Düşük su/çimento oranı elde edebilmek ve uzun süreli işlenebilirlik için, polikarboksilik eter esaslı hiper

akışkanlaştırıcı katkıları kullanılabilir. Bu tasarım yöntemine göre önerilen malzeme miktarları Çizelge 2'deki gibidir.

Tasarımda, geleneksel betona göre agrega granülometrisinde, kaba-ince agrega oranı azaltılmalıdır. Bağlayıcı miktarı da arttırılmalıdır. Bundaki amaç, her kaba agrega tanesinin, bir kat harç (çimento, kum ve su) ile sarılmasının sağlanması ve betonun kendi ağırlığı ile hareket edebilmesinin sağlanmasıdır. KYB teknolojisinde çimento ve su bileşimi (pasta) agregaları taşımak için bir araçtır. Bu durumda, çimento pastasının hacmi agreganın hacminden fazla olmalıdır, böylelikle her agrega tanesi pasta ile sarılır ve etrafındaki çimento pastası ile betonun kendi ağırlığı hareket ederek akıcılığı sağlanır. Bu özelliklerin sağlanabilmesi için, geleneksel betonlarda kullanılan agrega granülometrisindeki kaba agregadan daha az oranda kullanılmalıdır. Pasta miktarı da arttırılarak, Yeni Nesil Süper Akışkanlaştırıcı (YNSA) kullanılmalı ve düşük su/toz oranı sağlanmalıdır. KYB'nin hareket etkisini sağlayabilmek için YNSA kullanım dozajı geleneksel betonda gereksinim duyulan kullanım miktarından biraz fazla olmalıdır. Agrega granülometrisinde ise betonun hareketini sağlayacak kadar ince malzeme sağlanamazsa YNSA ile birlikte viskozite düzenleyici katkıları kullanılmalıdır [2,11,17]. Bu durumda, Çizelge 3'deki tasarım yaklaşımları kullanılabilir.

Çizelge 2. Tasarım yönteminde göre önerilen malzeme miktarı [15].

İnce malzeme miktarı (< 0.125mm)	400-600 kg/m ³
Kum miktarı (0.125-4 mm)	Yaklaşık olarak harç hacminin % 40'ı
Kaba agrega miktarı (D _{max} = 15 mm)	Yaklaşık olarak gerçek birim ağırlığının % 50'si
Uçucu kül miktarı	Yaklaşık olarak çimento + Uçucu kül hacminin % 40'ı
Su/Toz oranı	0.9-1.0 (Hacimsel olarak)

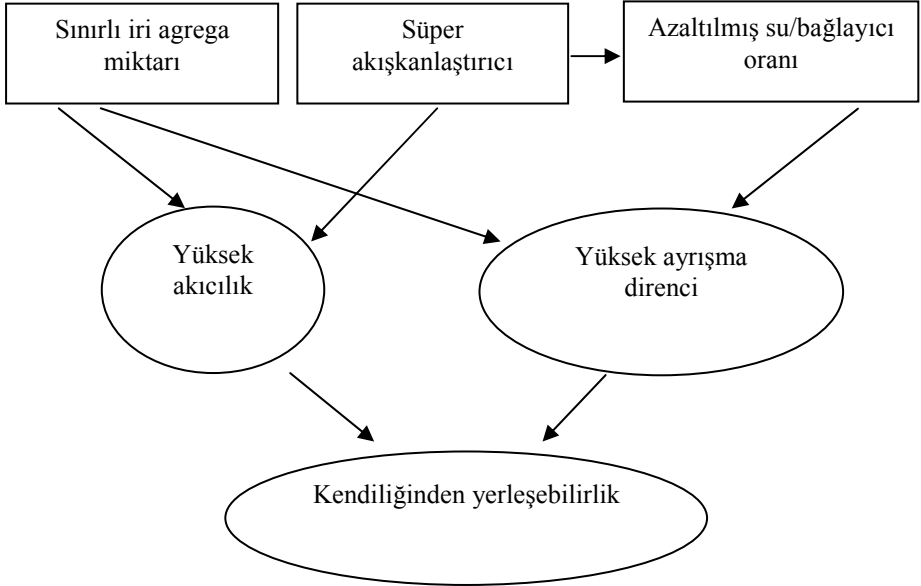
KYB'nin iyi bir performans gösterebilmesi için gereken nitelikler Şekil 8'de şematik olarak gösterilmektedir. Sınırlı iri agreganın içeriği hacmi, agreganın tanelerinin çarpışmasını azaltmakta, geçiş yeteneği sağlamakta ve geri kalan çimento hamuru fazı hacmini arttırmakta, düşük su/bağlayıcı oranı ve süper akışkanlaştırıcı katkı ise akıcılığı ve ayrışma direncini sağlamaktadır [16,30].

