

**DOLGU MADDESİ ORANININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Havva BAKIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2011
ANKARA**

Havva BAKIR tarafından hazırlanan “DOLGU MADDESİ ORANININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” adlı bu tezin, Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

.....

Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Metin ARSLAN

.....

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

.....

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. İ. Özgür YAMAN

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Tarih: 23 / 02 / 2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Havva BAKIR

DOLGU MADDESİ ORANININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Havva BAKIR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2011

ÖZET

Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen beton (KYB) özelliklerine dolgu maddesi oranının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla KYB üretiminde toz malzeme olarak taş tozu ve kimyasal katkı olarak hiperakışkanlaştırıcı (HA) kullanılmıştır. KYB karışımlarında %0,60, %0,75 ve %1,00 HA katkı oranları kullanılarak toplam 8 adet KYB üretilmiştir. Üretilen bütün KYB’lerde bağlayıcı madde miktarı ve s/ç oranı sabit tutulmuştur. Üretilen taze KYB’ler üzerinde birim hacim ağırlık, T_{50} süresi, yayılma, V hunisi ve L kutusu taze beton deneyleri yapılmıştır. Taze beton deneylerinin ardından 10x10x10 cm boyutlarında küp numuneler elde edilmiştir. Küp numuneler laboratuardaki kür odasında bulunan kür havuzunda 3, 7 ve 28 gün süreyle bekletilmiştir. Küp numuneler üzerinde belirtilen yaşlarda birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Üretilen KYB’ler deney sonuçları bakımından hem kontrol betonu hem de birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Üretilen betonların KYB özelliği taşıyıp taşımadığı elde edilen deney sonuçları ile EFNARC kriterleri karşılaştırılarak belirlenmiştir. Doğal agregası ile üretilen KYB’ler yapay agregası kullanılarak üretilenler ile karşılaştırıldığında KYB özelliğini daha çok gösterdiği gözlenmiştir. Diğer taraftan yapay agregası ile üretilen KYB’lerin doğal agregası ile üretilenlerine kıyasla genel olarak basınç dayanımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 714.1.143
Anahtar Kelimeler : Kendiliğinden yerleşen beton, Dolgu maddesi oranı,
Kimyasal katkı, Fiziksel ve mekanik özellikler
Sayfa Adedi : 69
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

EFFECT OF FILLER RATIO ON PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE

(M. Sc. Thesis)

Havva BAKIR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE & TECHNOLOGY**

February 2011

ABSTRACT

In this study, the effect of filler ratio on the properties of self-compacting concrete (SCC) was investigated. For this purpose, stone dust as powder material and hyper plasticizer (HP) as chemical admixture were used in the production of SCC. 8 mixes of SCC were produced in total by using the contents of 0,60%, 0,75% and 1,00% HP in the SCC mixtures. The amount of binding agent and the water/cement ratio were kept fixed in all the produced SCCs. Unit weight, T₅₀ time, flow, V funnel and L box tests were performed as for fresh properties on the produced SCCs. Following the fresh concrete tests, cubic specimens at dimensions of 10x10x10 cm were obtained. The cubic specimens were cured during a period of 3, 7 and 28 days in the curing pool at the curing room of the laboratory. Unit weight and compressive strength tests were carried out at the mentioned ages on the cubic specimens. The produced SCCs were compared with both the control concrete and each other in terms of test results. Comparing the obtained test results with the EFNARC criteria it was determined whether the produced concretes feature the SCC properties or not. It was observed that SCCs produced with natural aggregate are showing much more the SCC feature when compared with those produced by using artificial aggregate. On the other hand, it was determined that the compressive strength

of the SCCs produced with the artificial aggregate is generally higher when compared with those produced with natural aggregate.

Science Code : 714.1.143
**Key Words : Self compacting concrete, Filler ratio, Admixture,
Pyhsical and mechanical properties**
Page Number : 69
Adviser : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ'a, deney ve çalışmalarımda bana destek olan sevgili kardeşim Hasan BAKIR'a, laboratuvar çalışmalarım boyunca desteği ve bilgilerini paylaştan H. Süleyman GÖKÇE ve Gökhan KAPLAN'a, çevirilerimde emeğini esirmeyen arkadaşlarım Mehmet CANDANAY ve Zeynep SENGÖR'e, malzeme teminlerimde yardımcı olan arkadaşlarım Mehmet GÜLER ve Ferdi ADALI'ya, kullanılan malzemelerin analizinde emeklerini esirmeyen Set Çimento A.Ş çalışanları ve Murat AKAY'a, paylaşımlarıyla desteğini esirmeyen Tülay UCUZCU'ya ve her türlü desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Betonun Tanımı	4
2.2. Betonun Tarihçesi	5
2.3. Betonun Çeşitleri.....	6
2.4. Kendiliğinden Yerleşen Beton	9
2.4.1. Kendiliğinden yerleşen betonun tarihsel gelişimi	9
2.4.2. Kendiliğinden yerleşen betonun genel özellikleri	11
2.4.3. Kendiliğinden yerleşen betonun kullanım alanları	15
2.4.4. Kendiliğinden yerleşen betonun üstünlükleri ve zayıflıkları	17
2.4.5. Kendiliğinden yerleşen betonun bileşenleri	20
2.4.6. Taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonun deney metotları	24
2.4.7. Kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili önceki çalışmalar	33
3. MATERYAL VE METOT	39
3.1. Materyal	39

Sayfa

3.1.1. Çimento	39
3.1.2. Agrega	40
3.1.3. Dolgu maddesi (Filler)	41
3.1.4. Kimyasal katkı	41
3.1.5. Su	42
3.2. Metot	42
3.2.1. Kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının tasarımı	43
3.2.2. Kendiliğinden yerleşen betonların üretilmesi	46
3.2.3. Taze beton deneyleri	47
3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri	49
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	51
4.1. Taze Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Sonuçları.....	51
4.1.1. Yayılma	51
4.1.2. T_{50} süresi.....	52
4.1.3. V hunisi	53
4.1.4. L kutusu.....	54
4.2. Basınç Dayanımı Sonuçları.....	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
5.1. Sonuçlar	62
5.2. Öneriler	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. KYB üretiminde metot geliştirme çalışmaları yapan kuruluşlar	16
Çizelge 2.2. Su emme kapasitelerine göre ince madde kullanım tipleri	21
Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R tipi çimentonun, doğal ve yapay agregata taş tozunun fiziksel özellikleri ve kimyasal analizi	39
Çizelge 3.2. Karışıma giren yapay ve doğal agregaya ait özellikler	39
Çizelge 3.3: Grace Adva 616 katkısının teknik özellikleri	42
Çizelge 3.4. KYB üretiminde kullanılan 0 – 4 agregata düzenlemesine ilişkin bilgiler	44
Çizelge 3.5. Üretilen KYB'lere ait 250 µm elek altı malzeme oranlarına ilişkin bilgiler	45
Çizelge 3.6. DA ile üretilen KYB karışımlarına giren malzeme miktarları	45
Çizelge 3.7. YA ile üretilen KYB karışımlarına giren malzeme miktarları	46
Çizelge 4.1. DA ve YA ile hazırlanan KYB serisine ait taze beton deney sonuçları	51
Çizelge 4.2. DA ve YA ile üretilen KYB'lerin birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı sonuçları	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Klasik beton ile KYB'nin karışım içeriği	10
Şekil 2.2. Kendinden yerleşebilirliğin meydana gelmesindeki mekanizma	12
Şekil 2.3. KYB, SSB ve normal betonun karışım içerikleri	13
Şekil 2.4. KYB bileşim özelliklerinin şematik gösterimi	15
Şekil 2.5. Yayılma deneyi düzeneği	25
Şekil 2.6. V hunisi deney düzeneği	26
Şekil 2.7. L kutusu deney aparatı kesiti	28
Şekil 2.8. U kutusu deney aparatı	30
Şekil 2.9. J halkası deneyi düzeneği.....	31
Şekil 2.10. Oriment testi deney düzeneği.....	32
Şekil 3.1. Kullanılan doğal ve yapay agreganın granülometri eğrisi	41
Şekil 4.1. DA'lı KYB'lerde basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi.....	56
Şekil 4.2. YA'lı KYB'lerde basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi.....	58
Şekil 4.3. DA ve YA'lı KYB'lerde basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

DA

Açıklama

Doğal agrega

HA

Hiper akışkanlaştırıcı

KYB

Kendiliğinden yerleşen beton

SA

Süper akışkanlaştırıcı

s/b

Su / bağlayıcı oranı

s/ç

Su / çimento oranı

YA

Yapay agrega

YPB

Yüksek performanslı beton

Kısaltmalar

Açıklama

ACI

Amerikan Beton Enstitüsü

ASTM

Amerikan Test ve Standart Oluşturma Birliği

Brite Euram Project

KYB kullanımını ile ilgili çokuluslu proje grubu

ERNARC

Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu

Growth Project

KYB kullanımını ile ilgili çokuluslu proje grubu

JCA

Japon Çimento Üreticileri Birliği

JCI

Japon Beton Enstitüsü

JSCE

Japon İnşaat Mühendisleri Odası

RILEM

Malzeme ve Yapılar İçin Uluslararası Deney ve Araştırma Birliği

PCI

Amerikan Prefabrike Beton Üreticileri Birliği

TSE

Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Günümüzde inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Bütün dünyada betonun 20. yüzyılda olduğu gibi 21. yüzyılda da bu özelliğini sürdüreceği düşünülmektedir. Geleneksel betonun yanı sıra, bilimsel çalışmaların artması ve teknolojinin gelişmesi sonucunda farklı ihtiyaçları karşılayabilen birçok beton çeşidi üretilmiştir. Bunlar arasında hafif beton, vakumlu beton, ön germeli beton, hazır beton gibi betonlar sayılabilir. Bu betonlar arasında yer alan diğer bir beton çeşidi ise kendiliğinden yerleşen beton'dur [1, 2].

İnsanoğlu 130 yılı aşkın süredir esasını Portland çimentosunun meydana getirdiği betonu giderek daha fazla kullanmaktadır. Geleneksel beton üretiminde vibrasyon, yani yerleştirme ve sıkıştırma işlemi, beton içindeki hava boşluklarını dışarı atmak, böylece dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek ve aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek için zorunludur. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımında, vibrasyon uygulanmışlara oranla %30'lara varan azalmalar görülmektedir [3].

1980'li yılların başında Japonya'da betonarme yapılar hakkında kalıcılık sorunları incelenmiş ve bu sorunların en önemli sebeplerinden birinin, taze betonun yeterli sıkıştırma işlemi uygulanmadan yerleştirilmesi olduğu saptanmıştır. Özellikle taze betonun sıkıştırılması için gerekli kalifiye işçi yetersizliği, yerleştirilen betonun kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Öte yandan işçi ne kadar eğitilmiş olursa olsun, taze betona homojen sıkıştırma enerjisi verebilmesi, özellikle işlenebilirliğin düşük olması halinde pratikte mümkün görülmemektedir [3].

Kimya alanındaki gelişmeler ve polimer teknolojisinin ilerlemesi, 80'li yılların ortasından itibaren çok etkili akışkanlaştırıcıların gelişimine sebep olmuştur. Yüksek oranlı su kesme özelliğine sahip olan yeni nesil polikarboksilat bazlı hiper akışkanlaştırıcılar s/ç oranını 0,3 civarına çekerek taze betonun işlenebilirliğini arttırmıştır. Yeni nesil polikarboksilat bazlı hiper akışkanlaştırıcıların (HA) sağladığı bu etki, bilim adamlarını taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma

işlemini ortadan kaldırmak için araştırmaya yöneltmiştir. Böylece kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kavramı ortaya çıkmıştır [3].

KYB'ler ilk kez 1988 yılında Japonya'da kalıcı betonarme yapılar yapmak amacıyla geliştirilmiştir. KYB üzerine yazılan ilk bildiri 1989'da Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında sunulmuştur. Aynı bildirinin 1992'de İstanbul'daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansında sunulması KYB kavramının dünyaya yayılmasını hızlandırmıştır. 1994'de Bangkok'daki ACI çalıştayından sonra KYB, dünyadaki araştırmacıların ve mühendislerin ilgi odağı haline gelmiştir. 1996'da New Orleans'da ACI Sonbahar Kongresinde KYB, Amerika ve Kanada'da da iyice yaygın hale gelmiş ve sonuç olarak KYB üzerine dünya ölçeğinde araştırmalar başlamıştır [4].

KYB, vibrasyona ihtiyaç duymadan, kendi ağırlığı ile terleme ve ayrışma gibi sakıncalar göstermeden döküldüğü kalıba yerleşen, içerdiği polikarboksilat bazlı yeni nesil yüksek performanslı beton katkısı ile dayanımı yüksek, iyi sıkışma sağlayabilen çok akıcı kıvamlı bir betondur [5].

KYB'nin ilk kullanım alanı olarak donatıların çok yoğun olduğu ve vibratörlerin ulaşamadığı elemanların üretimi düşünülmekteydi. Daha sonra yüksek perdelerin üretiminde ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde KYB kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda ise KYB'nin yeni bir kullanım alanı olarak prefabrik sektörü öne çıkmıştır. Bu son kullanım alanı vibratör gereksinimini ortadan kaldırdığı için gürültünün zararlı etkilerinden korunmak olanağını da doğurmuştur. Aynı gerekçe, yerleşim bölgelerinde yapılan binaların vibrasyon gürültüsünü azaltma konusunda da geçerlidir. KYB'nin diğer bir yararı işçiliği azaltırken yapım hızını artırmasıdır. Bir yapıda döşeme ve düşey elemanların üretiminin geleneksel betonla üretime göre KYB kullanılması durumunda 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir [6].

KYB'nin tüm inşaatlarda yaygın olarak kullanılmasına henüz geçilememiştir. Bu durumun en önemli nedeni olarak söz konusu betonların maliyetinin henüz istenilen

düzeye indirilememiş olması sayılabilir. Ancak durabiliteye verilecek önemle birlikte, KYB kullanımının yapının ömrüne getireceği katkılar, bakım ve onarım harcamalarındaki azalmalar, yapım süresinin kısılması ve işçiliğinin azalması, gürültü faktörünün düşürülmesi gibi avantajlar göz önüne alındığında zaman içinde yaygınlaşması beklenmektedir [7].

Geleneksel beton tasarımından farklı olarak KYB’de; kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve inert puzolanik katkının tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton tasarımında uygun oranlarda kullanılmasına yönelik yeni deney metotları araştırılmış ve bu araştırmanın sonucunda KYB’nin test edilebilmesi için deneysel metotlar ve tasarım yöntemleri ortaya çıkmıştır [8].

KYB, literatürde üç farklı isimde anılmaktadır. Literatürde en yaygın kullanılan Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting Concrete - SCC)’dur. Özellikle döşeme tipi, geniş boyutlu yüzeysel alanlarda kullanılması halinde, Kendiliğinden Yüzeylenen Beton (Self-Levelling Concrete - SLC) adı kullanılmaktadır. Kendiliğinden Yüzeylenen Beton’dan kendi ağırlığı ile her 4 metrede 1 mm’den fazla kot farkı oluşturmaksızın, akarak yatay konum alması beklenmektedir. Kuzey Amerika’da ise Kendiliğinden Konsolide Olan, Çöken Beton (Self-Consolidating Concrete – SCC) adı kullanılmaktadır. Kullanım alanı ve bölgeye göre değişen bu isimler birbiri yerine de kullanılmaktadır. Türkiye’de çoğunlukla Kendiliğinden Yerleşen Beton terimi kullanılmakta olup Kendiliğinden Sıkışan Beton (KSB) veya Kendiliğinden Sıkışarak Yerleşen Beton isimleri de alternatif olarak kabul görmektedir [9].

EFNARC 2005 yılında KYB ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren “specification and guidelines for SCC” isimli dokümanı yayımlamıştır [10]. Bu çalışmada EFNARC’ın bu yayını referans alınmıştır.

Bu çalışmada, dolgu maddesi oranının KYB özelliklerine etkilerinin deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Betonun Tanımı

Beton; çimento, beton agregası, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin homojen olarak karışılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle katılaşp sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [11].

Bugün beton kullanım derecesi 40 yıl öncekinden çok daha fazladır. Dünyadaki beton tüketiminin her yıl 11 milyar metrik ton civarı olduğu tahmin ediliyor. Ayrıca beton ne çelik kadar güçlüdür, ne de onun kadar serttir. Peki, öyleyse neden en çok kullanılan inşaat malzemesi betondur? Bu konuda en azından üç başlıca neden bulunmaktadır [12].

İlk olarak; beton, suya karşı mükemmel derecede dayanıklıdır. Betonun, ahşap ya da alüminyum çeliğe benzemeyecek şekilde, ciddi bozulmalar olmadan suya dayanabilme özelliği, onu kontrol yapıları ve su taşıma / saklama konularında ideal malzeme haline getirmiştir. Aslında, betonun bilinen ilk uygulamalarını Romalıların inşa ettiği su kemerleri ve rıhtım koruyucuları (dalgakıran) oluşturmaktadır. Normal betonun, barajlarda, kanal hatlarında ve kaldırımlarda kullanılması bugün dünyanın her yerinde sıkça karşılaştığımız bir durumdur [12].

Betonun geniş bir yelpazede kullanılmasının ikinci nedeni ise betonu oluşturan öğelerin çeşitli şekillerde ve miktarlarda bir araya getirilmesinin kolaylığıdır. Çünkü şekillendirilebilir kıvamdaki yeni yapılmış betonun önceden hazırlanmış kalıplara dökülmesi mümkündür. Birkaç saatin ardından, beton katılaşp sertleşerek güçlü bir kütle halini aldığı anda kalıp tekrar kullanılmak üzere betondan alınır [12].

Betonun mühendisler arasındaki popülerliğinin üçüncü nedeni ise betonun genellikle en ucuz ve en hazır şekilde ulaşılabilen malzeme olmasıdır. Beton yapımının ana bileşenleri (yani kırma taş, su ve Portland çimentosu) nispeten pahalı değildir ve

kendilerine çoğunlukla dünyanın birçok yerinde kolayca ulaşılabilir. Bileşenlerin taşıma maliyetine ve coğrafik konumlara bağlı olarak betonun fiyatı metreküp başına 75 – 100 \$ arasında değişecek kadar yüksek, ya da 60 – 70 \$ arasında değişecek kadar düşük olabilir [12].

Beton çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın ve en popüler yapı malzemesidir. Çağdaş günlük yaşamda, insanların betondan yapılmış yapıları kullandığı ya da betonla karşılaşmadığı tek gün dahi yoktur. O halde bu kadar önemli bir yapı malzemesinin, gerek betonu üretenler gerekse kullanılan tarafından çok iyi tanınması gerekmektedir [13].

2.2. Betonun Tarihçesi

1800’lü yıllarda betonda ilk defa çeliğin kullanılmasıyla başlayan beton teknolojisi tarihi günümüze dek süren olağanüstü gelişmeler ile halen devam etmektedir. Beton teknolojisi tarihindeki bu sürekliliğin kökeni her ne kadar betonun geçmiş süreçlerde yapı biliminde oynadığı önemli rollere dayansa da, asıl sebep bugün yapıda beton yerine kullanılabilecek ya da aynı işlevleri görebilecek yeni bir yapı malzemesinin üretilmemiş olmasıdır. Beton bulunuşundan bu yana uzun yıllar geçmiş olmasına rağmen hala güncelliğini koruyan malzemedir [14].

Betonun ilk bulunuşunun tarihi kesin olarak bilinmemekle beraber beton teknolojisinin tarihi yaklaşık 1845 yılına kadar gitmektedir. İlk betonarme yapının 1852 yılında yapıldığı bilinmektedir. Çimentonun patenti ise, 1824 yılında Joseph Aspdin adında bir duvarcı ustası tarafından alınmıştır. İlk beton şartnamesi ABD’de 1904 ve Almanya’da 1906 yılında hazırlanmıştır. Türkiye’de ise ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir [1].

