

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN BETONLARA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hidayet Talha SÖNMEZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER

Eylül 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN BETONLARA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hidayet Talha SÖNMEZ

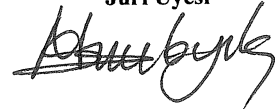
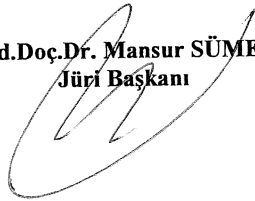
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 08/09/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Mansur SÜMER
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Jüri Üyesi

Doç.Dr.Mehmet SARIBIYIK
Jüri Üyesi



ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocalarım,
Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER, Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ'a,
Bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Araş. Gör. Mücteba UYSAL'a,
Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi varlıkları ile daima yanımda olan ve
beni destekleyen canım aileme,
Yüksek Lisans eğitimim sırasında kaybettiğim rahmetli babaanneme, teşekkür
ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
TABLO LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON	3
2.1. Tanım	3
2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihsel Gelişimi.....	4
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları.....	7
2.4. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları	8
2.4.1. Kendiliğinden yerleşen betonun avantajları	8
2.4.2. Kendiliğinden yerleşen betonun dezavantajları	9
BÖLÜM 3.	
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİ	10
3.1. Dizayn Yöntemleri.....	10
3.2. Bileşenlerin Seçimleri.....	14
3.2.1. Çimento seçimi.....	14
3.2.2. Agrega seçimi.....	15

3.2.3. Toz madde seçimi.....	16
3.2.4. Akışkanlaştırıcı katkı seçimi	17
3.3. Mekanik Özellikleri	17
3.3.1. Basınç dayanımı	18
3.3.2. Çekme dayanımı.....	19
3.3.3. Boşluk yapısı	20
3.3.4. Erken dayanım kazanma hızı	21
3.3.5. Geçirimsizlik	21
3.4. Durabilite	21
3.4.1. Donma-çözülme direnci	21
3.4.2. Alkali silika reaksiyonu (ASR) ve sülfat direnci	22
BÖLÜM 4.	
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON DENEY YÖNTEMLERİ.....	23
4.1. Yayılma Deneyi	24
4.2. V Hunisi Deneyi	25
4.3. L Kutusu Deneyi	26
4.4. J Halkası Deneyi	27
BÖLÜM 5.	
YÜKSEK FIRIN CÜRUFU	28
5.1. Üretim	28
5.1.1. Granüle yüksek fırın cürufunun yapısı.....	30
5.1.2. Granüle yüksek fırın cürufunun hidrasyonu.....	31
5.2. Cürüflü Çimentolar	31
5.2.1. Üretim.....	31
5.2.2. Cürüflü çimentoların hidrasyonu.....	32
5.3. Cürüflü Çimentolarla Üretilen Betonların Özellikleri	33
5.3.1. Taze beton özellikleri	33
5.3.2. Sertleşmiş beton özellikleri	34
5.3.3. Cürüflü çimentoların beton kimyasal katkı maddeleriyle uyumu.....	35

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
6.1. Amaç	36
6.2. Kapsam	36
6.3. Kullanılan Malzemeler	36
6.3.1. Çimento	37
6.3.2. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu	37
6.3.3. Agrega	38
6.3.4. Akışkanlaştırıcı katkı	38
6.3.5. Su.....	38
6.4. Karışım Dizaynları.....	39
6.5. Deneylerin Yapılışı	40
6.5.1. Taze beton deneyleri	41
6.5.1.1. Yayılma deneyi.....	41
6.5.1.2. V Hunisi deneyi	41
6.5.1.3. L Kutusu deneyi.....	42
6.5.1.4. J Ring deneyi	43
6.5.2. Sertleşmiş beton deneyleri	43
6.5.2.1. Serbest basınç deneyi.....	43
6.5.2.2. Optimum yerleşme deneyi.....	44
6.6. Deney Sonuçları.....	45
6.6.1. Taze beton sonuçları.....	45
6.6.2. Sertleşmiş beton sonuçları.....	50
6.6.2.1. Serbest basınç deneyi.....	50
6.6.2.2. Optimum yerleşme deneyi.....	52

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR	54
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	58