Çizelge 3. Avrupa KYB şartnamesi beton tasarım yaklaşımı [11].

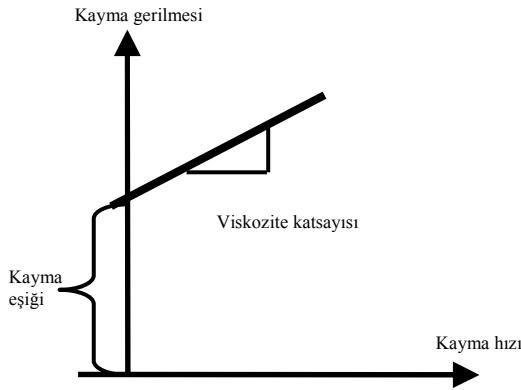
Bileşen	Tipik kütlece aralık (kg/m ³)	Tipik hacimsel aralık (kg/m ³)
Toz	380 – 600	300 – 380
Pasta		150 – 210
Su	150 – 210	270 – 360
Kaba agregası	750 – 1000	
İnce agregası	1 m ³ 'te geri kalan hacmi doldurmalıdır, toplam agreganın ağırlığının % 48 ile % 55'idir.	
Su /toz oranı		0.85 – 1.10

Avrupa KYB Şartnamesine göre hiçbir mineral katkı kullanılmadan 380 kg çimento ile KYB yapılabileceği gibi 600 kg toplam ince malzeme ile de yapılabilir. Kullanılan kaba agregası için üst sınır verilmemesine rağmen, üst sınır 16 mm alınarak betonun yerleşme ve geçme özellikleri arttırılacaktır [2,11,25]. Su miktarı, toz miktarı ve su/bağlayıcı oranı seçilen YNSA tipine göre değişir. Yukarıda bahsedilen tasarım yaklaşımları, yüksek oranda çimento kullanımını gerektirebilir. Böyle bir tasarım ile kalınlığı yüksek (60 cm'den fazla) elemanların dökümünde iç ısı yükselebilir. Bu durumu engellemek için reaktif ve inert mineral katkı kullanılmalıdır [33-40]. Böylece, çimento miktarı olabildiğince düşük oranlarda tutularak, betondaki ısı yükselmesi, çatlaklara neden olmayacak şekilde düzenlenmelidir [1,2,11,17,18,33,34]. Bu nedenle, çatlak oluşumunu önlemek için KYB üretiminde lifler de kullanılmaktadır [41]. Çelik lifler, yayılma kayıplarının diğer türdeki liflere göre daha az olması nedeniyle tercih edilmektedirler [41]. Tasarımda kullanılan reolojik modelde, beton Bingham sıvısı olarak kabul edilerek

dönme hızı ile dönme momenti arasında doğrusal bir ilişki kurulur [42]. Dönme momentinden kayma gerilmesine ve dönme hızından kayma hızına geçilirse Şekil 9'daki reolojik değişkenler elde edilir [42]. Doğrunun eğimi viskozite katsayısını, düşey eksen kestiği noktanın merkez noktasına uzaklığı ise kayma eşiğini verir. KYB tasarımında reolojik değişkenler dikkate alınır, KYB'nin şekil değiştirme özeliği kazanması için kayma eşliğinin küçük ve ayrışma olmaması için viskozitenin azalmaması gereklidir [40].



Şekil 8. KYB'nin bileşim özellikleri [16,30].



Şekil 9. Bingham sıvısının reolojik parametreleri [42].

IX. KYB’NİN KULLANIM ALANLARI

KYB’nin; prefabrik, hazır beton, döşemeler, duvarlar, kolonlar, kirişler, mimari paneller, cephe elemanları, geniş yapı elemanları, saha betonları, detaylı kalıplar, karmaşık şekilli kalıplar, sık donatılı ve dar kesitli betonarme yapılarda kullanılırlar. Bazı KYB uygulamaları Şekil 10’da görülmektedir.



Şekil 10. KYB’nin prefabrikasyonda uygulanması.

X. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hazır beton üreticileri ve tüketicileri için beton dökümü, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması zor bir iştir. Kesitin doğru bir şekilde doldurulmasını sağlamak için yeterli sıkıştırma ve dökülen betonun homojenliğini sağlamak için kaliteli işçilik ve sıkı kontrol gerekmektedir. Betonda istenen işlenebilirlik, inşaatın tipine, seçilen yerleştirme ve sıkıştırma yöntemlerine, kalıbın karmaşık şekline ve donatının sıklık derecesini etkileyen yapısal tasarım detaylarına bağlıdır. KYB’nin avantajlarının net bir şekilde görülebilmesi için, tasarımın doğru yapılması gerekmektedir. Doğru tasarım için, karışımda kullanılan malzemeler belirtilen standartlarda olmalıdır. Uygulamayı yapan işçilerin eğitilmiş olması gerekmektedir. KYB, çok akıcı bir kıvamda olduğundan, kullanılacak kalıp sistemleri özenle seçilmelidir. Kalıp destekleri düzgün ve yeterli olmalıdır. Özellikle parçalı kalıp kullanılacaksa, kalıp birleşim noktalarından betonun akmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

KYB’nin kullanımı, dünyada her geçen gün artmaktadır. Birçok uygulama alanında, geleneksel betonun yerini hızla almaktadır. Yerleştirme kolaylığı sonucunda işgücü

maliyetinin düşürülmesi gibi avantajlarından dolayı, daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle karmaşık kalıplarda, dar ve sık donatılı kesitlerde, yerleştirme ve sıkıştırmanın zor olduğu yüksek perde duvarlarında, geniş yüzeyli döşemelerin üretiminde ve prefabrik sektörlerindeki uygulamalarında, çok büyük kolaylık sağlayacaktır. Büyük bir bölümü deprem kuşağında olan ülkemizdeki KYB kullanım alanları, dünyadaki kullanım alanlarına göre çok daha düşüktür. 1998 yılında çıkarılan yeni Afet Yönetmeliği kapsamında, yapılardaki donatı miktarı artırılmış ve kesitler küçültülmüştür. Bu durum, geleneksel betonun yerleştirilmesini ve sıkıştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bunu önlemek için tüketicilerin bilinçlendirilmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- [1] Ç. Özyıldırım and D.S. Lane, "Investigation of Self Compacting Concrete", Transportation Research Board 2003, Washington, USA.
- [2] "The European Guidelines for Self Compacting Concrete Specification, Production and Use", Self-Compacting Concrete European Project Group, www.efnarc.org, 2005.
- [3] H. Okamura, M. Ouchi, "Self Compacting Concrete: Development, Present Use and Future", In Self Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium, A. Skarendahl, O. Petersson, Eds. RILEM Publications, Cachan Cedex, France, 1999.
- [4] K. Ozawa, K. Maekawa, M. Kunishima, H. Okamura, "Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures", In Proceedings of the Second East-Asia and Pasific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Vol. 1, January 1989, pp. 445-450.
- [5] K. Ozawa,, S. Tagtermsirikul, and K. Maekawa, "Role of Materials on the Filling Capacity of Fresh Concrete", In Proceedings of the Fourth CANMET and ACI International Conferenceon Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, American Concrete Institute, May 1992, pp. 212-137.
- [6] J. Bickley, K.H. Khayat, M. Lessard, "Performance of Self Consolidating Concrete for Casting Basament and Foundation Walls", ACI Materials Journal, Vol. 97, No.3, pp. 374-380, 2000.

- [7] H. Okamura, M. Ouchi, "Self Compacting Concrete Development, Present and Future", Proceeding of 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Sweden, 1999.
- [8] J. Walraven, "Structural Aspects of Self Compacting Concrete", Proceeding of 3rd International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland, 2003.
- [9] M. Ouchi, "History of Development and Applications of Self-Compacting Concrete in Japan", Proceedings of the First International Workshop on Self-Compacting Concrete, 1998.
- [10] N. Bouzoubaa, M. Lacllemi, "Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly ash Preliminary Results", Cement and Concrete Research, Vol.31, No.3, pp. 413-420, 2001.
- [11] O. Duyar, "Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri", THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 75, ss. 46-52, 2006.
- [12] H. Okamura, "Self-Compacting High-Performance Concrete", Concrete International, Vol.19, No.7, pp. 50-54, 1997.
- [13] M.H. Özkul, "Beton Teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton", THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 52, ss. 64-71, 2002.
- [14] W.J. Semioli, "Self-Placing Concrete", Concrete International, Vol. 23, No.12, pp. 69-72, 2001.
- [15] G. Aykan, G. Gürol, O.O. Tezel, Z. Yüceer, "Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Metodları ve Uygulama Örnekleri", Hazır Beton Kongresi, 2004, İstanbul, Bildiriler Kitabı, ss. 266-276.
- [16] H. Gürdal, Z. Yüceer, "Türkiye’de ve Dünya’da Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları", Hazır Beton Kongresi, 2004, İstanbul, Bildiriler Kitabı, ss. 244-254.
- [17] "Specification and Guidelines for Self Compacted Concrete", Efnarc Association, Fernham UK, 2002.
- [18] "Advanced Concrete Technology Training Course Notes", Degussa Educational Seminars, Treviso, Italy, 2005.
- [19] TS EN 206-1/A2, "Beton - Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.