Yapılan araştırmalara göre, 1920 – 1940 yılları arasında Avrupa’nın beton şartnamelerini geliştirdiği görülmüştür. Beton malzeme üzerine en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesaplarının geliştirilmesi, 1950 – 1960 yılları arasına rastlamaktadır. Daha sonraki yıllarda, betonun uzun süredeki davranışı, döküm

tekniki, ekipman kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomiyi arttırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri, iş programlaması yönetimi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur. Son yıllarda kimyasal katkı maddesindeki gelişmeler, lif ve taze betona vakum uygulayarak betonun mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça geliştirilmiştir [1].

2.3. Beton Çeşitleri

Beton farklı isimler altında sınıflandırılabilir. Betonları; 1) Yoğunluklarına, 2) Basınç dayanımlarına, 3) Üretildikleri yere ve 4) Özel betonlar şeklinde gruplandırmak mümkündür.

1) Yoğunluklarına göre betonlar

- *Hafif betonlar*: Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, 800 kg/m^3 veya daha büyük olup, 2000 kg/m^3 'ü geçmeyen betonlar,
- *Normal betonlar*: Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, 2000 kg/m^3 'ten büyük olup, 2600 kg/m^3 'ü geçmeyen betonlar,
- *Ağır betonlar*: Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m^3 'ten daha büyük olan betonlar [15].

2) Basınç dayanımlarına göre betonlar

- Düşük dayanımlı betonlar: Basınç dayanımı 20 Mpa 'dan az olan betonlar,
- Orta dayanımlı betonlar: Basınç dayanımı $20 - 40 \text{ Mpa}$ arası olan betonlar,
- Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımı 40 Mpa 'dan fazla olan betonlar [12].

3) Üretildikleri yerlere göre betonlar

- Şantiye betonu: Şantiye alanında, yerinde, üretilen betondur.
- Santral betonu: Hazır beton santrallerinde üretilen ve transmikserlerle şantiye alanına getirilen betondur.

4) Özel Betonlar

- *Lifli beton:* Agregâ, çimento ve su gibi temel bileşenler ile üretilmiş temel kompozit bir malzeme olan betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek şartıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda liflerin katılmasıyla elde edilen betona lifli beton adı verilir [1]. İlk çağlardan beri kırılğan yapı malzemelerinin takviyesinde liflerin kullanılması pratiği de göz önüne alınarak betonda da saman, polipropilen lif, yonga lif, plastik – cam bazlı lif ve çelik lifler kullanılmaya başlanmıştır. Betonun içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun zayıf özellikleri iyileştirilerek beton gibi malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur [16].
- *Kütle beton:* Kütle betonu, çimentonun su ile reaksiyonu sırasında açığa çıkan hidratasyon ısısı ve bunu takip eden hacim değişiklikleri neticesinde termal çatlak oluşumlarının en alt seviyeye çekilmesi maksadıyla tedbirler alınması gerekli olan büyük boyutlu betonlar için kullanılan bir ifadedir [17].
- *Vakumlu beton:* Endüstriyel döşeme ve beton yollarda betondan beklenen performansı artırmak için taze betonun işlenebilirlik için kullanılan suyun kontrollü bir şekilde tekrar geri vakum yoluyla alınma işlemi sonucu elde edilen betona vakumlu beton denilmektedir. Betondaki işlenebilirlik suyunun azaltılması s/ç oranını azaltılmasıdır. Vakumlu beton havaalanı, ağır yüklere maruz karayolu, ağır iş makinelerinin çalıştığı fabrikalar gibi betonlarda uygulanmaktadır [18].

- *Püskürtme beton:* Çok iyi hazırlanmış Portland çimentosu, su ve kum karışımından ibaret harcın, basınca dayanıklı lastik veya özel imal edilmiş saç borularla kullanım yerine iletilen ve önceden hazırlanmış yüzeye basınç altında püskürtülen betondur. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tanımına göre; püskürtme harç veya betonun bir yüzeye yüksek hızda hava basıncıyla püskürtülmesidir [19].
- *Ferrocement beton:* Ferrocement genel anlamda donatılı bir harç çeşididir. Belirli aralıklarla sıralanmış demirler üzerine çok katlı kümes tellerinin bağlanması ve tüm donatının harçla kaplanmasıyla elde edilir. Ferro – beton olarak da adlandırılır. Donatı olarak kullanılacak tel örgüler çeşitli şekil, boyut ve çapta olabilmekte, kat sayıları istenildiği gibi seçilebilmekte ve üretilecek elemanın kullanım özelliğine göre ayarlanabilmektedir. Kompozit bir malzeme olması nedeni ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin bu karakteri göz önünde tutularak belirlenmesi gereklidir. Fazla işçilik gerektirmemesi, işçiliğin ucuz olduğu gelişmekte olan ülkelerde uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Ferrocement'in ev yapımında, deniz yapılarında, su getirme ve alt yapı elemanlarında, kırsal alanlardaki enerji yapılarında, tarımsal alanlardaki yapıları ve değişik alanlardaki uygulamaları olarak kullanım alanı çok geniştir [20].
- *Silindirle sıkıştırılmış beton:* Yol, baraj, liman mühendisliğinde kullanılan, damperli kamyonlarla taşınıp, buldozer veya greyder ile yayılabilen ve vibrasyonlu silindirler ile sıkıştırılabilen, çökmesi olmayan yani çökmesi sıfır (0), katı kıvamlı, 30 – 40 cm tabakalar halinde serilip vibratörlü silindir ile sıkıştırılan, çimento tozu düşük, yüksek dayanım, dökme verimliliği ve yapım süresi gibi birçok ekonomik avantajlar sağlayan bir beton türüdür [1]. Ülkemizde 1982 – 1983 yıllarında Karakaya Barajı mansap batardosu çekirdek dolgusunda ilk uygulaması görülmüş olup hızlı inşaa ve düşük maliyetli olma özelliği ile bu yöntemin ülkemizde çok önemli bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir [21].

- *Kendiliğinden yerleşen beton:* KYB, vibrasyona ihtiyaç duymadan kendi ağırlığı ile terleme ve ayrışma gibi sakıncalar göstermeden döküldüğü kalıba yerleşen, içerdiği polikarboksilat bazlı yeni nesil yüksek performanslı beton katkısı ile dayanımı yüksek, iyi sıkışma sağlayabilen çok akıcı kıvamlı bir betondur [3].

2.4. Kendiliğinden Yerleşen Beton

KYB, kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür [22].

Son yıllarda KYB kullanımı ve bu konuda yayınlanan çalışmalar artmıştır [23]. KYB ilk olarak 1980 yılında Japonya’da gökdelenlerin inşasında kullanılmıştır [24]. KYB yapım sürecine daha kaliteli beton sağlamakta en önemli faktör olmakla birlikte, yüksek teknolojik gelişmeleri temsil eder [25]. KYB, daha ince inşaa malzemeleriyle veya daha değişik ve ilginç şekillerle yapı yapılabilmesini sağlar [26]. KYB üretimi, betonu sık donatıların arasından geçebilmesi için kendi ağırlığından başka bir sıkıştırma gereci kullanılmasına gerek duyulmamasını sağlar. Sonuç olarak, KYB kullanılması inşaa zamanının, işgücü giderinin ve yapım alanındaki gürültünün azalmasına öncülük eder [23].

2.4.1. Kendiliğinden yerleşen betonun tarihsel gelişimi

Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı Tokyo Üniversitesinde 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından, su altında vibrasyonsuz beton döküm uygulamasıyla başlamıştır [27].

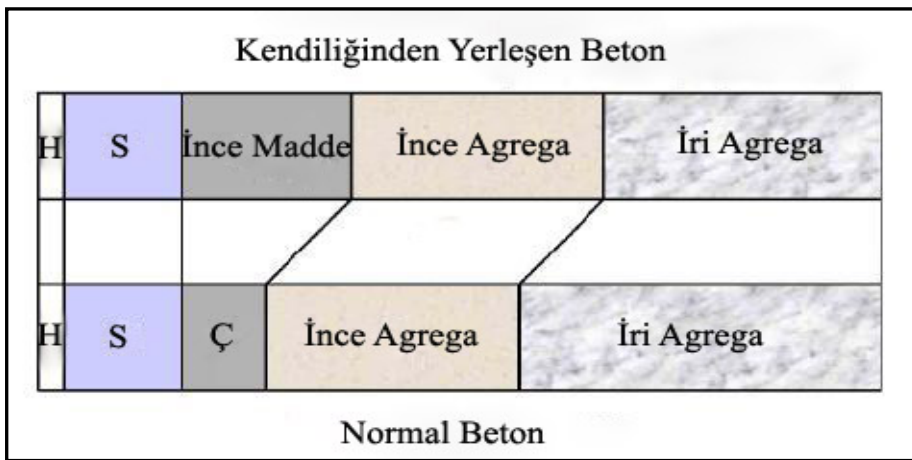
Okamura’nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Ouchi ve Maekawa devam ettirmektedir. 1988 yılında aynı üniversitede yüksek performanslı KYB prototipi üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu özel tip betonun geliştirilmesinde öncelikli

amaç, dayanımın yanı sıra dayanıklılık açısından da yüksek performansı sağlamaktır [28].

KYB konusunda ilk bildiri 1989 yılında Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansı'nda (EASEC) sunulmuştur. KYB konusunda ilk kitap Okamura tarafından yazılmış olup, 1993 yılında Japonca olarak yayınlanmıştır. KYB'nin dünyaya tanıtılmasında, Ozawa'nın 1992 yılında İstanbul'daki Uluslararası CANMET – ACI konferansında yaptığı sunum hızlandırıcı bir etki yapmıştır [3].

Her ne kadar Japonlar KYB'nin ilk uygulamalarının su altı beton dökümleriyle başladığını savunsa da bu konuda farklı görüşler de bulunmaktadır. 1974'de o zamanın en gelişmiş akışkanlaştırıcıları kullanılarak Reoplastik Beton (çökme değeri 20 cm'nin üzerinde) adı verilen kohezif kıvamlı beton üretilmiştir. 1990'lı yıllardan sonra kimyasal katkı teknolojisinin gelişimi, su altı beton uygulamaları ve Reoplastik Beton uygulamaları doğrultusunda edinilen tecrübe ve birikimler KYB'nin ortaya çıkmasını sağlamıştır [29].

Piyasada hâlihazırda bulunan malzemeler kullanılarak yapılan kendiliğinden sıkışan betonun prototipi 1988'de tamamlanmıştır [30]. Şekil 2.1'de klasik beton ile kendinden sıkışan prototip betonun karışım içeriği gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Klasik beton ile KYB'nin karışım içeriği [30]

Bu prototip kuruma ve katılaşma, hidratasyon sıcaklığı, katılaşma sonrası yoğunluk, ve diğer özellikleri bakımından memnuniyet verici olmuştur. Bu beton “Yüksek Performanslı Beton” (YPB) olarak adlandırılmış ve betonun üç aşaması da aşağıda belirtildiği üzere tanımlanmıştır [30]:

- Taze; Kendinden sıkışmalı,
- Erken dayanım; İlk olumsuz etkilere direnebilme,
- Sertleşme sonrası; Dış etkenlerden koruma [30].

YPB düşük s/ç oranı sebebiyle Profesör Aitcin ve arkadaşları tarafından yüksek dayanıklı olarak da tanımlanmıştır [31]. O zamandan beri, yüksek performanslı beton deyimi tüm dünyada YPB için kullanılmaya başlandı. Sonuç olarak, yazarlar söz konusu betonun adını “Kendiliğinden Sıkışan Yüksek Performanslı Beton” şeklinde değiştirmişlerdir [30].

Bugün KYB kullanılarak elde edilen üstünlüklerin ötesinde, bu kullanımı geleneksel hale getirerek genele yayma fikri ulaşılmak istenen bir hedef olarak görülmektedir. KYB ile ilgili dünyada yapılmış araştırmalar KYB’nin tüm sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Pratikteki sorunları görmek için pilot uygulama projeleri geliştirilmiştir. Günümüz itibarıyla önemli deneyimler elde edilmiş ve büyük gelişme kaydedilmiştir [3].

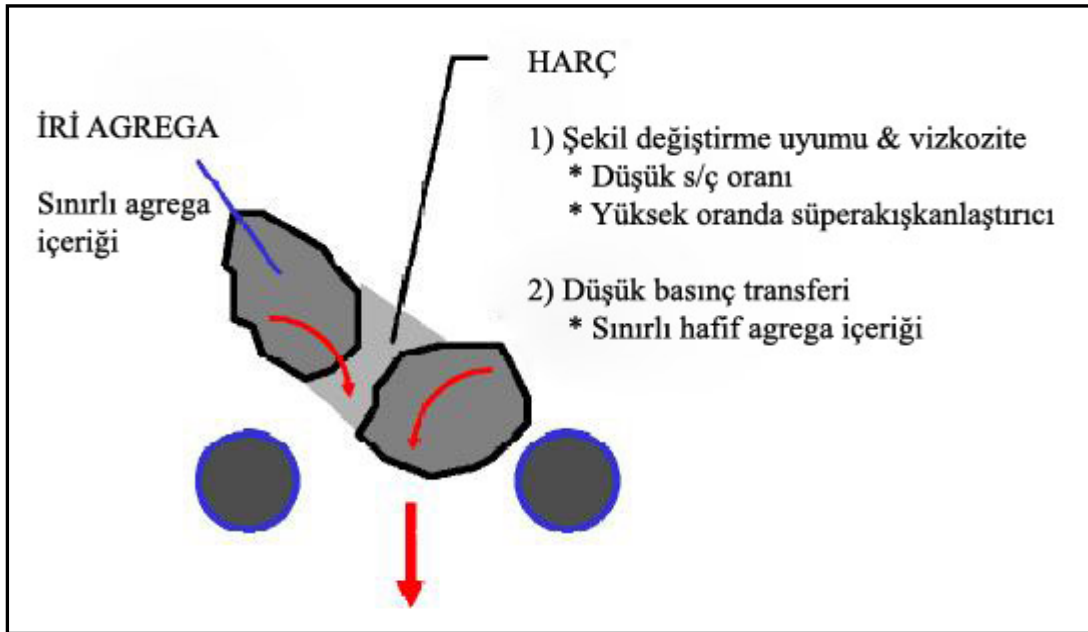
2.4.2. Kendiliğinden yerleşen betonun genel özellikleri

Kendiliğinden yerleşebilirliğin metodu sadece çimento hamurundaki veya harçtaki yüksek deformasyonu değil aynı zamanda iri agrega tanelerinin beton içinde iki donatı arasında akarken segragasyona karşı direncidir. Okamura ve Ozawa kendiliğinden sıkışmayı başarabilmek maksadıyla aşağıdaki metotları kullanmıştır [30]:

- Sınırlandırılmış agrega içeriği

- Düşük su – toz madde oranı
- Süper akışkanlaştırıcı kullanımı

Agregalar arasındaki çarpışma ve temas, parçacıklar arasındaki rölatif mesafeyi arttırabilir. Daha sonra, beton deforme olunca özellikle bir engelle karşılınca iç basınç artar. Araştırmalar, akış için gerekli olan enerjinin artan iç basınç ve agregaların birbirini engellemesi sonucu tüketildiğini göstermektedir. Özellikle enerji tüketimi yoğun olan iri agregaların içeriğindeki sınırlama bu tip engellerden kaçınmak normal etkiye göre bir derece daha azdır. Yüksek viskoziteye sahip çimento hamuru beton donatı içine doğru akarken iri agregaların engel oluşturmamasından kaçınmak için gereklidir [30].

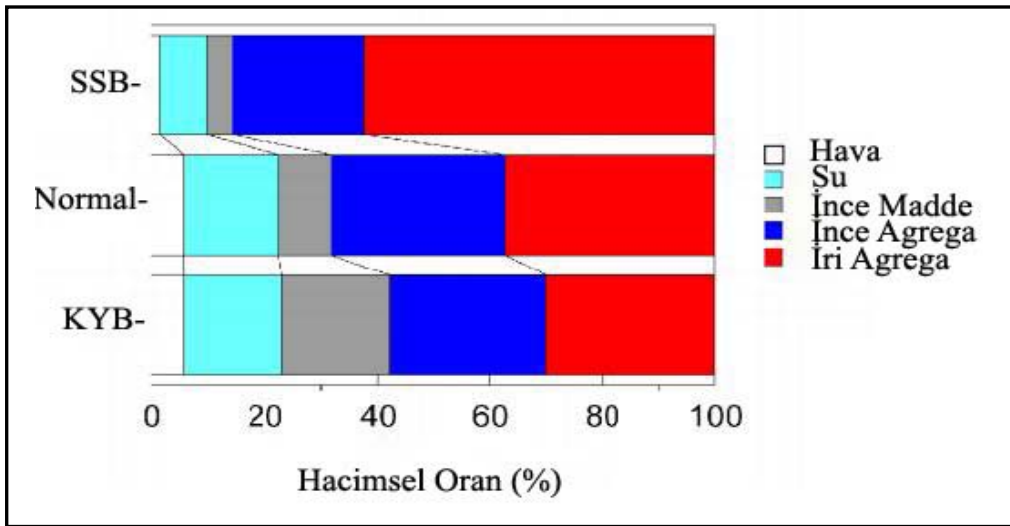


Şekil 2.2. Kendinden yerleşebilirliğin meydana gelmesindeki mekanizma [30]

Beton deforme olduğunda yüksek viskoziteli çimento hamuru aynı zamanda iri agregaların birbirine yaklaşmasıyla artan iç basıncı önler. Yüksek şekil değıştirme özelliği süper akışkanlaştırıcılar (SA) ve su/toz madde oranının düşük tutulması ile sağlanabilir [30].

Şekil 2.3’de KYB, normal beton ve barajlarda kullanılan silindirle sıkıştırılmış betonun (SSB) karışım oranları mevcuttur. KYB’ da vibrasyonla sıkıştırma gerektiren geleneksel betonlara göre agrega içeriği daha azdır. Pratik olarak KYB testlerinin üç amacı vardır [30]:

- Betonun kendiliğinden yerleşebilir olup olmadığını kontrol etmek için
- Karışım oranlarının KYB için yeterli olmadığında ayarlamak için
- Malzemenin tanınması için [30]



Şekil 2.3. KYB, SSB ve normal betonun karışım içerikleri [30]

KYB’nin kendi ağırlığı altında ve vibrasyon gerektirmeden kalıpları boşluksuz bir şekilde doldurabilmesi için yüksek akıcılığa sahip olması gerekir. Ancak yüksek akıcılığı sağlarken ayrışmaya izin verilmemelidir. Ayrışma, taşıma, döküm ve yerleştirme aşamalarında, ayrıca beton katılaşana kadar iri – ince malzeme ayrılması, ya da terleme görülmemelidir. Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için akma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özelliğin su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ayrışmanın göstergesi olan viskozite özeliği çok küçülmemelidir. İşte yüksek akıcılık üstün akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları (hiper akışkanlaştırıcılar) yardımı ile sağlanırken betonun kararlılığı ince malzeme miktarını yüksek tutmakla

veya viskozite artırıcı maddeler kullanarak gerçekleştirilmektedir. KYB'nin sadece doldurma özelliğine sahip olması yetmemekte aynı zamanda donatılar arasından kolayca geçebilir özellikte olması da gerekmektedir [5].