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Betonlar
PÇ	: Portland Çimentosu
Ç	: Çimento
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
YFC (%20)	: Bağlayıcı miktarındaki yüksek fırın cürufu oranı %20 olan karışım
YFC (%35)	: Bağlayıcı miktarındaki yüksek fırın cürufu oranı %35 olan karışım
YFC (%50)	: Bağlayıcı miktarındaki yüksek fırın cürufu oranı %50 olan karışım
T ₅₀₀	: Çökme - yayılma deneyinde taze betonun 500 mm çaplık daireye yayılma süresi
T ₄₀₀	: L – Kutusundaki taze betonun 40. cm'ye gelme süresi
T ₂₀₀	: L – Kutusundaki taze betonun 20. cm'ye gelme süresi
ASTM	: American Society for Testing Materials
µm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
gr	: Gram
kg	: Kilogram
sn	: Saniye
S	: Silis (SiO ₂)
A	: Alümin (Al ₂ O ₃)
F	: Demir oksit (Fe ₂ O ₃)
CaO	: Kalsiyum oksit
MgO	: Magnezyum oksit
SO ₃	: Kükürt trioksit (sülfit)
Na ₂ O	: Sodyum oksit
KK	: Kızdırma kaybı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	:Geleneksel Beton, KYB ve Su Altı Betonu için Karşılaştırmalı Hacim Oranları.....	5
Şekil 3.1.	:Fransız standartı P18-503'e göre yüzey boşluk yapısı	20
Şekil 4.1.	:Yayılma tablası ve hunisi boyutları	25
Şekil 4.2.	:V-hunisi boyutları	26
Şekil 4.3.	: L-kutusu deney aleti sematik gösterimi	27
Şekil 4.4.	: J halkası deneyi	27
Şekil 6.1.	:Yayılma Deneyi	41
Şekil 6.2.	:V Hunisi Deneyi	42
Şekil 6.3.	:L Kutusu Deneyi.....	42
Şekil 6.4.	:J-Ring Deneyi	43
Şekil 6.5.	:Optimum Yerleşme Deneyi Donatı Detayı.....	44
Şekil 6.6.	:Optimum Yerleşme Deneyi Kalıpları	45
Şekil 6.7.	:Şahit Karışım ile hazırlanan numunenin serbest basınç deneyi sonuçları	47
Şekil 6.8.	:%20 YFC Karışımı ile hazırlanan numunenin serbest basınç deneyi sonuçları	47
Şekil 6.9.	:Farklı karışımların L-BOX deneyindeki 0-20, 0-40 cm arası yayılma süreleri	48
Şekil 6.10.	:Farklı karışımların J-Ring deneyindeki yayılma süreleri	49
Şekil 6.11.	:Farklı YFC miktarlarına sahip karışımların basınç mukavemetleri.....	51
Şekil 6.12.	:Şahit Karışım ile hazırlanan numunenin serbest basınç deneyi sonuçları	52
Şekil 6.13.	:%20 YFC Karışımı ile hazırlanan numunenin serbest basınç deneyi sonuçları	53

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. :EFNARC' a (2002) göre tavsiye edilen KYB deneyleri sınır değerler.....	11
Tablo 3.2. :Sınır değerlerin altındaki değerler için sorunun belirlenmesi ve etki takip tablosu.	11
Tablo 3.3. :Sınır değerlerin üstündeki değerler için sorunun belirlenmesi ve etki takip tablosu.	12
Tablo 3.4. :Problemlerin çözümüne yönelik yapılması gerekenler.....	13
Tablo 4.1. :EFNARC' a göre deney yöntemleri ve özellikleri	24
Tablo 5.1. :Cürufların kimyasal kompozisyonu.....	29
Tablo 6.1. : Deney yöntemleri.....	36
Tablo 6.2. : Kullanılan Toz Malzemelerin Gradasyon Dağılımları	37
Tablo 6.3. : Portland Çimentosunun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	37
Tablo 6.4. : Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	38
Tablo 6.5. : Agregaların Elek Analizi Sonuçları	38
Tablo 6.6. : Kimyasal katkının Özellikleri	39
Tablo 6.7. : Suyun Kimyasal Analizi	39
Tablo 6.8. : Karışım Oranları	40
Tablo 6.9. : Taze Beton Deney Sonuçları	46
Tablo 6.10. : Serbest Basınç Deneyi Sonuçları	51

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yüksek fırın cürufu, kendiliğinden yerleşen beton, basınç mukavemeti.