- [20] M.H. Özkul, Ü.A. Doğan, İ.E. Işık, A.R. Sağlam, N. Parlak, “Kendiliğinden Yerleşen Beton: Temel İlkeler ve Özellikler”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 74, ss. 54-61, 2006.
- [21] A. R. Sağlam, N. Parlak, Ü. A. Doğan, M. H. Özkul, “Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu”, Hazır Beton Kongresi, 2004, İstanbul, Bildiriler Kitabı, ss. 213-224.
- [22] TS EN 197-1/A1, “Genel Çimento Bileşimi, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2005.
- [23] TS EN 1008, “Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneylemler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [24] TS 706 EN 12620, “Beton Agregaları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [25] A.Ü. Doğan, M.H. Özkul, “Kendiliğinden Yerleşen Beton Katkılarının Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkileri”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 47, ss. 62-69, 2001.
- [26] TS EN 934-2/A2, “Beton Katkıları-Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [27] TS EN 451-2, “Betonda Kullanılan Uçucu Kül-Özellikler-Tarifler-Kalite Kontrolü”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [28] TS EN 13263-2, “Silika tozu - Betonda kullanım için - Bölüm 2: Uygunluk değerlendirmesi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [29] O. Duyar, “Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Yöntemleri ve Mühendislik Özellikleri”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 75, ss. 46-52, 2006.
- [30] “Self Compacting Concrete”, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, Edited by A. Skarendahl, Ö. Petersson, RILEM Publication, 2003.
- [31] W. Zhu, P. J. M. Bartos, “Permeation Properties of Self-Compacting Concrete”, Cement and Concrete Research, Vol.33, No.6, pp. 921-926, 2003.
- [32] SCC Applications, Heidelberg Cement Technology Center Publication, Germany, 2001.

- [33] M. Sonebi, P.J.M. Bartos, W. Zhu, J. Gibs, A. Tamimi, "Self Compacted Concrete Properties of Hardened Concrete", Brite Eurm Proposal No. BE96-3801, 2000.
- [34] B. Felekođlu, S. Türkel, B. Baradan, "Effect of Water/cement Ratio on the Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete", Building and Environment, Vol.42, No.4, pp. 1795-1802, 2007.
- [35] B. Felekođlu, K. Tosun, B. Baradan, A. Altun, B. Uyulgan, "The Effect of Fly Ash and Limestone Fillers on the Viscosity and Compressive Strength of Self-Compacting Repair Mortars", Cement and Concrete Research, Vol.36, No.9, pp. 1719-1726, 2006.
- [36] B. Felekođlu, "Optimization of Self-Compacting Filling Grout Mixtures for Repair Purposes", Construction and Building Materials, In Press, Corrected Proof, 2006.
- [37] İ.B. Topçu, "Yapı Malzemeleri ve Beton", Şahvar Ofset A.Ş., Eskişehir, 2006.
- [38] İ.B. Topçu, "Beton Teknolojisi", Uđur Ofset A.Ş., Eskişehir, 2006.
- [39] İ.B. Topçu, T. Uygunođlu, O. Ünal, "Investigation of Properties of Self-Compacting Semi-Lightweight Concrete", TÇMB, 3rd International Symposium "Sustainability in Cement and Concrete", 2007, İstanbul, Turkey, pp. 833-844.
- [40] İ.B. Topçu, O. Ünal, T. Uygunođlu, "Kendiliğinden Yerleşen Yarı-Hafif Betonların Özelliklerinin Araştırılması", 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi, 2007, Milli Kütüphane, Ankara, ss. 181-193.
- [41] M.A. Taşdemir, Ö. Şengül, E. Şamhal, M. Yerlikaya, "Endüstriyel Zemin Betonları", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayını, İstanbul, 2006.
- [42] M.H. Özkul, "Kendiliğinden Yerleşen Betonun Genel Özellikleri", Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 24-25 Mart 2005, Ankara, Bildiriler Kitabı, ss. 119-136.