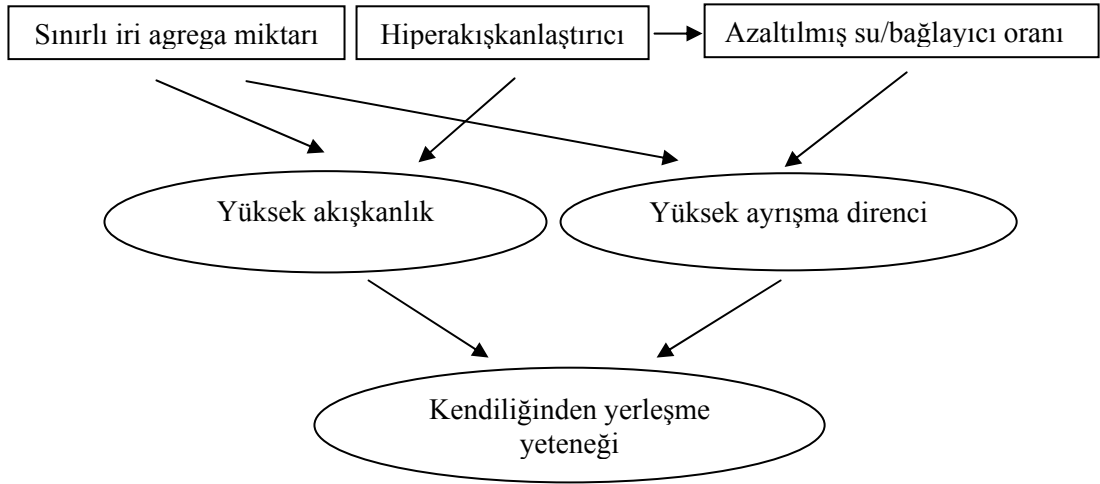
KYB'ler düşük s/b oranına sahip olmaları nedeni ile hem yüksek dayanıma hem de üstün durabilite özelliğine sahip olmakta ve bu nedenle YPB sınıfına sokulabilmektedir. Ayrışma dirençlerinin yüksek oluşu ve düzgün yüzey elde edilmesine olanak vermeleri diğer üstünlükleridir. Ayrıca KYB'lerde geleneksel betonlarda gözlenen dayanımın elemanın alt ucundan olan yüksekliğe bağlı olarak değişimi ve donatı – beton aderansının donatının konumuna bağlı olması gibi sorunlar aşılmıştır. Bunların dışında KYB'ler uzun süre işlenebilirliklerini koruyabilmekte ve hazır beton sektöründe geleneksel betonlarda görülen çökme kaybı olayı en az 1.5 saat için söz konusu olmamaktadır [5].

Kendiliğinden yerleşen taze betonların işlenebilmesinin tespitinde klasik işlenebilme deneyleri yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle birçok yeni yöntem önerilmektedir. İşlenebilmenin, birbiri ile çelişen ve bir optimumda birleştirilmesi amaçlanan iki ana niteliği akıcılığı ve stabilitesidir. Akıcılık ve stabilite, taze betonu iri katı parçacıklar içeren bir süspansiyonun şekil değiştirme hızı altındaki davranışını Binghami varsayarak, kayma eşiği ve plastik viskozite olarak iki sabitle ifade edilir. Bu reolojik parametreler, “iki nokta işlenebilme aleti” olarak da adlandırılan viskozimetre yardımı ile beton üzerinde belirlenebilmektedir. Viskozimetreler ile daha güvenilir sonuçlar elde edilmekle beraber kullanımları henüz yaygınlaşmamıştır [5].

KYB'nin aşağıdaki taze beton özelliklerini taşıması gerekir [5]:

- Doldurma yeteneği,
- Ayrışma direnci,
- Donatılar arasından geçebilme yeteneği,

KYB'nin iyi bir performans sağlaması için gereken bu nitelikler Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Sınırlı iri agrega hacmi agrega tanelerinin çarpışmasını azaltmakta, geçiş yeteneği sağlamakta ve geri kalan çimento hamuru fazı hacmini arttırmakta; düşük s/b oranı ve SA katkı ise akıcılığı ve ayrışma direncini sağlamaktadır [8].



Şekil 2.4. KYB Bileşim Özelliklerinin Şematik Gösterimi [32]

2.4.3. Kendiliğinden yerleşen betonun kullanım alanları

Günümüzde KYB özel tip betonlar sınıfında sayılabilir. Genellikle büyük betonlu inşaatlarda, sık donatılı dar kesit özelliklerinin bir arada olduğu perde tipi elemanlarda, tamir, bakım ve yenileme işlerinde, tünel gibi özel kalıp gerektiren işlerde kullanılan KYB, henüz normal beton kadar geniş kullanım alanına sahip değildir. Bunun en önemli nedeni maliyetinin yanı sıra, tasarım ve uygulama alanlarında yeni yöntemler gerektirmesidir [33].

KYB günümüz beton teknolojisinde uygulamaya geçiş dönemini yaşamaktadır. Gelişmiş ülkelerde KYB teknolojisine geçiş daha kolay ve hızlı; gelişmekte olan ülkelerde ise yavaş ve problemlidir. Bu dönemin uzunluğu, yapılacak teorik ve pratik çalışmaların uygulanabilirliğinin sektör tarafından değerlendirilmesine bağlıdır. KYB üretiminde yöntem geliştirilmesi çalışmaları çeşitli kuruluşlar tarafından devam ettirilmektedir [34].

Bu çalışmalara Çizelge 2.1’de yer verilmiştir.

Çizelge 2.1. KYB üretiminde metot geliştirme çalışmaları yapan kuruluşlar [34]

1990 – 1993	Yüksek Performanslı Betonda Çimento Seçimi (JCA)
1992 – 1994	Süper Akıcı Beton (JCI)
1994 – 1997	Yüksek Akışkanlığa Sahip Beton (JSCE)
1995 –	Kendiliğinden Yerleşen Beton (JSCE)
1997 –	Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretimi (RILEM)
1999 – 2002	KYB kullanımı ile üretim rasyonalizasyonu ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi (Brite Euram Project - 5. Avrupa çerçeve anlaşması)
2000 –	KYB’nin taze özelliklerini ölçme yöntemleri (Growth Project)
2001 –	ASTM C 09.47 KYB ile ilgili standart hazırlığı
2001 –	KYB ile ilgili prefabrike beton üretimine uyarlama kılavuzu hazırlığı (PCI)
2002 –	ACI – 236 B KYB ile ilgili kılavuz doküman hazırlığı
2005 –	BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA ve EFNARC

Geleneksel beton dökümünde vibrasyon, yani yerleştirme ve sıkıştırma işlemi, betonun içindeki hava boşluklarını dışarı atmak, böylece dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek ve aynı zamanda daha düzgün yüzeyli bir beton elde etmek için zorunludur. Vibrasyon uygulanmamış betonların basınç dayanımında, vibrasyon uygulanmış olanlara göre %30'lara varan düşüşler görülmektedir. Ayrıca sağlıklı vibrasyon yapılmamış beton elemanlarda yüzey bozuklukları görülebilir. Özellikle binaların depreme karşı güçlendirilmesi için yapılan güçlendirme projelerinde tüm bu etkenlere dar beton kesitleri ve sık donatı eklenince, vibrasyon uygulaması daha da zahmetli, bazen de olanaksız hale gelmektedir. Oysa KYB kendi kendine sıkışma yeteneği sayesinde vibrasyon gerektirmez ve tüm olumsuz etkenleri elimine ederek, işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Ayrıca gürültü probleminin ortadan kalkması,

şehir merkezlerinde ve özellikle gece beton dökümlerinde üstünlük sağlar. KYB'lerin diğer kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir [8]:

- Güçlendirme projelerinde,
- Sık donatılı elemanlarda,
- Estetik kalıp tasarımlarında,
- Zor ve ulaşılmaz kalıplarda,
- Vibratör kullanımının imkânsız olduğu yerlerde [8].

2.4.4. Kendiliğinden yerleşen betonun üstünlükleri ve zayıflıkları

Kendiliğinden yerleşen betonun kullanım üstünlükleri

1. KYB ile taze betonu sıkıştırma ihtiyacı ortadan kalkacak, böylece vibratör kullanımının yarattığı zaman, enerji ve para kaybı ortadan kalkacaktır. Vibratör kullanımının çevreye yaydığı gürültü kirliliği (özellikle prefabrike beton sektörü için) önlenecektir. Prefabrike beton sektöründe vibratör kullanımının kalıplara verdiği zarar ortadan kalkacağından kalıpların ekonomik ömürleri artacaktır [34].
2. Kimyasal katkı maddesi kullanarak betonun çok akıcı olması ve s/ç oranının düşük olması, ince maddenin kullanımıyla da segregasyonu engellemesi KYB'nin hem dayanımının hem de dayanıklılığının yüksek olmasıyla inşaatlarda tercih edilebilecek bir beton türü olmaktadır [34].
3. Betonun durabilitesini etkileyen en önemli faktör beton yerleştirme işçiliğidir. Kendiliğinden yerleşme özelliği sayesinde şantiyede betonun yerleştirilmesi sırasında meydana gelebilecek işçilik hataları riskini ortadan kaldırır [34].
4. Cepheleri brüt beton olarak tasarlanmış mimari projelerde, prekast elemanlarda, heykelerde, özel estetik desenli kalıplarda artırılmış yüzey düzgünlüğü,

azaltılmış hava kabarcıkları ve kalıbın detaylarını tam olarak yansıtmayı özelliği ile mimaride mükemmel çözümler sağlar [34].

5. Kalıp ömrü de vibrasyonun kalkmasıyla önemli oranda artacaktır. Bunun yanı sıra kalıbın sökülmesi ve yeniden kurulmasında da zamandan ve işçilikten tasarruf edilebilecektir [34].
6. Betonun sık donatılı perde tipi dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile yerleşmesi betonun mekanik performansını arttıracaktır. Özellikle deprem riski olan bölgelerde perde tipi beton kullanımının yoğun olması ve elemanların sık donatılı olmaları vibratör kullanımını zorlaştırmaktadır. Betonarme yapılarda önemli problemlerden biri de donatı yoğunluğunun meydana geldiği düğüm noktalarında ve perde tipi elemanlarda betonun iyi sıkıştırılamamasıdır [3].
7. KYB'nin perdahlanabilirliği geleneksel betona kıyasla daha rahattır. Beton dökümünü önemli ölçüde hızlandırır [3].
8. KYB kalıp yüzeylerinde sağladığı boşluksuz görünüm ile sıva ihtiyacını ortadan kaldırabilir. Fakat bu durum aynı zamanda bir dezavantaja dönüşebilir; sıva yapılması gerekiyorsa pürüzsüz yüzeyi sebebiyle KYB sıva tutmayabilir [3].
9. KYB pompalanabilirlik açısından geleneksel betona göre daha avantajlıdır. Pompa içi basıncın geleneksel betona kıyasla %20 azaldığı bildirilmiştir [3].
10. Kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanımıyla, prefabrike sektöründe erken kalıp alma için, özellikle kış aylarında uygulanan buhar kürü ortadan kaldırılabilir [35].

Kendiliğinden yerleşen betonun kullanım zayıflıkları

KYB'nin yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra dezavantajları da mevcuttur. Fakat bunların çoğu, zamanla yapılan araştırma – geliştirme çalışmaları ile ortadan kaldırılabilecek özelliktedir. KYB'nin dezavantajları ise aşağıda sıralandığı gibidir:

1. KYB malzeme maliyeti açısından normal betona kıyasla daha pahalıdır. Maliyeti arttırıcı ana etken efektif kimyasal katkılar olup, gelecekte bu katkıların maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir [3].
2. KYB'nin performansı malzeme tip ve oran değişiklikleri hassastır (özellikle agrega nemi ve gradasyonu). Klasik betona göre daha sıkı kontrol gerektirir [3].
3. Kesinleşmiş tasarım yöntemiyle standart deneylerin yokluğu kalite kontrol işlerinde genelleme yapılmasını engellemekte ve standartlaşmasında sıkıntılara yol açmaktadır [3].
4. Geleneksel betona göre yüksek oranda toz malzeme içerdiği için, boyutsal stabilitesi toz malzemenin tipine göre farklı sonuçlar doğurabilir [3].
5. Ahşap kalıpların çakılması sırasında iki tahta arasında boşluk kalmamasına dikkat edilmeli, aksi takdirde harcın sızmasına sebep olacağından kalıp işçiliğine titizlik gösterilmesi gerektirir [34].
6. Kalite belli bir standarda bağlanmamıştır [34].
7. Prefabrike beton üretiminde mevcut kalıp sistemlerinin bir kısmı KYB kullanımına uygun değildir (çatı makası gibi eğimli elemanlar). %2'den fazla eğimli elemanlar KYB ile dökülemez [36].

Bunlar karşılaştırıldığında avantajlarının fazlalığı KYB'nin tercih edilme sebebidir [34]

2.4.5. Kendiliğinden yerleşen betonun bileşenleri

Çimento

Çimento tipi açısından dayanım ve dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak seçim yapılmalıdır [3]. TS EN 197-1'e uyan tüm çimentolar KYB üretimi için kullanılabilir. KYB için özel çimento üretilmemektedir [10].

KYB'de çimento dozajının belirlenmesindeki temel kriter dayanım sınıfıdır. Pozolanik dolgu maddesi kullanılması halinde, göreceli olarak daha düşük çimento dozajları yeterli olacaktır. Dayanım ve dayanıklılık açısından çimento dozajının 350 – 450 kg/m³ arasında seçilmesi tavsiye edilmekte, 500 kg/m³'ün üstünde kullanımı ise rötrei arttıracığından tavsiye edilmemektedir. 350 kg/m³'ün altında kullanımı ise, ilave dolgu maddesi veya viskozite artırıcı kimyasal katkılarla birlikte kullanılması halinde uygundur. Eğer viskozite ayarlayıcı kimyasal katkı kullanılmıyorsa, KYB'de toplam ince madde miktarı hiçbir zaman 500 kg/m³'ün altına inmemelidir. Çimento dozajının bu miktarın altında olması durumunda ilave toz katkıları kullanılabilir [37].

Dolgu maddesi (Filler)

Dolgu maddesi parçacık boyutu 0,125 mm altında her türlü inorganik madde olarak tanımlanabilir. Dolgu maddesi KYB'de viskozite artırmak amacıyla kullanılır [38]. Parçacık boyutunun küçülmesi parçacıklar arası etkileşimini artmasına sebep olur ve bu etkileşim viskoziteyi artırır [38].

KYB'nin ihtiyacı olan inert ve pozolanik / hidrolik ince maddeler genelde kohezyonu ve segregasyonun oluşumunun önlemek için kullanılır. İnce madde, hidrasyon ısısını ve su kaybını azaltmak için kullanılır. İnce maddeler su emme kapasitelerine göre Çizelge 2.2'deki gibi sınıflandırılır [10].

Çizelge 2.2. Su emme kapasitelerine göre ince madde kullanım tipleri [10]

TİP I	İnert veya yarı inert	* Mineral filler (kireç taşı tozu, dolomit vb.) * Pigmentler
TİP II	Puzolanik	* EN 450'ye uygun olan uçucu kül * EN 13263'e uygun olan silis dumanı
	Hidrolik	* Toz halinde yüksek fırın cürufu (Eğer bir EN 197-1 çimentosuyla birleşmezse, yeni EN 15167 standardı basılana kadar milletlerarası standartlar uygundur.)

%10'u 0,2 mm'den geçip 0,1 mm üzerinde kalan tozlar KYB için olumsuz performans göstermektedir [37].

Agrega

İnce agreganın taze KYB özellikleri üzerindeki etkisi iri agreganınkinden daha fazladır. 0,125 mm'den daha az olan parçalar ve emme gücü oranı hesaplamalarda dikkate alınmalıdır [10].

KYB üretimi için EN 12630'a uygun olan iri agregalar kullanılması gerekmektedir. Hafif agregalarda KYB'de kullanılabilir; fakat taze betonun viskozitesi düşükse agregaya yüzeye çıkabilir ve bu segregasyon direnci testiyle ortaya çıkarılamayabilir. Maksimum agreganın genellikle büyük agreganın kullanılmasıyla rağmen 12 – 20 mm'de sınırlandırılmalıdır [10].

KYB'yi sabit kalitede üretmek için agregaların nem hacmi, su emilimi ve granülometrisi devamlı kontrol edilmelidir. Yıkanmış agregaların kullanılması daha tutarlı bir ürün ortaya çıkarmaktadır. Stok kaynağını değiştirme, muhtemelen beton özelliklerinde belirli bir değişiklik yapabileceğinden bu dikkate alınmalıdır [3].

Yüksek dayanımlı beton elde etmek için agreganın, silt ve kil kirliliği içermemesi gerekir. İşlenebilirlik açısından doğal kumun kullanılması uygundur. İri agreganın / kumun içsel sürtünme katsayısını azaltmak için bu oran mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Agreganın çapı üst sınır 16 – 20 mm olmalı, kütle betonu gibi özel

durumlarda viskozite artırıcı katkı kullanımıyla ek tedbirler alınarak en büyük agrega çapı 40 mm kullanılabilir. En uygun maksimum agrega çapı 15 mm'dir. Prefabrik beton üretiminde kullanılması halinde en büyük tane çapı 10 mm olmalıdır [3].

Agrega mineralojik köken açısından normal betonda kullanılabilecek özellikte olmalıdır. Kırma kireçtaşı iri agrega olarak kullanılabilir. Doğal kum, kırma kuma göre işlenebilirlik açısından avantajlıdır. Aynı şekilde iri agrega olarak dere çakılı kullanılması iç sürtünmeyi azalttığı için akışkanlığı artırır [37].

Agrega açısından taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğini etkileyen en önemli parametre iri agrega / kum oranıdır. İçsel sürtünme katsayısını azaltmak için bu oran mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır [38].

Kimyasal katkılar

Kimyasal katkılar; akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici, hava uzaklaştırıcı, priz kontrol edici ve viskozite arttırıcı olmak üzere beş ana grupta toplanabilir. KYB üretiminde yüksek deformasyon yeteneği ve ayrışmaya karşı yüksek direnç sağlamak gibi birbirinin tersi iki koşul bir arada sağlanmalıdır. Bu da ancak etkili bir akışkanlaştırıcı kimyasal kullanımı ile mümkün olabilir [39].

Son on yılda beton teknolojisinde meydana gelen en önemli gelişmelerden biri akışkanlaştırıcıların yaygın olarak kullanılmaya başlanması ve bunun getirdiği yüksek mukavemet olmuştur. Bu tür katkılar çimento ve mineral katkıların su içinde topaklanmasını engelleyip daneleri dağılmakta; ancak çok miktarda su ile elde edebileceğimiz dispersiyonu az miktarda su ile ve betona bir yan etki vermeksizin elde etmemizi sağlamaktadır. Bu katkıların çimento + mineral katkı maddesi ağırlığının %0,3 – 0,6'sı oranında kullanılması karışım suyunu %30 ve hatta daha fazla miktarlarda kesmeye imkân sağlamaktadır. Bunun yanında akışkanlaştırıcılar yardımı ile ısıl çatlaklar oluşmadan büzülme gibi problemleri azaltmaktadır. Pratikte akışkanlaştırıcı kullanımının betonun daha işlenebilir olması dolayısı ile betonarme demirinin sık olduğu kesimlerde kolay bir yerleştirme ve iyi bir kompasite

sağlamaktadır. Akışkanlaştırıcıları kimyasal bileşimlerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz [40]:

- Yoğun melamin formaldahid sülfonatlar
- Yoğun naftalin formaldahid sülfonatlar
- Modifiye naftalin formaldahid sülfonatlar
- Modifiye edilmiş linyosülfonatlar
- Yukarıdakilere, çökme kaybını önleyici maddeler karıştırılarak üretilenler [40].