Bu çalışmada, çimento yerine kullanılan Yüksek Fırın Cürufu (YFC) miktarının kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Çimento yerine kullanılan farklı oranlarda yüksek fırın cürufu miktarına (%20, 35, ve 50) sahip KYB karışımları yüksek fırın cürufu kullanılmayan şahit bir karışımla karşılaştırılmış ve bu karışımlar için çökme-yayılma, t500, L-kutusu ve V-hunisi işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, karışıma giren agregalardan doğal kum ve çakıl oranları ile özel süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit, çimento yerine kullanılan yüksek fırın cürufu oranları değiştirilmiştir. Karışımlar için optimum işlenebilirlik, su/(çimento+YFC) oranı değiştirilerek sağlanmıştır. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra 7, 28, 90 ve 365 gün süreyle 20 °C suda kür edilmiştir. Numuneler üzerinde basınç mukavemeti deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarının analizinden, karışımda çimento yerine kullanılan yüksek fırın cürufu miktarının KYB'un dayanım özellikleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Sonuçta, yüksek fırın cürufunun maliyet ve hidrasyona olumlu etkisi gibi avantajları da dikkate alındığında, kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında çimento yerine %20 ve/veya %35 oranlarında yüksek fırın cürufu kullanılmasının, basınç dayanımını %10 oranına kadar arttırdığı görülmüştür.

THE STRENGTH PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE CONTAINING OF GRANULATED BLAST-FURNACE SLAG

SUMMARY

Keywords: Granulated blast-furnace slag, self-compacting concrete, compressive strength velocity.

In this study, the effect of different proportions of granulated blast-furnace slag as replacement of portland cement on strength properties of self-compacting concrete (SCC) was investigated. Slump-flow, t500, V-funnel and L-box tests were achieved for SCCs (%20,%35 and %50) having different proportions of granulated blast-furnace slag as replacement of portland cement (respectively %20, 35 and 50). Granulated blast-furnace slag as replacement of portland cement was used as variable only, i.e. aggregates (sand and gravel), cementitious materials and superplasticizer (Chryso) were constant, in all tests. Optimum workability for SCC mixes was obtained by using different water/(cement+fly ash) proportions. In the following day of casting, the specimens were de-moulded and located in standard 20°C water cured for the periods of 7,28,90 and 365 days. At the end of each curing period, a total of 3 specimens were tested for each concrete property. The compressive strength velocity tests were carried out on the cube specimens, whilst the splitting tensile tests were carried out on the cylindrical specimens. It was found that different proportions of granulated blast-furnace slag as replacement of portland cement had an important effect on properties of self-compacting concrete. The results showed that use of %20 and/or %35 granulated blast-furnace slag as replacement of portland cement increased the strength properties of SCC according to other fly ash proportions as replacement of portland cement .

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Deprem bölgelerindeki çok sık donatılı yapılar için kullanmak amacıyla 1980'li yılların sonunda Japonya'da[1].

geliştirilen kendiliğinden yerleşen beton (KYB), mükemmel şekil değiştirebilen ve segregasyona karşı yüksek dirence sahip olan bir beton olarak tanımlanır. KYB herhangi bir sıkıştırma işlemi olmaksızın sık donatılı alanlara da kolaylıkla yerleşebilir[2].

Kendiliğinden yerleşen taze beton; gereken homojenliğini korurken, sadece kendi ağırlığı vasıtasıyla kalıbı tamamen doldurmak ve donatı çubuklarını sarmak kabiliyetine sahip bir beton olarak da tanımlanır[3].

Bu kabiliyet, taze betona uygun reolojik özelliklerin (yeterli plastik viskoziteyle birlikte düşük akma gerilmesi değeri) sağlanmasıyla başılır. Süper akışkanlaştırıcı ve ince taneli dolgu malzemesi kullanımı ve böylece akma davranışının optimize edilmesi, KYB' un karışım oranının ayarlanmasında esas teşkil etmektedir[4].

KYB' un kullanımı, daha hızlı inşaat zamanı, yerinde beton yapımı maliyetlerinin düşürülmesi, işlenebilirliğin artırılması ve sık donatılı kesitlerde donatı çevresindeki akışın kolaylığı gibi avantajlar sağlar. KYB kullanıldığında zaman kazancının, geleneksel yerleştirme ve sıkıştırma metotlarından % 40 daha hızlı olacağı tahmin edilir[5].