HA katkı maddesinin geleneksel SA'dan farkı, çimento dağılımının etkinliğini artıran yeni ve benzersiz etki mekanizmasıdır. Uzun zincirli karboksilik eter polimerlerden oluşur. Karıştırma işleminin başlangıcında, geleneksel SA'larda olduğu gibi elektrostatik itme mekanizmasını harekete geçirir. Bu işlemle su ihtiyacı büyük ölçüde azalan akışkan bir beton elde edilir. Ancak polimer omurgasına bağlanan zincirler çimento taneciklerinin dağılma ve yayılma yeteneğini büyük ölçüde stabilize ederek, sterik bir engel oluşturur. Bu sayede daha düşük su ile yüksek akışkanlık sağlanır. Ayrıca bu katkıların betona kazandırdığı avantajlar da söz konusudur. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir [41]:

- Üretilen betonun erken – geç basınç ve çekme dayanımını, çeliğe aderansını ve geçirimsizliğini artırır.
- Düşük s/ç oranına sahip, ayrışma ve kasma riski az beton elde edilir.
- Düşük sıcaklıklarda bile erken yüksek dayanımlı beton üretimini sağlar.
- Kalıp sökme süresini minimuma indirir.
- Ayrışma ve terlemeyi azaltarak, betonun aşınma direncini artırır.
- Beton karışımlarında düşük s/ç oranı, erken yüksek dayanım ve terlemeyi azaltma özellikleri sayesinde; reçine bazlı zemin kaplama sistemlerinin yeni beton üzerine uygulanmasındaki süreleri kısaltır.
- Betonun donma – çözünme döngüsüne karşı dayanıklılığını artırır.
- Tüm çimento tipleri ile uyumlu olarak çalışır. Malzeme farklılaşmasına karşı az hassasiyet gösterir [41].

2.4.6. Taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonun deney metotları

Geleneksel beton üretiminde kalite kontrol safhasında taze betonun çökme değeri ve betonun belirli yaştaki (genellikle 28 günlük) basınç dayanımı pratikte en çok kullanılan iki parametredir. Geleneksel beton basınç dayanımına göre sınıflandırılmasına karşın KYB'yi tanımlamada taze haldeki özellikleri esas alınır [42]. Bu yüzden KYB tanımında kendiliğinden yerleşebilirlik deneylerinin önemi büyüktür. KYB'nin basınç dayanımı, düşük su / toz oranı ve puzolanik fillerlerin etkisi nedeniyle genellikle öngörülen değerden yüksek çıkmaktadır. Bu yüzden dizaynda basınç dayanımı hedefi ikinci plandadır [43].

Son zamanlarda 23 büyük şirket, araştırma enstitüleri ve 12 ülkeden üniversitenin iştirakiyle KYB için deneylerin kullanılabilirliği incelenmiştir. Testleri ortaya çıkarmak için KYB'nin özellikleri olan dolgu yeteneği, geçiş yeteneği ve ayrışma direncini ölçmek amaçlanmıştır. Referans metotlar olarak Avrupa standartlarına 4 test önermişlerdir [43]. Bunlar;

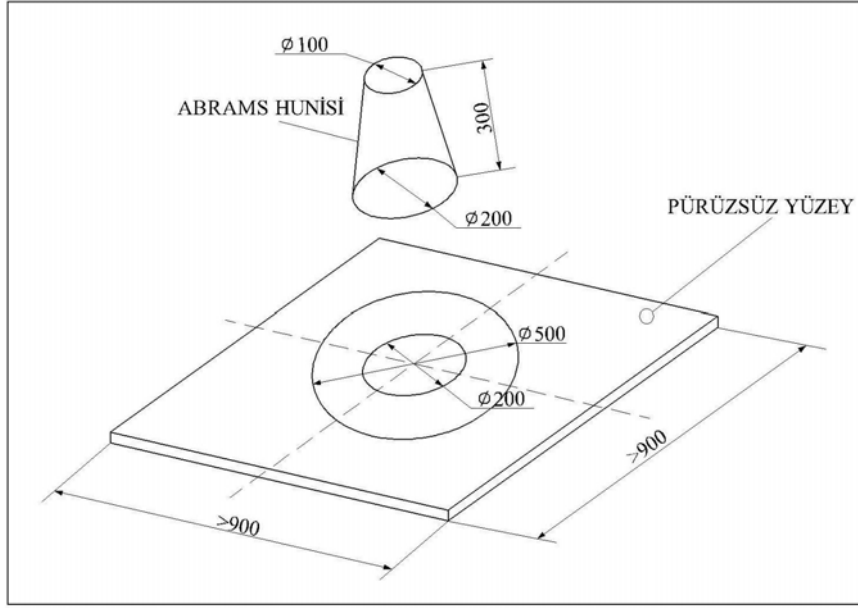
- *Çökme sonrası yayılma testi (toplam yayılma ve T_{50} zamanı)*: Dolgu yeteneğini değerlendirmek için.
- *L kutusu testi*: Geçiş yeteneğini değerlendirmek için.
- *J halkası testi*: Geçiş yeteneğini değerlendirmek için.
- *Elek stabilite testi*: Ayrışma direncini ölçmek için [43].

Diğer 3 test alternatif metotlar olarak standardizasyon için önerilmiştir. Bunlar ise;

- *V hunisi testi*: Kısmen dolgu yeteneği ve bloklaşmayı değerlendirmek için.
- *Oriment testi*: Kısmen dolgu yeteneği ve bloklaşmayı değerlendirmek için.
- *Penetrasyon testi*: Ayrışma direncini değerlendirmek ve muhtemelen elek stabilite testiyle kombinasyonda kullanılır [43].

T₅₀ süresi – yayılma

Bu deney çökme (ASTM C143-90a) deneyinin bir modifikasyonudur ve standartlara geçmiş bir deney olmamasına rağmen, akıcı kıvamlı betonlarda araştırmacıların tercih ettiği bir deneydir [3]. Şekil 2.5’de bu deneyin düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.5. Yayılma deneyi düzeneği

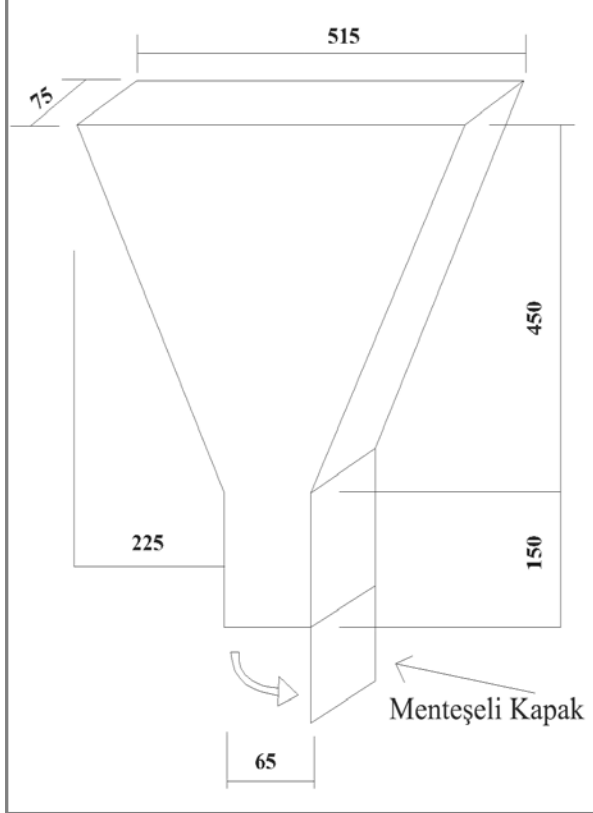
Yayılma deneyi geleneksel çökme hunisi kullanılarak gerçekleştirilir. Slump deneyinden farkı düşey yükseklik yerine yatay yayılma mesafesi ölçülür. Yayılma testi bilinen Abram’s konisinden (yüksekliği 300 mm, en alt çapı 200 mm, en üst çapı 100 mm) yararlanılarak yapılır. Ayrıca 1000 mm x 1000 mm boyutunda yayılma tablası kullanılır. Yayılma tablası üzerinde 20 cm ve 50 cm çaplı iki daire çizili olarak bulunmaktadır. Tamamen düz bir yüzeye yerleştirilen yayılma tablasının yüzeyi nemlendirildikten sonra merkezine Abram’s konisi yerleştirilir ve yaklaşık 5,5 litre beton ile doldurulur. Daha sonra koni tablaya dik olarak çekilir ve 50 cm çapındaki daireye yayılması sağlanır. Yayılma tamamen durduktan sonra birbirine dik iki yönde çap ölçülerek ortalama yayılma çapı hesaplanır. Deney sonuçlarına göre yüksek yayılma değeri, akışkanlığı yüksek beton anlamına gelmektedir. Yayılma mesafesi 600 mm’den büyük ise kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayacak yeterli bir karışım sağlanmış demektir. Buna ek olarak yayılma mesafesinin yanında

koni kaldırıldıktan sonraki andan yayılmaya başlayan betonun 50 cm çapındaki daireye ulaştığı ana kadar geçen süre de ölçülür. T_{50} zamanı olarak adlandırılan bu süre saniye olarak kayıt edilir [44].

Yayılma deneyinde sonucu etkileyebilecek değişkenlikler daha çok deneyi yapan kişinin kullandığı aparat ve yöntem (koniyi çekme hızı ve doğrultusu, yayılma tablasının malzeme sürtünme katsayısı, huni ve tablanın yüzey nem durumu), karışım oranlarındaki elde olmayan değişkenliklere (stok sahasında agrega nem değişkenliği, agrega gradasyonundaki değişkenlikler) bağlıdır [3].

V hunisi

V şekilli akış hunisi taze beton viskozitesini dolaylı yoldan ölçmek amacıyla kullanılır [45]. Şekil 2.6’da deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.6. V hunisi deney düzeneği

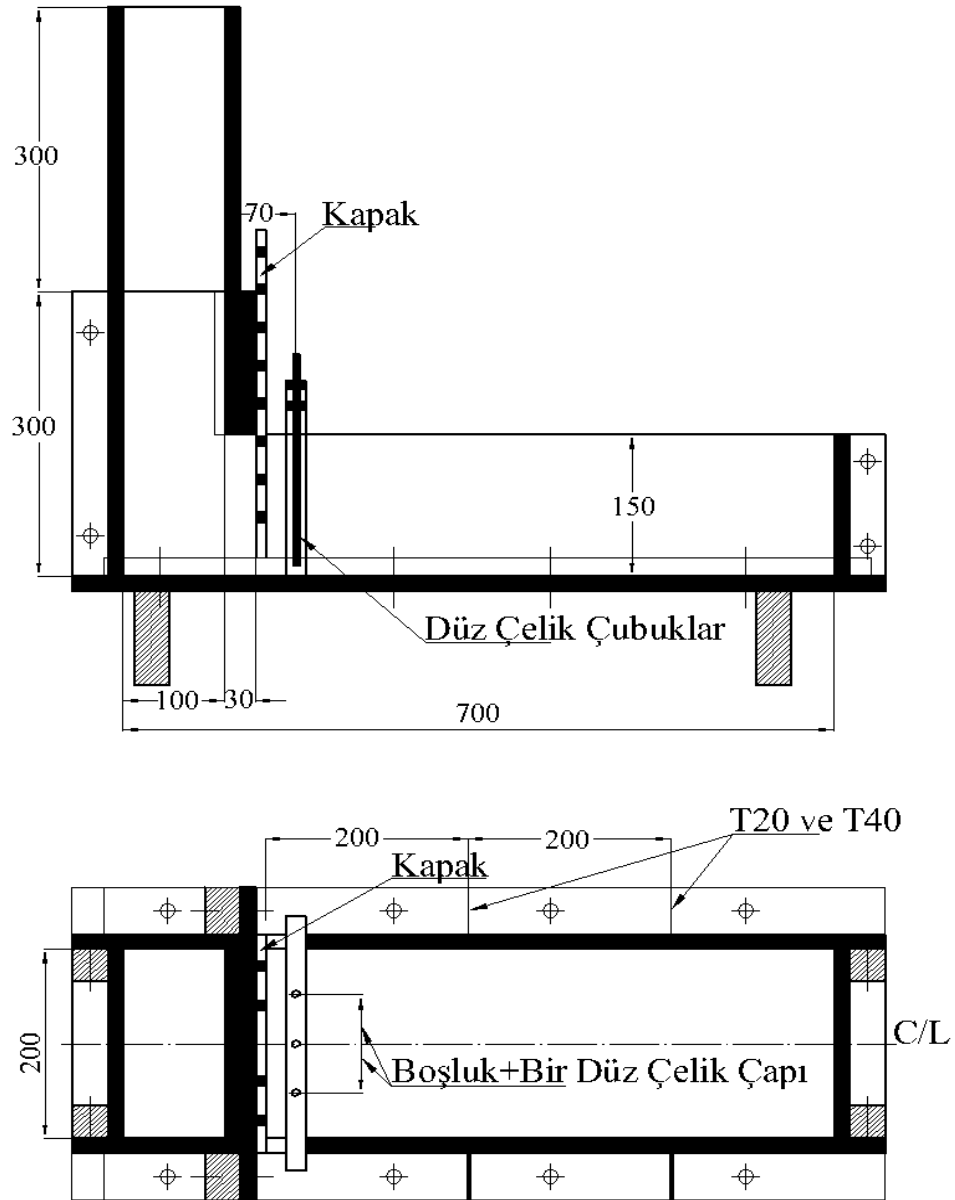
KYB'nin dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacı ile yapılan bir deneydir. Akış hızının belirlenmesi ve gözlem yapılması sureti ile KYB'nin viskozitesi hakkında bilgi veren bu deney yönteminde, belirli aralıklarla belirlenen akış sürelerinin kullanılması sonucu ayrışma direnci hakkında da bilgi edinilmektedir. Bu deney için maksimum agrega boyutu 25 mm'yi geçmemelidir. Deney düzeneği V şeklinde dikdörtgen kesitli bir huniden oluşmaktadır. Denek için yaklaşık 12 – 15 litre hacme sahip taze beton gereklidir. Huninin en alt kesitinde betonun akışına izin vermek üzere kullanılan bir kapak bulunmaktadır. Deney düzeneğinin yüzeyleri nemlendirildikten sonra üst yüzeye kadar beton ile doldurulur. Alt kapağın açılması ile beton V hunisinden akmaya başlar. Kapağın açıldığı anda, üstten bakıldığında alt kesitte ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre ölçülür. Deney sırasında sürekli ya da geçici olarak, akışın bloklaşma nedeni ile engellenip engellenmediği gözlemlenir ve not edilir. Kullanılan beton deney tamamlandıktan 5 dakika sonra tekrar test edilir ve süre tekrar kaydedilir. Yaklaşık 10 saniye olması gereken akış süresi betonun akıcılığı hakkında bilgi verirken, 5 dakika ara ile yapılan ölçümler arasındaki fark segregasyon direnci hakkında bilgi vermektedir. Normal olarak iki defa deney yapılması yeterlidir fakat üç kez yapılması önerilir [44].

Deneyin yapılışı sırasında beton akmıyorsa yani tıkanma varsa, bunun iki nedeni olabilir; eşik kayma gerilmesi betonun ağırlığının yarattığı gerilmeden büyüktür. Bir başka tıkanma sebebi de betonun yeterli stabiliteye sahip olmaması durumunda ortaya çıkan ayrışma ile agrega tanelerinin çıkış ağzında birikerek kenetlenme yarattığı tıkanmadır. Bu yüzden V kutusu deneyi ayrışma ile ilgili gözlemsel sonuçlar elde edilebilecek bir deneydir [45].

L kutusu

Betonun donatılar arasından geçişi sırasında bloke olup olmayacağının belirlenmesinde etkilidir [3].

Şekil 2.7'de deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.7. L kutusu deney aparatı kesiti

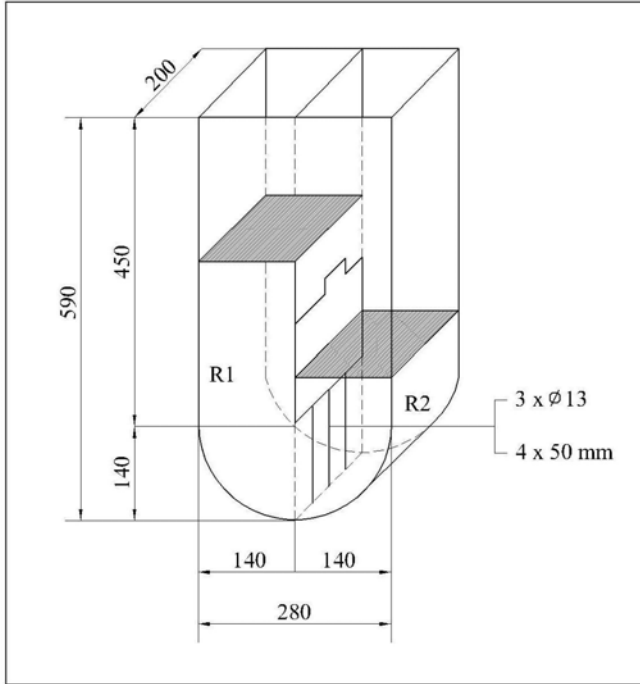
Betonun düşey kolon kesitinden yatay bir oluk içine akması sağlanarak yapılır. Temel olarak test sonucu engelleme oranı H_2 / H_1 olarak belirlenir. Bu oran beton donatıların arasından oluğa geçtikten sonraki yüksekliği H_2 'nin, düşey doğrultudaki en büyük yükseklik H_1 'e bölünmesiyle hesaplanır. L kutusu deney düzeneği yatay ve

düşey olmak üzere iki hazneden meydana gelmektedir. Düşey haznenin sonunda gerçek durumdaki donatıları simgeleyen donatılar bulunmaktadır. Bu donatıların açıklıkları kullanılan maksimum agrega boyutuna ve lif boyutuna göre değişmektedir. Dikey haznenin sonunda bir de kapak bulunmaktadır. Bu kapak aracılığı ile betonun akışına izin verilmekte ve donatılar arasından akması sağlanmaktadır. Deneye başlamadan önce düzeneğin iç yüzeyleri yağlanır, nemlendirilir ve dikey haznenin ucundaki kapak kapatılır. Yaklaşık 12 litre hacmindeki beton düşey hazneye yerleştirilerek 1 dakika süre ile bekletilir. Bu gecikmenin amacı betonun oturmasına izin vermek ve şayet varsa belirgin bir segregasyonu gözlemlemektir. Herhangi bir şekilde sıkıştırma enerjisi uygulanmadan düşey hazneye doldurulmuş olan beton, kapağın kaldırılması ile yatay haznede bulunan donatılar arasından geçerek akmaya başlar. Yatay oluk içerisinde sürme kapıdan sonra 200 mm ve 400 mm mesafede iki adet işaret bulunmaktadır. Buna ek olarak temel sonuç oluk içindeki betonun 200 mm'ye ulaştığı an T_{20} ve 400 mm'ye ulaştığı an T_{40} saniye olarak ölçülür. Akış tamamlandıktan sonra her iki uçtaki beton yükseklikleri ölçülerek birbirine oranlanır (H_2 / H_1). Bloklaşma oranı olarak bilinen bu değer, T_{20} ve T_{40} değerleri ile birlikte tıkanma olasılığı hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Uygulayan kişinin tecrübesinin önem kazandığı bu deneyde geçiş yeteneği, ayrışma ve tıkanma olasılığı ile birlikte akış özellikleri hakkında da önemli verilere ulaşmak mümkün olmaktadır [44].

U kutusu

Bu deney yöntemi, KYB'lerde ve su altı betonlarında akış yeteneği ve doldurma kapasitesini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Maksimum agrega boyutu 25 mm'den küçük seçilir. U şeklindeki bu alet arada metal plaka ile iki bölmeye ayrılmış olup plaka tabana kadar devam etmemektedir ve taban kısmında kayıcı bir kapak bulunmaktadır. Mevcut kapağın önünde ise gerçek durumu temsil eden, 13 mm çapında ve 35 mm net açıklığa sahip donatılar bulunmaktadır. Bu donatılar yerleştirildikten sonra kapak kapatılarak ilk hazneye yaklaşık 20 litre beton doldurulur. Bir dakika boyunca burada bekletilen beton, kapağın açılması ile birlikte diğer hazneye doğru akmaya başlar. Akış tamamlandıktan sonra iki haznedeki

betonun yükseklikleri ölçülerek aradaki fark belirlenir. Elde edilen bu değer ile betonun doldurma yeteneği hakkında veri elde edilmektedir. Her iki haznedeki beton yükseklikleri 3 farklı noktadan ölçülür ve ortalama değerler kullanılarak yükseklik farkı hesaplanır. Bu farkın 30 cm'den küçük olması durumunda betonun doldurma yeteneğinin yeterli olduğu kabul edilmektedir [44]. Şekil 2.8'de deney düzeneğine yer verilmiştir.



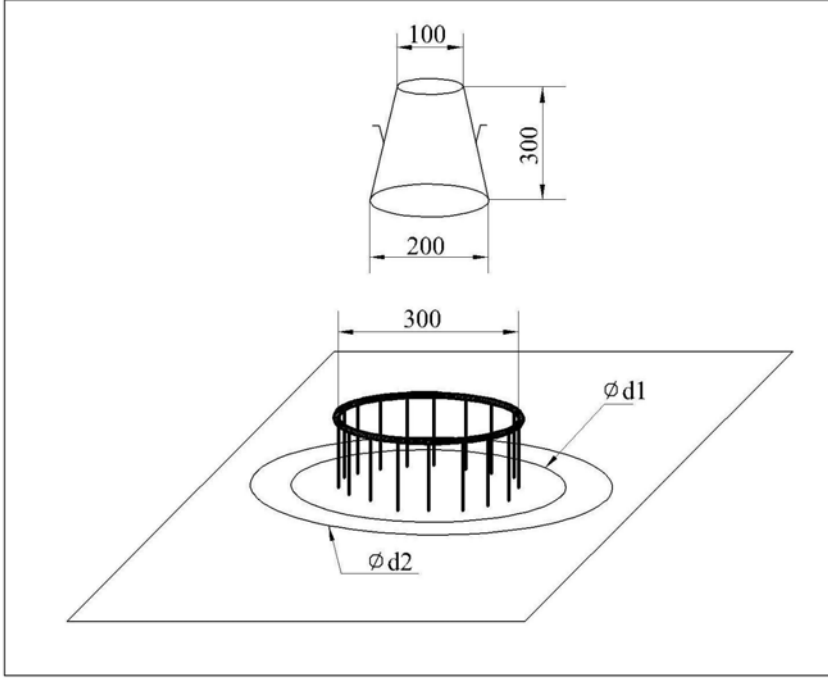
Şekil 2.8. U kutusu deney aparatı

J halkası

J halkası deneyi, yayılma deneyi ile bir arada uygulanır. Aparat 30 cm çaplı halkaya sabit aralıklarla dikey çelik çubuklar bağlanmasıyla yapılmıştır. Bu çubuklar donatıları temsil etmektedir. Çubuklar arası açıklık, kullanılacak betonun maksimum agrega çapının üç katından az olmamalıdır [46].

Aparat 30 cm çaplı halkaya sabit aralıkta dikey çelik çubuklar bağlanmasıyla yapılmıştır. Bu çubuklar donatıları temsil etmektedir. Çubuklar arası açıklık, kullanılacak betonun maksimum agrega çapının 3 katından az olmamalıdır. Yayılma

deneyi yapılırken J halkası da Şekil 2.9’da görüldüğü gibi yerleştirilir. Yayılma sonrası merkez ve halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri ölçülür ve bu yükseklik farkına göre geçiş yeteneği belirlenir [47].



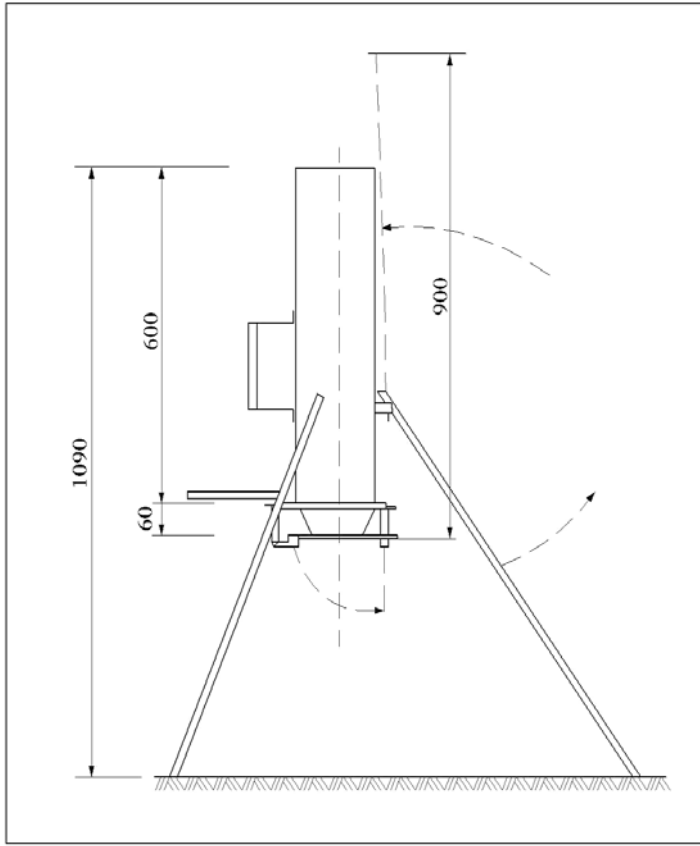
Şekil 2.9. J halkası deneyi düzeneği

Büyük yayılma, hem doldurma hem de akış kabiliyeti yüksek demektir. Bununla beraber yeterli geçiş kabiliyeti, betonun halkanın içi ile dışı arasındaki mesafeye bağlıdır. Eğer bu kısa mesafe 10 mm’den az değil ise KYB yeterli geçiş kabiliyetine sahip demektir [44].

Oriment testi

Oriment deney aparatı 600 mm uzunluğunda ve 80 mm çapında bir tüp ve tüpün altında açılabilir kapaktan oluşur. V tipi akma hunisindeki gibi betonun yükü boşaltma süresi ölçülür. Daha çok su altında betonların viskozitesini belirlemede kullanılır [46].

Şekil 2.10’da deney düzeneğine yer verilmiştir.



Şekil 2.10. Oriment testi deney düzeneği

Bu test taze halde KYB karışımında doldurma kolaylığını ölçmek için şartnamelere uygun biçimde ve aynı şekilde betonun hareketini hızlı bir şekilde kontrol etmek için uygulanır. Sonuç, normal olarak taze karışımın akış zamanıdır. Bu zaman borunun içerisindeki betonun düşmeye başladığı andan, borunun altında bulunan standart kovanın içine düştüğü ana kadar geçen süredir. Bu deneyde düzeneği doldurmak için yaklaşık 7,5 litre taze beton gereklidir. Genel olarak deney iki kez uygulanır. İlk sonuç değerlendirmeye alınmaz, boru temizlenmeden ikinci kez uygulanır. Boru kalıp temizlenmeden elde edilen değer dikkate alınır. Bu şekilde taze betonda karışımın doldurma veya geçme kolaylığı ölçülür. Oriment uygulanması kolay, sağlam ve KYB'nin sahadaki yerleşmesinin en güzel benzetimidir. Herhangi bir ölçü veya kuvvet gerekli değildir. İşlem çok kolay ve hızlıdır, 3 dakika içinde üç deney yapılabilir. Özellikle hazır bir zemin gerekli değildir. Düşeylikten sapma test sonuçlarını etkilememektedir. Akış zamanı değeri arttıkça karışımın viskozite değerinin arttığını gösterir. Segregasyon direnci çok düşük olan bir karışımın iri

agregaların boru içerisinde yerleşmesine sebep olur, akış zamanını arttırır veya akış hareketinin aralıklı olmasına sebep olur [44].

2.4.7. Kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili önceki çalışmalar

Özgüler tarafından yapılan KYB'lerin mekaniksel özelliklerine agrega tipinin etkisi adlı yüksek lisans tezinde, kendiliğinden yerleşen betonların mekaniksel özelliklerine agrega tipinin etkisi incelenmiştir. Bunun için taze ve sertleşmiş betonun özellikleri deneyler yapılarak sonuca gidilmiştir. Deneyde CEM I 42,5 R tipi çimento, Elazığ Palu yöresinde bulunan doğal agrega ve kırma taş kullanılmıştır. İnce madde olarak atık durumdaki bir madde olan Elazığ Eti Krom AŞ'ye ait Ferrochrom tozu 125µ'luk elekten elenerek deneylerde kullanılmıştır. Kimyasal katkı olarak Sika Kimyasalları AŞ'ye ait ViscoCrete 3080-VP katkı maddesi kullanılmıştır. Bu çalışmada, agrega boyutu 16 mm olan 350 ve 400 dozlu küp, silindir ve kırış numunelerden oluşan 4 seri beton deneylere tabi tutuldu. Sertleşmiş betonun mekaniksel özellikleri açısından bakıldığında, kırma taşın kullanıldığı seri III ve seri IV'ün dayanımları normal agreganın kullanıldığı seri I ve seri II'ye göre daha yüksek olması beklenirken, tam tersi olduğu görülmüştür. Bunu sebebi ise kırma taşın fiziksel özelliği itibariyle danelerin köşeli olması yayılmayı olumsuz yönde etkilemiştir. Bunun için ince madde ihtiyacı fazlaştı ve bunun neticesinde sertleşmiş haldeki beton dayanımını düşürdüğü görülmüştür. Sonuç olarak, KYB için agrega tipinin betonun mekaniksel özelliklerine etkisinin olduğunu, KYB'de normal agreganın kırma taşa nispetle kullanılmasının daha uygun olacağı tespit edilmiştir [34].

Nan Su ve arkadaşları tarafından yapılan KYB için karışım metodu isimli deneysel çalışmada, ilk olarak agregadaki gerekli oranların tanımlanması yapılmış ve agreganın boşluklarını dolduran bağlayıcıların birleştirme özellikleri ve betonun akıcılığının özellikleri incelenmiştir. Agreganın miktarı, bağlayıcı ve karışım suyu ilaveten SA'nın türü, dozajı ve kullanılması ile ilgili özelliklerini içeren önemli faktörlerdir. Slump akışı, V hunisi, L kutusu, U kutusu ve basınç deneyleri KYB'nin performanslarını incelemek için sürdürülmektedir ve sonuçlar göstermiştir ki yüksek kaliteli KYB'yi başarılı bir şekilde üretmek için metotlar önermektedir. Japon Hazır

Beton Birliği (JRMCA) tarafından gerçekleştirilen bu metotla karşılaştırıldığında bu metot daha basittir. Uygulanabilirliği kolaydır ve daha az zaman harcanır. Daha az miktarda bağlayıcı gerektirir ve maliyeti tasarruf sağladığını belirtmişlerdir [45].

şahmaran ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yüksek hacimli uçucu kül kullanarak KYB retimi gerçekleştirilebilmektedir. Yayılma testi sonunda betonun yayılma çapı 730 – 800 mm, 50 cm yayılma genişliğine ulaşma süresi ise 2 – 4 sn arasında değişmektedir. Yayılma testi sonunda bütün karışımların KYB özelliği gösterdiği gözlenmiştir. V Hunisi testi sonunda elde edilen akma sürelerinde, karışımların viskozitesi KYB olma standartlarına göre biraz yüksek olduğu gözlenmiştir. Sertleşmiş KYB’ler üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, 28 günlük basınç dayanımları 30 – 40 MPa arasında değişmektedir. Uçucu kül miktarı toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %50’sine kadar olan karışımlarda ilk günlerdeki basınç dayanımı farkı kapanmaktadır [48].

Sağlam ve arkadaşları tarafından yapılan KYB ve katkı – imento uyumu adlı çalışmalarında, değişik adet ve değişik imento çeşitleriyle deneyler gerçekleştirilmiş ve yayılma hızlarını tespit etmişlerdir. Denenen betonların 1 günlük dayanımlarının hem imento, hem de katkı cinsinden etkilendiği, ayrıca bazı imento ve katkıların birlikte kullanılmaları durumunda büyük miktarda hava sürüklendiği ve bunun da dayanımları etkilediği belirlenmiştir. Taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından imento – katkı etkileşmesinin önemli olduğu, bu nedenle uygulamaya geçmeden önce imento – katkı uyum deneylerinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır [7].

Gürdal ve Yüceer tarafından yapılan çalışmaya göre KYB retimi, titizlik gerektirmekte ve çok sıkı denetleme işlemlerini zorunlu kılmaktadır. KYB’nin her türlü karmaşık kalıplarda, vibrasyonun mümkün olmadığı durumlarda, dar ve sık donatılı kesitlerde kullanımı inşaat teknolojisi açısından çok büyük bir kolaylıktır. KYB’nin geliştirilmesi ve hafıf agregalı KYB, elik tel donatılı KYB, polipropilen lif donatılı KYB üzerinde çalışmalar dünya çapında devam etmektedir [8].

Felekoğlu ve Baradan tarafından yapılan çalışmada, KYB'lerin mekanik özellikleri ile ilgili deneylerde, KYB tasarımında sabit bir çimento dozajında akışkanlaştırıcı katkı miktarı artırılıp karışım suyu azaltıldıkça, yayılma değeri belirli sınırlar arasında tutulurken viskozite hızla artmaktadır. Sabit bir çimento dozajı ve agrega gradasyonunda, su / toz oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır. Bu çalışmada üretilen KYB'lerin çekme dayanımları aynı dayanım sınıfındaki normal betonlara kıyasla %3 – %17 arasında değişen oranlarda daha yüksektir. Üretilen KYB'lerin elastisite modülünde normal betonlara kıyasla önemli bir farklılık gözlenmemiştir. L kutusu karot deneyleri ile KYB'nin yatay yönde akışında ayrışma meydana gelip gelmediği belirlenebilir [49].

Şimşek ve arkadaşları tarafından yapılan vibrasyon süresinin betonun basınç dayanımına ve birim ağırlığına etkisi adlı çalışmada, toplam 40 adet 10 cm'lik küp numuneler hazırlamışlardır. Hazırlanan küp numunelerine masa vibratörü kullanarak değişik sürelerde vibrasyon uygulanmış, numunelerde tek eksenli basınç deneyi yapılmış, basınç dayanımları ve birim ağırlıkları belirlenmiştir; yazarlar betonda vibrasyonun betonarme için önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. KYB de ise herhangi bir vibrasyona gerek olmadığı için hem zaman hem gürültü hem de ekonomik açıdan büyük bir avantaj sağladığı söylenebilir [50].

Jacobs ve Hunkeler tarafından yapılan çalışmada; çimento, kimyasal ve mineral katkılar ve kum arasındaki etkileşimi incelemek üzere harç üzerinde bazı reolojik incelemeler yapılmıştır. Bu sonuçlara dayanarak en uygun beton bileşenleri saptanmış ve laboratuarda beton üretmişlerdir. KYB'nin yüksek kalite ve dayanıklılıkta üretilebileceği, bunun için yeterli sayıda laboratuvar deneylerinin ve küçük çaplı saha denemelerinin yapılarak bu konuda deneyin kazanılması gerektiği fikrine varmışlardır [51].

Türkel ve Felekoğlu tarafından yapılan çalışmada; normal, süper ve hiperakışkanlaştırıcı sınıfına giren farklı kimyasal kökenlere sahip akışkanlaştırıcı katkıların üretici firmalar tarafından tavsiye edilen dozajlarda veya daha fazla

miktarda kullanılması halinde betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada kullanılan tüm akışkanlaştırıcı katkıları için 28 günde en yüksek basınç dayanımının elde edildiği optimum katkı dozajını belirlemişlerdir. Bu oran çimento ağırlığının %'si normal, SA ve HA için %1,9, %2,0 ve %0,7 almışlardır. Stabilitesini koruyamayan katkılı bir karışım, aynı özelliklere sahip kontrol karışımından daha yüksek basınç dayanımına sahip olabileceğini. Fakat ayrışan bu karışım geç yaşlarda dayanıklılık açısından sorun çıkarmaya aday olduğunu tespit etmişlerdir [52].

Sümer ve Söyler tarafından yapılan çalışmada; yüksek dayanımlı betonun özellikleri ve önemi araştırılmış, bu amaçla yüksek dayanımlı beton üretimi yapılmıştır. Bunu yaparken de, yüksek dayanımlı beton üretiminde çimento ve beton katkı maddelerinin etkinliği incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma ile ayrıca betonların basınç dayanımları ölçülmüş ve 7 günlük mukavemeti 80 MPa'yı aşan beton üretilmiştir. Yapılan çalışmalarda sadece çok iyi kalitede malzemenin bir araya getirilmesi tek başına yeterli olmayabileceğini, iyi bir işçilik üretim kontrolü, iyi boyutlandırma ve detaylandırma sayesinde üretilen betondan istenilen verim alınabileceğini tespit etmişlerdir. Yapılan çalışma ülkemizde yaşamış olduğumuz depremlerde 80 – 100 kg/cm²'lik dayanımlara rastlanırken BS 60 – 80 civarındaki betonların ekonomik olarak üretilebileceğini göstermiştir [40].

Wenzhong Zhu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; KYB'nin yayılma özelliği incelenmiştir. Bu makalede yayılma özelliği, geçirgenlik, yayılma gücü vb. ile beton dayanıklılık karakteristiklerinin yaygın olarak kullanılmalarını içermiştir. Aynı mukavemet derecelerine sahip geleneksel vibrasyon referanslı beton ile KYB karışımlarının farklı bölgelerdeki yayılma özelliklerinin karşılaştırılması ile ilgili deneysel bir çalışma olarak sunulmuştur. KYB karışımlarının karakteristik küp basınç dayanımları 40 – 60 MPa olarak tasarlanmış, ilave olarak ne dolgu gereci olarak toz malzeme nede herhangi bir dolgu gereci kullanılmamıştır. Sonuçlar göstermiştir ki KYB karışımları normal vibrasyona tabi tutulmuş aynı mukavemet derecesine sahip normal beton referansından önemli derecede düşük oksijen geçirimsizliğine sahiptir [53].

Aruntaş ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; KYB'nin özellikleri üzerine atık mermer tozunun etkisi incelenmiştir. KYB karışımlarında s/ç oranı, HA miktarı ve bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. HA katkı, beton karışımlarına çimento miktarının (ağırlıkça) %1,5 oranında katılmıştır. Atık mermer tozu, çimento ile ağırlıkça %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ikame edilerek KYB içinde kullanılmıştır. 15 cm'lik küp numuneler üzerinde 3, 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Atık mermer tozu katkılı KYB'ler fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından hem birbirleriyle hem de kontrol betonu ile karşılaştırılmıştır. KYB'ler arasında en yüksek basınç dayanımı %20 atık mermer tozu katkılı betonda elde edilmiştir. Deney sonuçları atık mermer tozunun KYB içinde kullanılabileceğini göstermektedir [2].

Topçu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; uçucu kül, kireçtaşı tozu, tuğla tozu ve mermer tozunun KYB'de ince malzeme olarak kullanılması durumunda katkı gereksinimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Günümüzde KYB uygulamaları yaygınlaşma sürecindedir. KYB'de akışkanlığı sağlamak amacıyla uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik malzemelerin yanı sıra taş unu gibi ince malzemelerde kullanılmaktadır. Deneyler yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen KYB harçları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Harçların üretimlerinde ince malzemeler çimentoyla belirli bir oranda yer değiştirilmiş ve %0,5 ten %2,5 oranına kadar kimyasal katkı ilave edilmiştir. 0/4 mm doğal kum ile üretilen harçlar, üzerinde mini çökmede yayılma ve V hunisi testleri yapılmıştır. Rölatif çökmede – yayılma ile s/ç oranı arasındaki ilişkiden gerekli olan katkı miktarı çimento ağırlığının yüzdesi olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçları seçilen mineral katkıların katkı gereksinimine dikkat edilmesi gerektiğini göstermiştir [54].