KYB karışımlarının bileşimi, yüksek oranlarda ince taneli inorganik malzemelerden oluşur; günümüzde bu tozlar, genellikle hiçbir pratik uygulamada talep görmeyen ve elden çıkarılmaları pahalı olan atık ürünlerdir[6].

Bu sebeple, betonda mineral katkıların (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu veya kireçtaşı tozu gibi.) kullanımı, maliyeti arttırmadan beton akıcılığını arttırmak için faydalı olacaktır. Buna ilaveten önceki araştırmalar, KYB' da uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanımının, sadece portland çimentosu kullanılarak üretilen beton ile karşılaştırıldığında, benzer akıcılığı elde etmek için ihtiyaç duyulan süper akışkanlaştırıcı dozajını azalttığını göstermektedir[7].

Yüksek fırın cürufu kullanımı reolojik özellikleri düzeltir ve çimentonun hidrasyon ısısından dolayı betonda oluşacak çatlamaı da azaltır[8].

Ayrıca, yapılan bir çalışmada hem KYB ve hem de normal betondan üretilen numunelerin mühendislik özelliklerinin (basınç ve çekme mukavemeti) 20 °C su içindeki kür şartları altında, kapalı naylon içinde ve havada kür edilen numunelere göre daha yüksek değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, betonun erken ve daha sonraki yaşlardaki özellikleri üzerinde nem oranının önemi görülmüştür[10].

Bu çalışmanın esas amacı, KYB' a farklı oranlarda mineral katkı olarak katılan yüksek fırın cürufu miktarının, sertleşmiş betonun dayanım özelliklerine etkisinin incelenmesidir.

BÖLÜM 2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

2.1. Tanım

Kendiliğinden Yerleşen Beton, kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkılaşabilen, bu özelliklerini sağlarken, ayrışma ve kuma gibi problemler yaratmayacak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür. Klasik beton dizaynından farklı olarak kendiliğinden yerleşen betonda; kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve çok miktarda inert veya puzolanik mineral katkının tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton dizaynında uygun oranlarda kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir.

Kendiliğinden yerleşen beton literatürde üç farklı isimde anılmaktadır. Literatürde en yaygın kullanılanı Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting Concrete - SCC) 'dur. Özellikle döşeme tipi, geniş boyutlu yüzey alanlarda kullanılması halinde, Kendiliğinden Yüzeyleyen Beton adı kullanılmaktadır. Kendiliğinden Yüzeyleyen Beton'dan kendi ağırlığı ile her 4 metrede 1 mm'den fazla kot farkı oluşturmaksızın, akarak yatay konum alması beklenmektedir.

Kuzey Amerika'da, Kendiliğinden Konsolide Olan, Çöken Beton (Self-Consolidating Concrete - SCC) adını 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.

2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihsel Gelişimi

Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak Tokyo Üniversitesinde, 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ortaya atılmıştır.

Su altında beton dökümü uygulamalarında, vibrasyonsuz beton dökümlerinden edinilen tecrübe ile KYB üretilmesi amaçlanmıştır. 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 . Yüksek performanslı betonun aşağıda sıralanan 3 aşamada belirli şartları yerine getirmesi öngörülmüştür;

1. Taze halde iken kendiliğinden sıkışabilme.
2. İlk olumsuz etkilere direnebilecek derecede yüksek erken dayanım.
3. Sertleşmiş halde tüm dış etkilere karşı bozulmadan kalabilme.

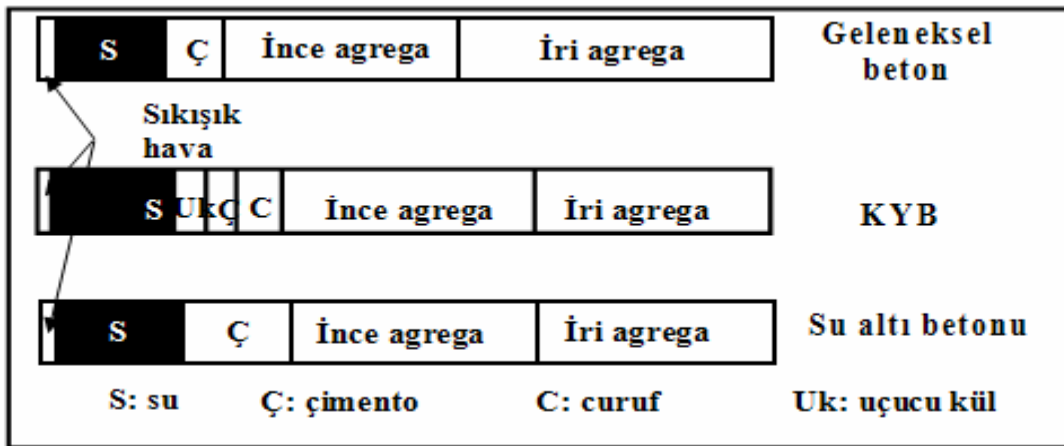
Kendiliğinden yerleşen beton konusunda ilk makale, 1989 yılında Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansı'nda (EASEC) sunulmuştur. KYB konusunda ilk kitap Okamura tarafından yazılmış olup, 1993 yılında Japonca olarak yayınlanmıştır. (Felekoğlu 2003) Her ne kadar KYB'nin ilk uygulamalarının Japonya'da su altı beton dökümleriyle başladığı Japon araştırmacılar tarafından savunulsa da bu konuda farklı görüşler mevcuttur. 1974'de o dönemin en gelişmiş akışkanlaştırıcıları kullanılarak Reoplastik Beton (çökme değeri 20 cm'nin üzerinde) adı verilen kohezif kıvamlı beton üretilmiştir .[26] Reoplastik Beton'un KYB ile benzer özellikler gösterdiği savunulmuştur. Amerikan Beton Enstitüsünün (ACI) o yıllar için verdiği 175 mm çökme değeri sınırlaması nedeniyle bu betonun yaygınlaşması mümkün olamamıştır.

Akışkanlaştırıcıların performansının yetersizliği ve kullanımının düşük seviyelerde olması bu betonun gelişmesini engellemiştir. ACI'nın çökme değerini sınırlamasının nedeni de kimyasal katkısız betonlarda bu çökme değeri aşıldığı takdirde, yüksek oranda su kusması meydana geleceğinin deneysel çalışmalarla belirlenmiş olmasıdır.

16 cm'den daha çok çöken kimyasal katkısız klasik betonda taze halde aşırı kasma gözlenmektedir.[28] Gelişen kimyasal katkıların yaygınlaşmasıyla bu sınırlama ortadan kalkmıştır.

Collepari'de göre ilk KYB uygulaması 1980'lerin başında İtalya'nın S.Marco Rıhtım inşaatında sualtı temel betonu dökümünde 40.000 m³ Reoplastik Beton Kullanılarak yapılmıştır. Bu beton çok yüksek viskoziteye sahip (kohezif), vibrasyona gerek duyulmadan su altında kalıba yerleşebilen ve bu kohezyonuyla deniz suyunun yıkayıcı etkisine direnç gösterebilen özelliklere sahiptir[20].

Su altı betonunun yüksek viskoziteye sahip olması için, viskozite artırıcı kimyasal katkılara başvurulur. Şekil 2.1'de tipik geleneksel beton, KYB ve su altı betonu dizaynlarının hacim oranları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. [28] Görüldüğü gibi, KYB karışımlarında geleneksel betona kıyasla çok daha fazla toz maddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Su altı betonu dizaynında ise, yüksek oranda toz maddeden çok, viskozite artırıcı kimyasal katkıları tercih edilmektedir.



Şekil 2.1. Geleneksel Beton, KYB ve Su Altı Betonu için Karşılaştırmalı Hacim Oranları [26].

Özetle kimyasal katkı teknolojisinin gelişmesi, Reoplastik Beton ve su altı betonu uygulamalarından tecrübe ve bilgi birikiminin oluşması KYB'nin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Japonya'da KYB'nin hazır beton sektöründe kullanımının artırılması amacıyla aşağıdaki konularda çalışmalar sürdürülmektedir [29].