Eroğlu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; karışım parametrelerinin KYB'nin taze özellikleri üzerine etkileri, bir istatistiksel deney tasarım tekniği olan “merkezi kompozit tasarım” yöntemi kullanılarak oluşturulan deney programı çerçevesinde araştırılmıştır. Bu amaçla, karışımlarda uçucu kül yüzdesi, s/b oranı, süper akışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkı miktarları deneysel programın değişkenleri olarak belirlenmiş ve yayılma çapı, V hunisi, L kutusu ve ayrışma

deneyleri “merkezi kompozit tasarım” yöntemi yardımıyla oluşturulan 21 farklı beton karışımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu karışımlardan elde edilen deney sonuçları kullanılarak bahsi geçen deneylerde ölçülen taze beton özelliklerini matematiksel olarak ifade eden anlamlı istatistiksel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller uçucu kül yüzdesi, s/b oranı, SA ve viskozite düzenleyici katkı oranlarının KYB’nin taze haldeki özelliklerine etkilerini açıklamak için kullanılmıştır. Elde edilen modeller incelendiğinde, beton karışımının s/b oranı, bu çalışmada kullanılan parametreler ile oluşturulan modellerde en yüksek katsayıya sahip olması nedeniyle, KYB’nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme özeliği üzerinde en etkili parametre olduğu görülmüştür. Buna ilave olarak, polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı katkının, KYB’nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme yeteneklerini artırırken, özellikle düşük oranlarda uçucu kül kullanılmasın durumunda ayrışma direncini düşürdüğü sonucuna varılmıştır [55].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

KYB üretiminde CEM I 42,5 R çimentosu, doğal agrega, yapay agrega, her iki agreganın tozu, hiperakışkanlaştırıcı (HA) ve su kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

KYB karışımlarında, Baştaş Çimento Fabrikası'ndan alınan CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal analizi, üretici çimento firmasından alınmıştır. Çalışmada kullanılan çimentoya ait fiziksel özellikler ve kimyasal kompozisyon değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R tipi çimentonun, DA ve YA taş tozunun fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon			
Oksit (%)	CEM I 42,5 R	Doğal Dolgu Maddesi	Yapay Dolgu Maddesi
CaO	61,93	52,00	15,09
SiO ₂	20,00	2,93	50,62
Fe ₂ O ₃	3,27	0,28	4,66
Al ₂ O ₃	5,02	0,70	8,27
MgO	1,85	1,38	2,73
SO ₃	2,72	0,06	0,14
Na ₂ O	0,29	0,02	1,91
K ₂ O	0,81	0,15	1,69
Cr ₂ O ₃	-	0,004	0,260
Kızdırma kaybı	1,79	-	-
Çözünmeyen kalıntı	0,81	-	-

Tablo 3.1 (Devam) CEM I 42,5 R tipi çimentonun, DA ve YA taş tozunun fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	CEM I 42,5 R	Doğal Dolgu Maddesi	Yapay Dolgu Maddesi
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3707	-	-
Yoğunluk (g/cm ³)	3,10	2,67	2,74
İncelik (40 mikron üstü) (%)	8,50	-	-
İncelik (90 mikron üstü) (%)	0,40	-	-
Priz başı (dk)	193	-	-
Priz sonu (dk)	251	-	-
Hacim genleşmesi (mm)	1	-	-
Basınç dayanımı (MPa) (28 gün)	48,60	-	-

3.1.2. Agregalar

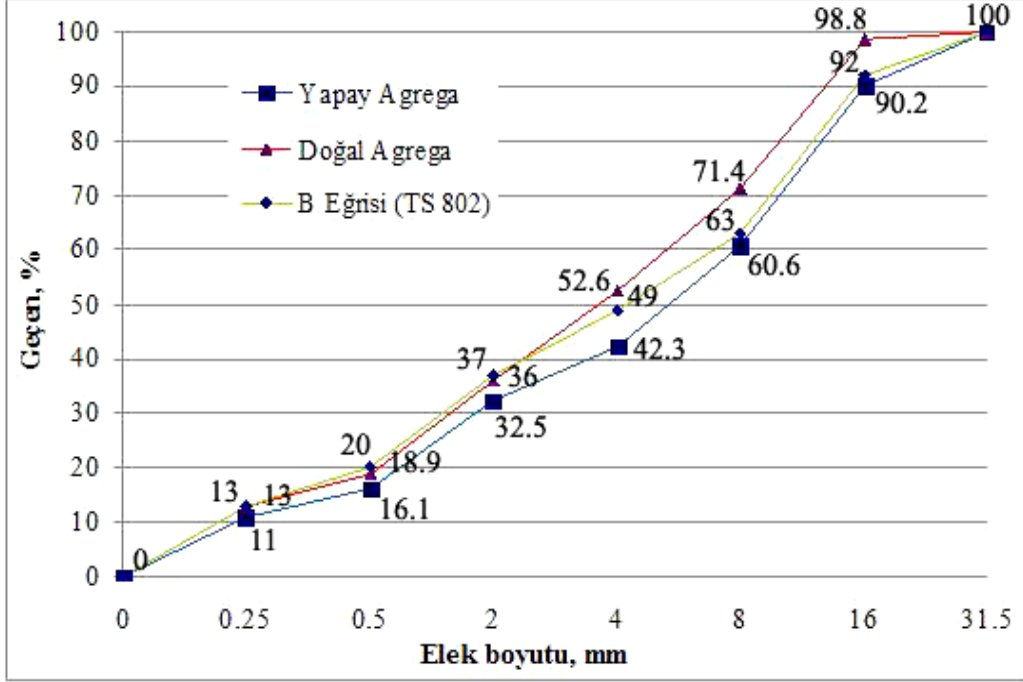
KYB karışımlarında maksimum tane boyutu 16 mm olan doğal ve yapay olmak üzere iki farklı tip tuvenan (karışık) agregalar kullanılmıştır. Doğal agregalar (DA) Bursa – Nilüfer Çayı’ndan çıkartılan dere agregası, yapay agregalar (YA) ise Ankara – Elmadag taş ocaklarından çıkartılan kırma agregadır.

Kullanılan agregaların deneylerle belirlenen bazı özellikleri ise Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Karışıma giren doğal ve yapay agregaya ait özellikler

Agrega Tipi		Yoğunluk (g/cm³)	DKY birim ağırlık (g/cm³)	Su emme (%)
Doğal	4 – 16	2,47	2,54	2,70
	0 – 4	2,36	2,53	6,80
Yapay	4 – 16	2,60	2,65	2,00
	0 – 4	2,63	2,75	4,56

KYB karışımlarında kullanılan agrega tane sınıflarının elek analizi TS 3530'a göre [56] yapılmış ve agreganın granülometrik eğrileri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan doğal ve yapay agreganın granülometri eğrisi

3.1.3. Dolgu Maddesi (Filler)

KYB karışımlarında toz malzeme olarak taş tozu tercih edilmiştir. DA ile hazırlanan karışımlarda doğal agreganın toz malzemesi, YA ile hazırlanan karışımlarda ise yapay agreganın toz malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan dolgu maddesi, 250 μ m'luk elekten elendikten sonra elde edilen ince malzemedir.

3.1.4. Kimyasal katkı

Karışımlara KYB özelliğini kazandırmak için kimyasal katkı olarak Grace ADVA 616 marka, yüksek verime sahip polikarboksilat bazlı bir süper akışkanlaştırıcı olan KYB katkısı kullanılmıştır. Üretici tarafından sağlanan teknik bilgiler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Grace Adva 616 katkısının teknik özellikleri [57]

Teknik Özellikler	
İçeriği	Polimer
Form	Transparan sıvı
Homojenite	Homojen
Renk	Sarımsı transparan
Yoğunluk (g/cm ³)	1,090 ± 0,010
Donma noktası	Yaklaşık - 3 ⁰ C
pH (@ 20 ⁰ C)	4,5 ± 1.0
Toplam klor miktarı	< 0,10 M. -% /(TS EN 480-10)
Suda çözünen klor miktarı	< 0,10 M. -% /(TS EN 480-10)
Alkali miktarı	Yaklaşık 2,0 m. -% (TS EB 480-12)

ADVA 616, ASTM C494 Tip A ve Tip F katkı maddesi ve ASTM C1017 standartlarına uygun olarak üretilmiş KYB katkısıdır [57].

ADVA 616'nın hem klasik, hem de KYB üretiminde kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayırışma olmaksızın son derece yüksek seviyelerde işlenebilirlik özelliğine sahip beton üretimine, ayrıca normal su muhtevasına ve son derece yüksek akışkanlığa sahip KYB üretimine imkân sağlamaktadır.

ADVA 616 ile üretilen KYB ilk işlenebilirlik özelliğini 60 – 90 dk boyunca korumaktadır. Beton kohezyonu ve reolojisi önemli düzeyde iyileşmekte ve ayrı bir viskozite kontrol karışımına ihtiyaç olmaksızın KYB sıklıkla üretilabilmektedir [57].

3.1.5. Su

KYB karışımlarının hazırlanmasında Ankara ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Metot

Bu çalışmada, taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Yapı Malzemesi ve Beton Laboratuvarlarında yapılmıştır. Beton sınıfı C30 olarak alınmış ve kullanılan tuvenan agrega elenerek

0 – 4, 4 – 8 ve 8 – 16 olmak üzere üç farklı tane sınıfına ayrılarak beton karışımlarında kullanılmıştır.

KYB üretiminde doğal (dere) ve yapay (kırmı taş) olmak üzere iki tip agrega kullanılmıştır. KYB için ayrı bir karışım hesabı olmadığından, KYB’lerin karışım hesabı TS 802 “Beton Karışım Hesap Esasları” Türk standardına [58] göre yapılmıştır. Üretilen bütün KYB karışımlarında bağlayıcı madde miktarı ve s/ç oranı (0,54) sabit tutulmuştur. Katkı malzemesi, çimento ağırlığının %’si olarak karışıma karma suyu ile birlikte katılmıştır.

İki farklı tip agrega ile yapılan çalışma da, ince malzeme olarak farklı oranlarda taş tozu ve kimyasal katkı olarak HA kullanılmıştır. KYB karışımlarında %0,60, %0,75 ve %1,00 katkı oranları kullanılarak toplam 8 adet KYB üretilmiştir.

KYB için ön deneyler yapılarak uygun karışım tespit edilirken bazı problemler ile karşılaşmıştır. İlk hazırlanan karışımla yapılan deneylerde agregaların yayılmayıp yığılımda kaldığı, aynı zamanda çimento şerbetinin ise akıp gittiği gözlenmiştir. Meydana gelen bu segragasyon olayı taş tozu ve HA oranlarının ayarlanmasıyla engellenmiştir.

Mevcut çalışmaların tersine, toz malzeme oranını arttırırken kullanılan akışkanlaştırıcı oranı azaltıldığında ise EFNARC komitesinin KYB için yayınlamış olduğu değerlere uygun karışım sağlanmıştır.

3.2.1. Kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının tasarımı

KYB karışım hesabı, TS 802 standardı esas alınarak hesaplanmıştır. KYB karışım hesapları DA ve YA için biri kontrol betonu olmak üzere 4 farklı oranla yapılarak, toplam 8 adet KYB üretilmiştir.

Şekil 3.1’de gösterilen agrega granülometri eğrisi üzerinden 4 mm’lik ve 0,25 mm (250 µm) elek altı malzeme miktarı belirlenmiştir. 4 mm elek altı malzemede

yapılacak değişikliklerin KYB'nin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisini belirlemek için 250 µm elek altı malzemede değişiklik yapılmıştır.

Şekil 3.1'de 250 µm elek altı malzeme oranının doğal agregada %13, yapay agregada %11 olduğu, 4 mm elek altı malzemenin doğal agregada (DA) %52,6, yapay agregada (YA) %42,3 olduğu görülmektedir.

Buna göre 4 mm elek altı malzeme %100 kabul edilerek DA ve YA içerisinde bulunan 250 µm elek altı malzeme oranı sırasıyla %24,7 ve %26 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4'te, KYB üretiminde kullanılan 0 – 4 agregada düzenlemesine ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

Çizelge 3.4. KYB üretiminde kullanılan 0 – 4 agregada düzenlemesine ilişkin bilgiler

İnce agregada tipi	0 – 4 malzemenin toplam agregada karışımı içindeki oranı (%)	250 µm elek altı içindeki oranı malzemenin toplam agregada karışımı (%)	KYB karışımlarına giren 0 – 4 agregada (%)	250 µm elek altı malzemenin 0 – 4 agregada karışımı içindeki oranı (%)
DA	52,6	13	100 (52,6)	24,7 (13)
YA	42,3	11	100 (42,3)	26,0 (11)

Üretilen KYB karışımlarının kodlanması aşağıdaki şekilde açıklanmıştır. Örneğin DA-13-0,6 kodunda; DA doğal agregayı, 13 ise 0 – 4 malzeme içindeki 250 µm elek altı toz malzeme oranını, 0,6 ise yüzde cinsinden HA oranını ifade etmektedir. YA-26-0,75 kodunda ise; YA yapay agregayı, 26 ise 0 – 4 malzeme içindeki 250 µm elek altı toz malzeme oranını, 0,75 ise yüzde cinsinden HA oranını ifade etmektedir.

DA ve YA ile üretilen KYB karışımlarında 0 – 4 ince agregada içindeki 250 µm elek altı malzeme oranları hem DA hem de YA için, hesapla bulunan ve Çizelge 3.4'te verilen oranlar dikkate alınarak belirlenmiş ve Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Üretilen KYB'lere ait 250 µm elek altı malzeme oranlarına ilişkin bilgiler

KYB Kodu	Agrega Tipi	HA (%)	0 – 4 malzeme içindeki 250 µm elek altı toz malzeme (%)
DA-13-0,60	Doğal	0,60	13,0 (kontrol)
DA-18,6-1,00		1,00	18,6
DA-24,7-0,75		0,75	24,7
DA-31,1-0,60		0,60	31,1
YA-11-0,60	Yapay	0,60	11,0 (kontrol)
YA-22-1,00		1,00	22,0
YA-26-0,75		0,75	26,0
YA-29,4-0,60		0,60	29,4

Doğal ve yapay agregalar kullanılarak, her farklı oran için oluşturulan karışım dizaynları Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.6. DA ile üretilen KYB karışımlarına giren malzeme miktarları

MALZEME (kg)		DA-13-0,60 (kontrol)		DA-18,6-1,00		DA-24,7-0,75		DA-31,1- 0,60	
Çimento		383,31		383,31		383,31		383,31	
Toplam	HA	2,29		3,83		2,87		2,29	
Su	Su	204,71		203,17		204,12		204,71	
Hava		-		-		-		-	
0 – 4 (%52,6)	0 – 0,25	802,3	104,30	802,3	150,00	802,3	198,30	802,3	250,00
	0,25 – 4		698,05		652,35		604,05		552,35
4 – 8 (%18,8)		300,12		300,12		300,12		300,12	
8 – 16 (%28,6)		456,57		456,57		456,57		456,57	

Çizelge 3.7. YA ile üretilen KYB karışımlarına giren malzeme miktarları

MALZEME (kg)		YA-11-0,60 (kontrol)		YA-22-1,00		YA-26-0,75		YA-29,4-0,60	
Çimento		416,60		416,60		416,60		416,60	
Toplam	HA	2,50		4,16		3,12		2,50	
Su	Su	222,50		220,84		221,88		222,50	
Hava		-		-		-		-	
0 – 4	0 – 0,25	679,2	74,71	679,2	150,00	679,2	176,70	679,2	200,00
(%42,3)	0,25 – 4		604,51		529,22		502,52		479,22
4 – 8 (%18,3)		297,24		297,24		297,24		297,24	
8 – 16 (%39,4)		639,95		639,95		639,95		639,95	

3.2.2. Kendiliğinden yerleşen betonların üretilmesi

Taze betonların üretilmesinde 50 dm³ hacimli, düşey eksenli bir betoniyer kullanılmıştır.

KYB üretimine başlanmadan önce, ilk olarak betoniyer bir bez ile nemlendirilmiştir. Sonrasında karışımdaki su ve HA betoniye konulup 1 – 2 dk süreyle, sabit hızla karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışıma yavaş yavaş çimento, agrega (iriden inceye doğru) ve taş tozu sırasıyla ilave edilmeye başlanmış ve yine sabit hızla 5 dk daha karıştırma yapılarak işlem tamamlanmıştır.

Üretilen bu taze betonlar üzerinde, KYB için en uygun karışımı elde etmek amacıyla, sırasıyla aşağıdaki taze beton deneyleri yapılmıştır:

- Birim hacim ağırlık
- T₅₀ süresi – yayılma
- V hunisi
- L kutusu

3.2.3. Taze beton deneyleri

KYB'ler üzerinde taze beton deneyleri yapılırken tüm karışım serileri için sırasıyla birim hacim ağırlık, T_{50} süresi, V hunisi ve L kutusu deneyleri yapılmıştır.

T_{50} süresi – yayılma deneyi KYB'nin deformasyon hızının gözlenmesini ve yayılmanın istenilen ölçülerde olup olmadığını kontrol etmek için, V hunisi deneyi viskoziteyi ölçmek amacıyla, L Kutusu deneyi ise donatılar arası geçiş yeteneğini belirlemek amacıyla yapılmıştır [59].

Birim hacim ağırlık

Bu deney, taze KYB'nin birimdeki teşkil ettiği ağırlığı belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Yapılan bu deneyde alet olarak 3 dm³'lük bir kap, şişleme çubuğu ve mala kullanılmıştır. Hacmi belli olan kap 3 seferde doldurup, her katı 25 defa şişlenmiştir. İçerisi KYB ile dolu olan kabın üst kısmı mala aracılığıyla düzleştirilip, hassas terazide tartılmıştır. Çıkan değer kabın hacmine bölünerek kayıt edilmiştir.

T_{50} süresi – yayılma

Yayılma ve T_{50} süresi deneyleri, akışkanlık ve engel olmaması halinde KYB akış oranını değerlendirmek için kullanılan deneylerdir ve EN 12350-2'de açıklanan çökme deneyine dayanmaktadır. Elde edilen sonuç olarak KYB doldurma yeteneğinin bir göstergesidir. Ayrıca T_{50} süresi ise akış hızının bir ölçümüdür ve dolayısıyla KYB'nin viskozitesidir [10].

Yapılan bu deneyde alet olarak çökme (slump) hunisi ve 90 x 90 cm ebatlarında düz bir tabla kullanılmıştır. Çökme hunisi, geniş ağzı altta olacak şekilde tablaya konulmuştur ve içerisi KYB ile ağzına kadar doldurulup bir mala aracılığıyla üst kısmı düzleştirilmiştir. Slump hunisi sabit hızla ve sarsmadan çekildiğinde dairesel

olarak yayılan KYB'nin birbirine dik iki çapı ölçülmüş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu işlem yapılırken bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman dikkatle alınmış ve bu süre zarfındaki yayılma çapı ölçülerek kayıt edilmiştir.

V hunisi

V hunisi deneyi, KYB'nin viskozite ve doldurma yeteneğini değerlendirmek için yapılmaktadır [10].

Yapılan bu deneyde V hunisi kullanılmıştır. V hunisi deney aletinin içi biraz nemlendirilerek deney ortamına getirilmiş ve bir el küreği yardımıyla ağzına kadar KYB ile doldurulduktan sonra, en altta bulunan sürgülü kapak açılmış ve V hunisinin üst kısmından KYB'nin akış yönü doğrultusunda bakılarak, görülen ilk ışıktaki kronometre durdurulup kaydedilmiştir. Böylece elde edilen sonuç bizlere KYB'nin V hunisi değerini vermiş olur.

L kutusu

L kutusu deneyi; taze KYB'nin donatılar arasından geçiş yeteneğini, ayrışmaya karşı direncini ve doldurma yeteneğini değerlendirmek için kullanılır [10]. Yapılan bu deneyde L kutusu deney aleti kullanılmıştır.

L kutusunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel teşkil edecek demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilip betonun diğer bölüme ulaşması beklenmiştir. Son olarak betonun akma doğrultusunda bulunan yatay kısmının en sonunda bulunan betonun ortalama derinliği (H_2 , mm) ve kapağın hemen arkasındaki betonun ortalama yüksekliği (H_1 , mm) ölçülüp kayıt edilmiştir.

Betonun geçme oranı (GO) hesabı aşağıdaki denklemle hesaplanır [10]:

$$GO = H_2 / H_1 \quad (3.1)$$

Burada;

GO : Geçme oranı

H₁ : Kapak arkasındaki ortalama yükseklik

H₂ : Yatay kısmın sonundaki ortalama yükseklik olarak geçmektedir.

23 °C ± 1 °C olan laboratuvar ortam sıcaklığında üretilen numuneler üzerinde taze beton deneyleri tamamlanıp en uygun karışım elde edildikten sonra, KYB karışımı 10x10x10 cm ebatlarındaki küp kalıplara bir el küreği yardımıyla, sıkıştırma yapılmadan doldurulmuştur. Kalıplara doldurulan KYB, 24 saat süre ile kür odasında bekletilmiş ve bu süre sonunda kalıplardan sökülmüştür. Daha sonra etiketlenen betonlar içilebilir ve sıcaklığı 20 °C ± 1 °C su içinde deney gününe kadar kür edilmiştir. Kür ortamında 3, 7 ve 28 gün bekletilen numuneler üzerinde birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Yapılan bu taze beton deneylerinin tümü, her beton türü için 2 tekrarla olmak üzere aynı koşullarda ve aynı titizlikte yapılmıştır.

3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri

KYB'ler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapılırken tüm karışım serileri için sırasıyla, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Birim hacim ağırlık

Bu deney, sertleşmiş KYB'nin birimdeki teşkil ettiği ağırlığı belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Yapılan bu deneyde hacmi belli olan küp deney numunelerimizi kürden çıkarıp, doygun haldeki ağırlıkları hassas bir terazide tartılmıştır. Elde edilen değer numunenin hacmine bölünerek çıkan sonuç kayıt edilmiştir.

Birim hacim ağırlık deneyi, her grup için 3 tekrarla yapılarak çıkan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Basınç dayanımı

Basınç dayanımının saptanmasında “TS EN 12390-3; Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini” [60] standardı esas alınmıştır.

Bu deneyin amacı, belirli yaşlardaki beton numunelerin birim alanı taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi ve aynı karışımla üretilen betonun gerçek uygulamadaki elemanının taşıyabileceği yük hakkında fikir yürütmektir [61].

Yapılan bu deneyde yükleme hızı 2,4 kN/sn olan, ELE marka 300 ton kapasiteli pres makinesi kullanılmıştır. Deney numuneleri, kür odasından çıkarıldıktan sonra üzerindeki su bir bez veya havlu ile alınmıştır. Pres makinesinin numune ile temas eden başlık yüzeyleri iyice temizlenip makineye yerleştirilmiştir. Deney numunesinin kırıldığı andaki pres ibresinin gösterdiği en yüksek yük okunmuştur.

Basınç dayanımı deneyi, her grup için 3 tekrarla yapılarak çıkan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Basınç dayanımı değeri, aşağıdaki bağıntıya göre ve tam sayıya yuvarlatılarak bulunmuştur:

$$f_c = F / A_c \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.2)$$

Burada;

f_c : Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm²)

F: Kırılma yükü (N)

A_c : Deney yükü, uygulama yönünde deney numunesi kesit ortalama alanı (mm²) vermektedir [61].

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Taze Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Sonuçları

Üretilen taze KYB’lerin birim hacim ağırlık, T_{50} süresi, yayılma, V hunisi ve L kutusu değerleri, her karışım için yapılan deneylerle belirlenmiştir. DA ve YA ile hazırlanan KYB’lerin taze beton deney sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. DA ve YA ile hazırlanan KYB serisine ait taze beton deney sonuçları

KYB Kodu	Birim Ağırlık	Yayılma	T_{50} Süresi	V Hunisi	L Kutusu
	g/cm^3				H_2 / H_1
DA-13-0,60	2,38	805	1,7	6,0	Okunamadı
DA-18,6-1,00	2,34	780	2,0	6,3	Okunamadı
DA-24,7-0,75	2,35	700	3,5	8,7	1,0
DA-31,1-0,60	2,37	685	4,7	10,0	1,0
YA-11-0,60	2,39	800	2,0	6,2	Okunamadı
YA-22-1,00	2,35	760	2,3	7,0	Okunamadı
YA-26-0,75	2,36	685	2,8	9,0	1,0
YA-29,4-0,60	2,37	670	5,0	11,1	1,0
EFNARC ‘02	-	650 - 800	2 - 5	8 - 12	0,8 – 1,0
EFNARC ‘05	-	550 - 850	<2 - >2	8 - 25	> 0,8

4.1.1. Yayılma

EFNARC 2005’e göre, toplam yayılması 550 – 650 mm olan KYB’ler SF1, 660 – 750 mm olan KYB’ler SF2 ve 760 – 850 mm olan KYB’ler ise SF3 grubunda kabul edilmektedir [10]. Buna göre, DA ile üretilen KYB’lerin tamamının toplam yayılma değerleri EFNARC sınır değerleri arasında yer almaktadır. Üretilen KYB’ler arasında DA-13-0,60 ve DA-18,6-1,00 betonlarının yayılma değerlerinin SF3 grubunda, üretilen diğer KYB’lerin ise SF2 grubunda yer aldığı belirlenmiştir. KYB

karışımlarında kullanılan HA miktarının azalması taze betonun yayılma değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bu azalmayı KYB'deki 250 µm elek altı toz malzeme miktarındaki artışın da etkilediği söylenebilir.

YA ile üretilen KYB'lerin tamamının toplam yayılma değerleri, EFNARC 2005'te belirtilen yayılma sınır değerleri arasında yer almaktadır. Üretilen KYB'ler arasında YA-11-0,60 ve YA-22-1,00 betonlarının yayılma değerlerinin SF3 grubunda, üretilen diğer KYB'lerin ise SF2 grubunda yer aldığı belirlenmiştir. KYB karışımlarında HA kullanım miktarının azalması taze betonun yayılma değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bu azalmayı KYB'deki 250 µm elek altı toz malzeme miktarındaki artışın da etkilediği söylenebilir.

EFNARC 2002'ye göre ise, toplam yayılma değeri 650 – 800 mm arasında olmalıdır [37]. Bu değerler dikkate alındığında kontrol KYB olan DA-13-0,60 dâhil DA-18,6-1,00, DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 betonlarının KYB özelliğini gösterdiği görülmektedir.

YA ile üretilen betonların EFNARC 2002'de belirtilen yayılma değerleri dikkate alındığında, kontrol KYB olan YA-11-0,60 dâhil YA-22-1,00, YA-26-0,75 ve YA-29,4-0,60 betonlarının KYB özelliği gösterdiği görülmektedir.

4.1.2. T₅₀ süresi

EFNARC 2005'e göre, yayılma çapının 50 cm genişliğe ulaşma süresi ≤ 2 s olan KYB'ler VS1, > 2 s olan KYB'ler ise VS2 grubunda yer almaktadır [10]. Buna göre DA ile üretilen KYB'ler arasında kontrol betonu olan DA-13-0,60 betonunun T₅₀ süresi VS1 grubunda, DA-18,6-1,00, DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 betonlarının ise VS2 grubunda yer aldığı belirlenmiştir. KYB karışımlarında kullanılan HA miktarının azalması beklendiği üzere T₅₀ süresi değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bu artışı KYB'deki 250 µm elek altı toz malzeme miktarındaki artışın da etkilediği söylenebilir.

EFNARC 2005'e göre YA ile üretilen KYB'ler arasında ise, kontrol betonu olan YA-11-0,60 betonunun yayılma çapının 50 cm genişliğe ulaşma süresi VS1 grubunda, YA-22-1,00, YA-26-0,75 ve YA-29,4-0,60 betonlarının ki ise VS2 grubunda yer aldığı belirlenmiştir. KYB karışımlarında HA kullanım miktarının azalması beklendiği üzere T_{50} süresi değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bu artışı KYB'deki 250 μ m elek altı toz malzeme miktarındaki artışın da etkilediği söylenebilir.

EFNARC 2002'ye göre ise, yayılma çapının 50 cm genişliğe ulaşma süresi 2 – 5 s arasında olmalıdır [37]. Bu değerler baz alındığında hem DA'lı kontrol KYB olan DA-13-0,60 dahil DA-18,6-1,00, DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 betonlarının hem de YA'lı, YA-11-0,60 dahil tüm betonların KYB özelliği gösterdiği görülmektedir.

Kontrol KYB olan DA-13-0,60 ve YA-11-0,60, EFNARC 2005'te belirtilen yayılma sınırları içinde yer almasına rağmen, T_{50} süresi sınır değerleri içinde, Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi yer alamamıştır. Sonuç olarak DA-13-0,60 ve YA-11-0,60 kontrol betonlarında segragasyon olduğu ve KYB özelliği göstermediği söylenebilir.

DA olan dere agregası ile üretilen KYB'ler, YA olan kırmataş ile üretilenlere göre daha erken yayılma özelliği göstermiştir. Bu durum dere agregasının iç sürtünmesinin düşük olması ile açıklanabilir.

4.1.3. V hunisi

EFNARC 2005'e göre, V hunisi akış süresi ≤ 8 s olan KYB'ler VF1 ve 9 – 25 s arasında olan KYB'ler ise VF2 grubunda yer almaktadır [10]. DA ile üretilen KYB'ler arasında DA-13-0,60 ve DA-18,6-1,00 betonlarının V hunisi akış sürelerinin VF1 grubunda, üretilen diğer KYB'lerin ise VF2 grubunda yer aldığı belirlenmiştir. KYB karışımlarında HA kullanım miktarının azalması V hunisi akış süresi değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bu artışı KYB'deki 250 μ m elek altı toz malzeme miktarındaki artışın da etkilediği söylenebilir.

EFNARC 2005'e göre YA ile üretilen KYB'ler arasında YA-11-0,60 ve YA-22-1,00 betonlarının V hunisi akış sürelerinin VF1 grubunda, üretilen diğer KYB'lerin ise VF2 grubunda yer aldığı belirlenmiştir. KYB karışımlarında kullanılan HA miktarının azalması V hunisi akış süresi değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bu artışı KYB'deki 250 µm elek altı toz malzeme miktarı artışın da etkilediği söylenebilir.

EFNARC 2002'ye göre ise, V hunisi akış süresi değeri 6 – 12 s arasında olmalıdır [37]. Bu değerler dikkate alındığında hem DA ile üretilen hem de YA ile üretilen tüm betonların KYB özelliği taşıdığı tespit edilmiştir.

Diğer taraftan DA ile üretilen KYB'lerde YA ile üretilenlere kıyasla daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum DA olan dere agregasının iç sürtünmesinin daha az olması ile açıklanabilir.

4.1.4. L kutusu

EFNARC 2005'e göre, L kutusu H_2 / H_1 oranı $\geq 0,8$ (2 donatı çubuğu ile) olan KYB'ler PA1 ve $\geq 0,8$ (3 donatı çubuğu ile) olan KYB'ler ise PA2 grubunda yer almaktadır [10]. L kutusu deneyleri 3 donatı çubuğu kullanılarak yapılmıştır. Buna göre, DA ile üretilen KYB'lerden DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 betonlarının PA2 grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Diğer KYB'lerin yani, kontrol betonu olan DA-13-0,60 ve DA-18,6-1,00 betonlarının H_2 / H_1 oranı gözlenememiştir.

EFNARC 2005'e göre, YA ile üretilen KYB'lerden YA-26-0,75 ve YA-29,4-0,60 betonlarının PA2 grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Diğer KYB'lerin yani, kontrol betonu olan YA-11-0,60 ve YA-22-1,00 betonlarının H_2/H_1 oranı gözlenememiştir.

EFNARC 2002'ye göre ise, L kutusu H_2 / H_1 oranı değeri 0,8 – 1,0 arasında olmalıdır [37]. Bu değerler dikkate alındığında hem DA ile üretilen DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 betonlarının hem de YA ile üretilen YA-26-0,75 ve YA-29,4-0,60 betonlarının KYB özelliği taşıdığı görülmektedir.

Kontrol KYB olan DA-13-0,60 ve YA-11-0,60 betonları ile DA-18,6-1,00 ve YA-22-1,00 betonlarının H_2 , yani yatay kısmın sonundaki ortalama yüksekliği oluşmadığı için bir oran elde edilememiştir. Bu durum, Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi, DA ve YA ile üretilen DA-13-0,60, YA-11-0,60, DA-18,6-1,00 ve YA-22-1,00 betonlarının KYB özelliği taşımadığını göstermektedir.

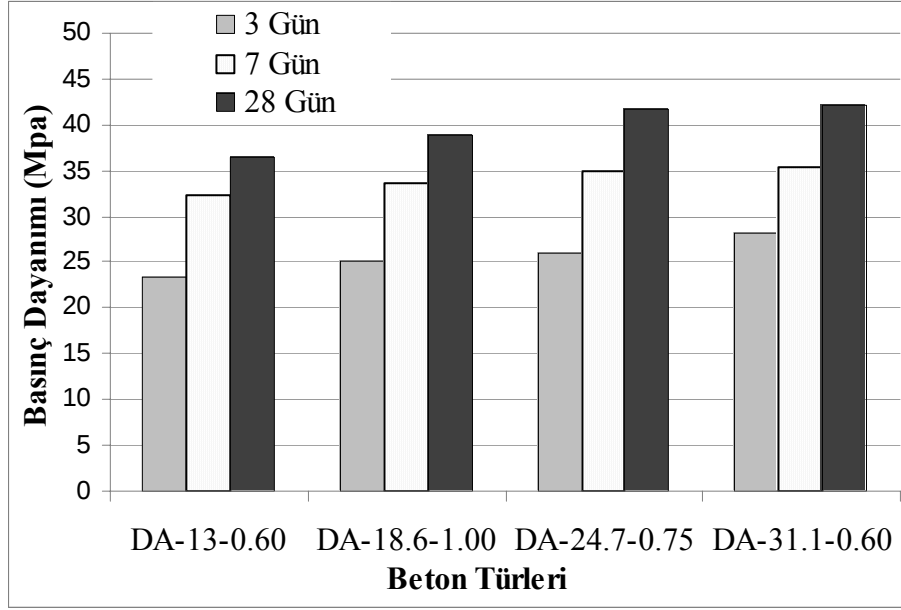
Tüm taze beton deney sonuçları göz önüne alındığında, DA ile üretilen KYB'lerin YA ile üretenlerine kıyasla KYB özelliğini daha çok gösterdiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuç, YA yüzeyinin DA'ya göre daha pürüzlü dolayısıyla iç sürtünmenin fazla olması ve yüzey alanının daha büyük olması ile açıklanabileceği düşünülmektedir.

4.2. Basınç Dayanımı Sonuçları

DA ve YA kullanılarak üretilen KYB'lerin basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. DA ile üretilen KYB'lerde basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir

Çizelge 4.2. DA ve YA ile üretilen KYB'lerin birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı sonuçları

KYB Kodu	Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)			Basınç Dayanımı (MPa)		
	3 Gün	7 Gün	28 Gün	3 Gün	7 Gün	28 Gün
DA-13-0,60	2,28	2,28	2,31	23,4	32,3	36,6
DA-18,6-1,00	2,30	2,30	2,32	25,1	33,7	39,9
DA-24,7-0,75	2,26	2,27	2,26	26,1	35,0	41,8
DA-31,1-0,60	2,28	2,32	2,31	28,1	35,5	42,2
YA-11-0,60	2,31	2,34	2,37	21,6	31,0	39,2
YA-22-1,00	2,35	2,35	2,35	29,8	33,8	39,2
YA-26-0,75	2,35	2,35	2,32	33,0	40,9	49,0
YA-29,4-0,60	2,35	2,36	2,32	30,5	41,8	47,8



Şekil 4.1. DA'lı KYB'lerde basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi

DA ile üretilen KYB'lerin Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1'den görüldüğü gibi 3 günlük basınç dayanımları birbirleri ile kıyaslandığında KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme artışına paralel olarak basınç dayanımları da artmıştır. Bu gruptaki KYB'ler arasında en yüksek ve en düşük basınç dayanımları, sırasıyla DA-31,1-0,60 ve DA-13-0,60 betonlarında elde edilmiştir. Bu sonuç, KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme kullanım miktarlarının artması ile porozitenin azalması nedeniyle, basınç dayanımının yükselmesi olarak açıklanabilir.

Diğer taraftan kontrol KYB betonu olan DA-13-0,60'a göre 250 µm elek altı toz malzeme (filler) oranı arttırılan DA-18,6-1,00, DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 KYB betonlarının 3 günlük basınç dayanımları sırasıyla %6,9, %11,2 ve %19,8 oranında artmıştır.

DA ile üretilen KYB'lerin Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1'den görüldüğü gibi 7 günlük basınç dayanımları birbirleri ile kıyaslandığında KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme artışına paralel olarak basınç dayanımları da artmıştır. Bu gruptaki KYB'ler arasında en yüksek ve en düşük basınç dayanımları, 3 günlük dayanımlarda olduğu gibi yine sırasıyla DA-24,7-0,60 ve DA-13-0,60 betonlarında elde edilmiştir.

Bu sonuç, KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme kullanım miktarlarının artması ile porozitenin azalması nedeniyle, basınç dayanımının yükselmesi olarak açıklanabilir.

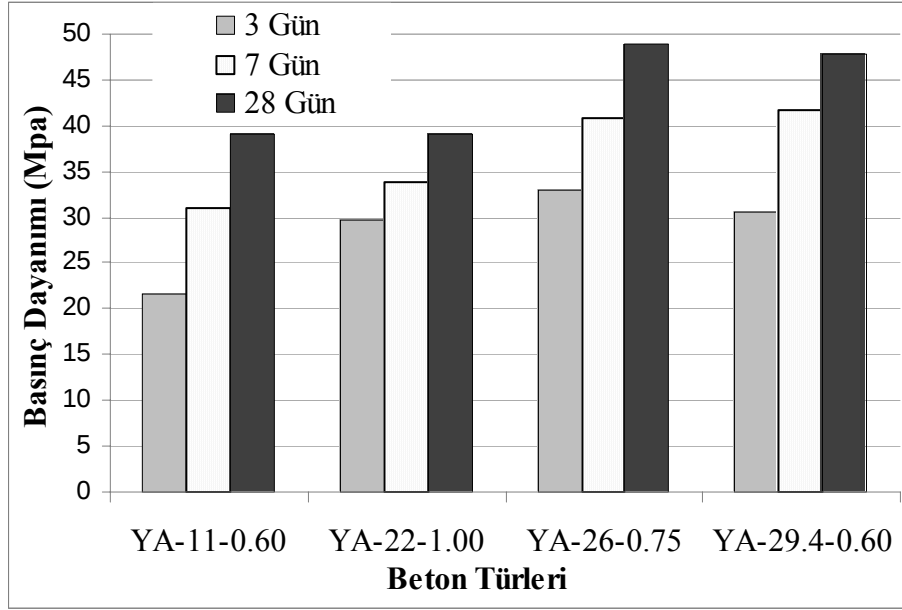
Diğer taraftan kontrol KYB betonu olan DA-13-0,60'a göre 250 µm elek altı toz malzeme oranı arttırılan DA-18,6-1,00, DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 KYB betonlarının 7 günlük basınç dayanımları ise sırasıyla %4,3, %8,6 ve %9,8 oranında artmıştır.

DA ile üretilen KYB'lerin Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1'den görüldüğü gibi 28 günlük basınç dayanımları birbirleri ile kıyaslandığında KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme artışına paralel olarak basınç dayanımları da artmıştır. Bu gruptaki KYB'ler arasında en yüksek ve en düşük basınç dayanımları, 3 ve 7 günlük dayanımlarda olduğu gibi yine sırasıyla DA-31,1-0,60 ve DA-13-0,60 betonlarında elde edilmiştir. Bu sonuç, KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme kullanım miktarlarının artması ile porozitenin azalması nedeniyle, basınç dayanımının yükselmesi olarak açıklanabilir.