1. Kendiliğinden yerleşebilirlik deney yöntemleri
2. Karışım dizaynı yöntemleri
3. Deneyleerin şantiye ortamına aktarılması

Kuzey Amerika'da KYB ile ilgili ilk çalışmalar 1996 yılında Prof. Ferguson öncülüğünde başlamıştır. Prof. Aitcin ve arkadaşları ise Kanada'da KYB konusunda çalışmaktadır. [30] 1997 yılında RILEM tarafından KYB konusunda çalışan bir komite kurulmuştur. 1998 yılında Japonya'nın Kochi kentinde ilk uluslararası çalışma grubu toplanmış ve internet üzerinden konuyla ilgili iletişim ağı kurulması kararlaştırılmıştır. Söz konusu ağ SCCNET adıyla Şubat 1999 yılında açılmıştır.[29] Hollanda'da KYB kullanımı 1997 yılında başlamıştır. Delft Teknik Üniversitesi, KYB dizaynı konusunda araştırmalar yapmaktadır[31].

Almanya'da KYB 1998 yılından itibaren ilgi görmeye başlamıştır. KYB'nin kullanımının önündeki en büyük engel DIN 1045 ve DIN 4227'ye göre KYB dizaynının ve kıvamının standart dışı olması idi. Mevcut standartların yenilenmesi ve KYB için ilave yapılması amacıyla, Alman Betonarme Komitesi (DafStb) ve inşaat Mühendisliği Enstitüsü (DIBt), çalışmalar yapmış ve standartlara KYB için ilave bölümler eklenmiştir[32].

Almanya'da standartların yeni yeni oluşmasına rağmen prefabrike beton sektöründe "Drössler Easyflow" ve hazır beton sektöründe "Dyckerhoff Liquidur" isimleriyle markalaşmış KYB üretilmekte ve kullanılmaktadır.[32] 2000 yılı sonunda KYB kullanımı Amerika'da yaygınlaşmaya başlamıştır. Prefabrike beton endüstrisi bu gelişmeye hızla ayak uydurmuş fakat hazır beton endüstrisinde kullanımı kısıtlı kalmıştır. Bunun en önemli nedeni, standartların tam olarak oluşturulamamasıdır.

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), 2002 yılında kurduğu ACI 236 B grubu ile KYB konusunda dökümantasyon çalışmalarına başlamıştır. Aynı zamanda Amerikan Prefabrike Beton Birliğinde (PCI) Nisan 2002'de prefabrike beton endüstrisinde KYB kullanımı ile ilgili standart oluşturma çalışmalarına başlanmıştır. Sonuç raporunun 2003'de yayınlanması planlanmaktadır[32].

İskandinav ülkelerinden Norveç'te beton üretiminde olumsuz hava koşulları nedeniyle yüksek dayanım ve dayanıklılık şartları aranmaktadır. Norveç'te özellikle silis dumanının kullanımı yaygın olduğu için KYB üretiminde toz madde ihtiyacı çoğunlukla silis dumanı kullanılarak karşılanmaktadır.

2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları

Günümüzde KYB özel tip betonlar sınıfında sayılabilir. Genellikle büyük boyutlu 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, dizayn ve uygulama alanlarında yeni yöntemler gerektirmesidir. KYB üretiminde yöntem geliştirilmesi çalışmaları çeşitli kuruluşlar tarafından devam ettirilmektedir.

Geleneksel betonun teknik olarak kullanımının mümkün olamayacağı durumlarda KYB kullanımı tercih edilebilir. Örneğin, bakım ve onarım işlerinde betonla doldurulacak bölgeye vibratör girmesi mümkün değilse geleneksel beton kullanılamaz. Böyle bir durumda KYB kullanımı en akılcı çözüm olacaktır[23].

ABD'de KYB'nin kullanımı otoyol köprü inşaatlarında ve oldukça sınırlıdır. Bununla beraber, Amerika prefabrik endüstrisi KYB teknolojisini mimari beton uygulamalarında kullanmaya başlamıştır. KYB, otoyol köprü inşaatlarında daha geniş uygulama için yüksek bir potansiyele sahiptir. 2000 yılında Japonya'da prefabrik elemanlarda ve hazır beton olarak kullanılan KYB miktarı yaklaşık, 400.000 m³ olmuştur[30].