Diğer taraftan kontrol KYB betonu olan DA-13-0,60'a göre 250 µm elek altı toz malzeme oranı arttırılan DA-18,6-1,00, DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 KYB betonlarının 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla %9,1, %14,2 ve %15,3 oranında artmıştır.

KYB karışımlarında kullanılan 250 µm elek altı toz malzeme oranları Çizlge 3.5'te görülmektedir. Buna göre bu oranlar DA-13-0,60, DA-18,6-1,00, DA-24,7-0,75 ve DA-31,1-0,60 KYB'leri için sırasıyla %13, %18,6, %24,7 ve %31,1 olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi KYB karışımlarına giren 250 µm elek altı toz malzeme miktarının artması, porozitenin azalmasına neden olduğu için KYB'lerin basınç dayanımlarında artış göstermektedir.

YA ve DA kullanılarak üretilen KYB'lerin basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Üretilen YA'lı KYB'lerde basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. YA'lı KYB'lerde basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi

YA ile üretilen KYB'lerin Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2'den görüldüğü gibi 3 günlük basınç dayanımları birbirleri ile kıyaslandığında KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme artışına paralel olarak basınç dayanımları da artmıştır. Bu gruptaki KYB'ler arasında en yüksek ve en düşük basınç dayanımları, sırasıyla YA-26-0,75 ve YA-11-0,60 betonlarında elde edilmiştir. Bu sonuç, KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme kullanım miktarlarının artması ile porozitenin azalması nedeniyle, basınç dayanımının yükselmesi olarak açıklanabilir.

Diğer taraftan kontrol KYB betonu olan YA-11-0,60'a göre 250 µm elek altı toz malzeme oranı arttırılan YA-22-1,00, YA-26-0,75 ve YA-29,4-0,60 KYB betonlarının 3 günlük basınç dayanımları sırasıyla %38,1, %52,9 ve %41,2 oranında artmıştır.

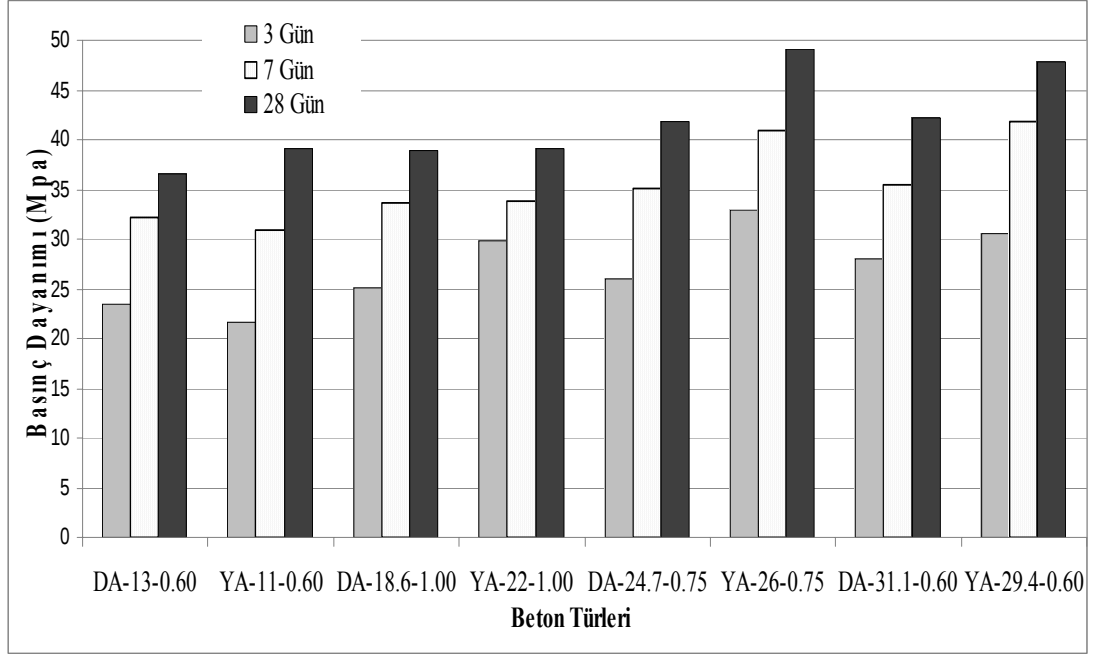
YA ile üretilen KYB'lerin Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2'den görüldüğü gibi 7 günlük basınç dayanımları birbirleri ile kıyaslandığında KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme artışına paralel olarak basınç dayanımları da artmıştır. Bu gruptaki KYB'ler arasında en yüksek ve en düşük basınç dayanımları, 3 günlük dayanımlarda olduğu gibi yine sırasıyla YA-29,4-0,60 ve YA-11-0,60 betonlarında elde edilmiştir. Bu sonuç, KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme kullanım miktarlarının artması ile porozitenin azalması nedeniyle, basınç dayanımının yükselmesi olarak açıklanabilir

Diğer taraftan kontrol KYB betonu olan YA-11-0,60'a göre 250 µm elek altı toz malzeme oranı arttırılan YA-22-1,00, YA-26-0,75 ve YA-29,4-0,60 KYB betonlarının 7 günlük basınç dayanımları sırasıyla %9,2, %32,11 ve %35 oranında artmıştır.

YA ile üretilen KYB'lerin Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2'den görüldüğü gibi 28 günlük basınç dayanımları birbirleri ile kıyaslandığında KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme artışına paralel olarak basınç dayanımları da artmıştır. Bu gruptaki KYB'ler arasında en yüksek ve en düşük basınç dayanımları, 3 ve 7 günlük dayanımlarda olduğu gibi yine sırasıyla YA-26-0,75 ve YA-11-0,60 betonlarında elde edilmiştir. Bu sonuç, KYB karışımında 250 µm elek altı toz malzeme kullanım miktarlarının artması ile porozitenin azalması nedeniyle, basınç dayanımının yükselmesi olarak açıklanabilir

Diğer taraftan kontrol KYB betonu olan YA-11-0,60'a göre 250 µm elek altı toz malzeme oranı arttırılan YA-22-1,00, YA-26-0,75 ve YA-29,4-0,60 KYB betonlarının 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla %0,5, %25,1 ve %22 oranında artmıştır.

YA ve DA kullanılarak üretilen KYB'lerin basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Üretilen DA ve YA ile üretilen KYB'lerin basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. DA ve YA'lı KYB'lerde basınç dayanımı ve numune yaşı ilişkisi

KYB karışımlarında kullanılan 250 μ m altı toz malzeme oranları Çizelge 3.5'te görülmektedir. Buna göre bu oranlar YA-11-0,60, YA-22-1,00, YA-26-0,75 ve YA-29,4-0,60 KYB'leri için sırasıyla %11, %22, %26 ve %29,4 olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi KYB karışımlarına giren 250 μ m elek altı toz malzeme oranı arttıkça KYB'lerin basınç dayanımları da genel olarak artış göstermektedir. Bununla birlikte %29,4 oranında toz malzeme kullanılan YA-26-0,75 KYB betonunun basınç dayanımı %26 oranında toz malzeme kullanılan YA-29,4-0,60 KYB betonuna kıyasla daha düşük elde edilmiştir. Bu sonuç DA ile üretilen KYB betonlarından farklı olarak YA ile üretilen KYB betonlarında %26'nın üzerinde 250 μ m elek altı toz malzeme kullanılması durumunda basınç dayanımları olumsuz yönde etkilendiğini göstermektedir. Elde edilen bu sonucun YA'nın 250 μ m elek altı toz malzemesinin DA'ya göre daha iri olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Basınç dayanımı sonuçları göz önüne alındığında YA ile üretilen KYB'lerin DA ile üretenlerine oranla, dayanımlarının daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun nedeninin YA yüzeyinin DA'ya göre daha pürüzlü ve yüzey alanının daha büyük olmasından dolayı aderansının daha yüksek olduğu ve dayanımı olumlu yönde

etkilediği düşünölmektedir. Ayrıca 250 µm elek altı DA içinde basınç dayanımına olumsuz yönde etki edebilecek az miktarda organik madde bulunabilir.

YA ile üretilen KYB'lerde %26'nın üzerinde 250 µm elek altı toz malzeme kullanılması durumunda, basınç dayanımı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bunun sebebi olarak YA için optimum düzeydeki 250 µm elek altı toz malzeme oranının %26 olduğu düşünölmektedir. DA ile üretilen KYB'lerde ise, %31,1 oranında 250 µm elek altı toz malzeme kullanılmasına rağmen, basınç dayanımı az da olsa artış göstermektedir. Elde edilen bu sonuca, DA'nın 250 µm elek altı toz malzemesinin YA'ya göre daha ince olmasının neden olduğu düşünölmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. KYB karışımlarındaki HA ve 250 µm elek altı toz malzeme miktarları arttıkça işlenebilirlik de artmaktadır.
2. KYB karışımlarında kullanılan HA miktarının azalması, taze betonun yayılma değerlerinin azalmasına, yayılma çapının 50 cm genişliğe ulaşma süresi değerlerinin artmasına ve V hunisi akış süresi değerlerinin artmasına neden olmaktadır.
3. DA ile üretilen KYB'ler YA kullanılarak üretilenler ile karşılaştırıldığında KYB özelliğini daha çok gösterdiği gözlenmiştir.
4. KYB karışımlarına giren 250 µm elek altı toz malzeme miktarı arttıkça hem DA ile üretilen hem de YA ile üretilen KYB'lerin basınç dayanımları da genel olarak artış göstermektedir.
5. YA ile üretilen KYB'lerde %26'nın üzerinde 250 µm elek altı toz malzeme kullanılması durumunda basınç dayanımlarının olumsuz yönde etkilendiği görülmektedir.
6. YA ile üretilen KYB'lerin DA ile üretilenlere kıyasla genel olarak basınç dayanımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

1. KYB'de HA oranı üretici firmaların minimum ve maksimum limitlerinin de denenmesi uygun olabilir.

2. Doğal ve yapay taş tozu (filler) dışında; uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi puzolanların KYB içinde kullanılması araştırılabilir.
3. KYB'lerin aynı 250 μm elek altı toz malzeme oranlarıyla, farklı HA miktarları kullanılarak basınç dayanımına etkisi incelenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, *Seçkin Yayınları*, Ankara, 230, (2007).
2. Aruntaş, H. Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R., Şimşek, O., “Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi”, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 173-180, (2007).
3. Felekoğlu, B., “Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 219, (2003).
4. Okamura, H., Ouchi, M., “Self Compacting Concrete: Development, Present and Future”, *Proceeding of 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete*, Sweden, 3-14, (1999).
5. Özkul, M. H., “Beton Teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden Yerleşen – Sıkışan Beton”, *THBB Hazır Beton Dergisi*, 52:64-71, (2002).
6. Özkul, M. H., “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Genel Özellikleri”, *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi*, Ankara, 119-136, (2005).
7. Sağlam, A. R., Parlak N., Doğan, Ü. A., Özkul, M. H., “Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı – Çimento Uyumu”, *THBB Ulusal Beton Kongresi Bildirisi*, İstanbul, 213-224, (2004).
8. Gürdal, H., Yüceer, Z., “Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları”, *THBB Ulusal Beton Kongresi Bildirisi*, İstanbul, 244-254, (2004).
9. Felekoğlu, B., Türkel S., Baradan B., “Kendiliğinden Yerleşen Beton, Bölüm 1: Genel Tanım, Kullanım Alanları”, *İMO İzmir Şubesi*, İzmir, 117:20-24, (2004).
10. BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, *The European Guidelines for Self Compacting Concrete Specification*, Production and Use, 63, (2005).
11. TS 802, Beton Karışımı Hesapları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 26, (1985).
12. Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., “Concrete, Microstructure, Properties an Materials”, *McGraw-Hill Companies, Inc.*, Third Edition, New York, 486, (2006).

13. Kantar, E., “İzmir ve Yöresinde Üretilen Hazır Betonların Sınıf Dayanımlarına Göre İstatistiksel İncelenmesi ile Kür Şartlarının Beton Dayanımlarına Olan Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 219, (1998).
14. Akman, M., S., “Betonda Dayanıklılık Özelliği ve Önemi”, **I. Ulusal Beton Kongresi**, 4:53, (1989).
15. TS EN 206-1, Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 63, (2002).
16. Can, Ö., Durmuş, G., Subaşı, S., Yıldız, K., Arslan, M., “Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)**, Karabük, 4, (2009).
17. Sağlık, A., Tunç, E., Kocabeyler, M. F., “Kimyasal ve Mineral Katkıların Kütle Beton Tasarımında Yeri ve Önemi”, **2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu**, Ankara, 277-297, (2007).
18. Şimşek, O., Sancak, E., Yaprak, H., “Beton Yollarda Alternatif Bir Malzeme: Vakumlu Beton”, **4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Konya, 1132-1137, (2005).
19. Çakıroğlu, M. A., Terzi, S., “Püskürtme Betonda Yüzey Hazırlığının Önemi”, **SDU International Technologic Sciences**, Isparta, 2(2):85-92, (2010).
20. Topçu, İ. B., Canbaz, M., Boğa, A. R., “Deprem Bölgelerinde Kullanılabilecek Ferrocement Çadırlar”, **Deprem Sempozyumu**, Kocaeli, 927-933, (2005).
21. Öztürk, A., Yıldız, D., “Silindirle Sıkıştırılmış Beton, Baraj Teknolojisi ve Türkiye’deki Uygulamaları”, **Türkiye Mühendislik Haberleri**, Ankara, 393:39-46, (1998).
22. Yazıcı, H., Felekoğlu B., Aydın, S., Tosun, K., Baradan, B., “Silika Tozu ve Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton”, **Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Kongre ve Sergisi**, İstanbul, 464-468,(2004).
23. Khatib, J. M., “Performance of Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash”, **Science Direct Constuction and Materials**, UK, 1963-1971, (2007).
24. Ozawa, K, Maekawa, K, Okamura, H., “High Performance Concrete With High Filling Ability”, **In: Proceedings of the RILEM Symposium: Admixtures for Concrete**, Barcelona, 1215-1228(1990).

25. Sonebi, M., "Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modelling Using Factorial Experimental Plans", *Cement Concrete Research*, 199-208, (2004)
26. Holton, I., "Self-Compacting Concrete", *BRE Information Paper*, Report IP 3/04, British Research Establishment, UK, 60-67(2004).
27. Shindoh, T., Matsuoka, Y., "Development of Combination Type Self Compacting Concrete and Evaluation Test Methods", *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1):26-36, (2003).
28. Ouchi, M., "Self Compacting Concrete Development, Applications and Investigations", *Nordic Concrete Research Committee Publications*, 5, (1999).
29. Khurana, R., Topçu, O., "Role of Superplasticizers in the Development of Self Compacting Concrete", *Second International Symposium on Cement and Concrete Technology*, Istanbul 1:473-482, (2000).
30. Okamura, H., Ouchi M., "Self-Compacting Concrete", *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1):5-15, (2003).
31. Gagne, R., Piegion, M., Aitcin, P. C., "Deicer Salt Scaling Resistance of High Performance Concrete", *Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete*, 122,(1989).
32. Skarendahl, A., Petersson, Ö., "Self Compacting Concrete", *State of the Art Report of RILEM Technical Committee*, 174, (2000).
33. Sarıdemir, H., "Mineral ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Kendiliğinden Yerleşen Betonun İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 78, (2006).
34. Özgüler, A. T., "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekaniksel Özelliklerine Agrega Tipinin Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 50, (2007).
35. Corradi, M., Khurana, R. , Magarotto, R. , Torresan, I., "Zero Energy System: An Innovative Approach for Rationalized Precast Concrete Production", *BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry*, İstanbul, 8, (2002).
36. Tviksta, L. G., "Brite Euram Project: Rational Production and Improved Working Environment Through Using Self Compacting Concrete: FINAL" *REPORT: TASK 8.4 Quality Control*, NCC AB, 28, (2000).
37. EFNARC, *Specifications and Guidelines for Self Compacting Concrete*, 32, (2002).

38. Sari, M., Prat, E., Labastire, J. F., “High Strength Self Compacting Concrete Original Solutions Associating Organic and Inorganic Admixtures”, **Cement Concrete Research**, 29:813-818, (1999).
39. Dowson, A. J., “The Application, Self Compacting Concrete in Precast Products”, **BIBM**, Istanbul, 8, (2002).
40. Sümer, M., Söyler, B., “Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Çimento ve Süper Akışkanlaştırıcı Beton Katkı Maddelerinin Etkinliği”, **SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 6(3)15-20, (2002).
41. Ucuozcu, T., “Kendiliğinden Yerleşen Beton Dökümündeki Gecikmelerin Beton Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 78, (2010).
42. Perez, N., “Self Compacting Concrete, on the Search and Finding of an Optimized Design”, **First North American Conference on the Design and Use of Self Consolidating Concrete**, 105-112, (2002).
43. G.de Schutter, Guidelines for Testing Fresh Self Compacting Concrete, **European Research Project: Measurement of Properties of Fresh Self-Compacting Concrete**, 24, (2005).
44. Kılınç, C., “Katkı Dozajı ve Taze Beton Sıcaklığının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 92, (2007).
45. Su, N., Hsu, K. C., Chai, H. W., “A Simple Mix Design of Self-Compacting Concrete”, **Cement Concrete Research**, 31:1799-1807, (2001).
46. Tetik, A. S., “Kendiliğinden Yerleşen Beton”, Lisans Tezi, **GÜ Teknik Eğitim Fakültesi**, Ankara, 65, (2005).
47. Kandemir, A., “Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliklerinin İncelenmesi”, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 177, (2005).
48. Şahmaran, M., Yaman, İ. Ö., Tokyay, M., “Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton”, **Ulusal Beton 2004 Kongresi Bildirisi**, THBB, İstanbul, 225-232, (2004).
49. Felekoğlu, B., Baradan, B., “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri”, **Ulusal Beton 2004 Kongresi Bildirisi**, THBB, İstanbul, 234-242, (2004).

50. Şimşek, O., Bektaş, S., Erdal, M., “Vibrasyon Süresinin Betonun Basınç Dayanımına ve Birim Ağırlığına Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, Ankara, 5(2):185-193, (2002).
51. Jacobs, F., Hunkeler, F., “Design of Self Compacting Concrete for Durable Concrete Structures”, *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, 397-410, (1999).
52. Türkel, S., Felekoğlu, B., “Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, İzmir, 6(1):77-89, (2004).
53. Wenzhong Zhu; Peter J. M. Bartos; “Permeation Properties of Self-Compacting Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 921-926, (2003).
54. Topçu, İ. B., Ünal, O., Uygunoğlu, T., “Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mineral Katkıların Taze Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması”, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 181-193, (2007).
55. Eroğlu, L., Şahmaran M., Yaman, İ. Ö., Tokyay, M., “Karışım Parametrelerinin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi”, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 249-259, (2007).
56. TS 3530 EN 933.1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini Eleme Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 12, (1999).
57. ADVA® 616, *Grace Construction Products*, Kendiliğinden Yerleşen Beton Maddesi Ürün Bilgileri Formu, 2, (2004).
58. TS 802, Beton Karışımı Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 26, (2009).
59. Altın, M., Çöğürçü, M. T., Döndüren, M. S., “Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanım Özellikleri İçin DeneySEL Bir Çalışma”, *Teknik Online Dergi*, Konya, 5(3):77-88, (2006).
60. “TS EN 12390-3; Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 19, (2010).
61. Şimşek, O., “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, GÜTEF Yapı Bölümü, Ankara, 334, (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAKIR, Havva
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.06.1986 - Trabzon
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : +90 506 830 22 50
 E-posta : havvabakir@gmail.com

Eğitim

Derece	Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Yapı Eğitimi	2008 - 2011
Lisans	Gazi Üniversitesi / Yapı Eğitimi	2003 - 2007
Lise	Hürriyet Endüstri Meslek Lisesi	2000 - 2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2009	Oska Yazılım	İhale Prog. Uzmanı
2008-2008	Kelebek Mutfak	Tasarımcı

Yabancı Dil

İngilizce