Geleneksel beton ile yol üst kaplaması inşaatında yüzeysel vibratörler kullanılmaktadır. Amerika'da özellikle donma-çözülme riski olan bölgelerde, hava sürükleyici katkı kullanılarak hava içeriği yüksek beton dizaynları hazırlanmaktadır. Fakat vibrasyon işlemi taze betonda hava kabarcığı kaybına yol açabilmektedir. Örneğin, Iowa eyaletinde servis ömründen çok daha önce donma-çözülme hasarına uğrayan yol kaplamaları tespit edilmiştir. Bu kaplamaların taze haldeki hava

içerikleri şantiyede ölçüldüğünde yüksek seviyelerde olduğu raporlarda görülmüştür. Fakat yerleştirme sırasında yapılan vibrasyonun beton içindeki hava yapısını özellikle yüzey bölgesinde bozduğu ve taze betonun hava içeriğini azalttığı belirlenmiştir. Bu örnekte de görüldüğü gibi, vibrasyon işleminin yararın yanında zarar da getirdiği durumlar söz konusudur.[33] Yol üst yapısında geleneksel beton kullanılması halinde yetersiz veya aşırı sıkıştırma, tasıma sırasında ayrışma, yerleştirme süresi ve dayanım kazanma hızı (trafiğe açılma süresi) gibi sorunlarla karşılaşmaktadır[23].

2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları ve Dezavantajları

Kendiliğinden yerleşen beton kullanılması halinde mekanik özelliklerin yanında durabilite açısından da yüksek performans elde etmek mümkündür. Aşağıda konvansiyonel betondan kendiliğinden yerleşen betona geçişin getireceği avantajlar ve dezavantajlar sıralanmıştır.

2.4.1. Kendiliğinden yerleşen betonun avantajları

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[31].

Betonun sık donatılı perde tipi dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile boşluk bırakmadan yerleşmesi betonun mekanik performansını arttıracaktır[23].

Efektif kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanımıyla, prefabrike sektöründe erken kalıp alma için, özellikle kış aylarında uygulanan buhar kürü ortadan kaldırılabılır[34].

KYB'nin perdahlanabilirliği geleneksel betona kıyasla daha rahattır. Beton dökümünü önemli ölçüde hızlandırır[23].

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[23].

2.4.2. Kendiliginden yerleşen betonun dezavantajları

KYB malzeme maliyeti açısından normal betona kıyasla daha pahalıdır. Maliyeti arttırıcı ana etken efektif kimyasal katkıları olup, gelecekte bu katkıların maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir.

KYB'nin performansı malzeme tip ve oran değişkenliklerine hassastır (özellikle agrega nemi ve gradasyonu). Klasik betona göre daha sıkı kontrol gerektirir. Kesinleşmiş dizayn yöntemi ve standart deneylerinin yokluğu kalite kontrol işlerinde genelleme yapılmasını engellemekte ve standartlaştırmada sıkıntılara yol açmaktadır. Geleneksel betona göre yüksek oranda toz malzeme içerdiği için, boyutsal stabilitesi toz malzemenin tipine göre farklı sonuçlar doğurabilir[23].

Prefabrike beton üretiminde mevcut kalıp sistemlerinin bir kısmı KYB kullanımına uygun değildir (Çatı makası gibi eğimli elemanlar). Kalıp sistemlerinin KYB kullanımına göre modifiye edilmesi gereklidir. % 2'den fazla eğimli elemanlar KYB ile dökülemez.[35] KYB dilatant yapısı gereği, belli bir süre karıştırılırsa akıcılığı artar başka bir deyişle viskozitesi düşer. Viskozitesinin kararlı bir konuma gelmesi için gereken karıştırma süresi normal betona kıyasla daha fazladır. Bu özellik zaman ve enerji kaybına yol açacaktır. Fakat bu kayıp yerleştirme işlemindeki kolaylıklar dikkate alındığında ihmal edilebilecek kadar azdır[23].

BÖLÜM 3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÖZELLİKLERİ

3.1. Dizayn Yöntemleri

Kendiliğinden yerleşen betondaki en önemli değişiklik yüksek akışkanlık özelliğidir. Akışkanlığın artırılması yüksek dozajda kimyasal katkı kullanımıyla sağlanmaktadır. Akışkanlaştırıcı dozajının yüksek olması taze betonun viskozitesini düşürür. Dolayısıyla taze betonun karışım suyundaki ve agrega gradasyonundaki değişkenliklere hassasiyeti artmaktadır[23].

Günümüzde, KYB üretimi için 3 ayrı konsept bulunmaktadır. Bunlar :

1. Toz tipi metodu
2. Stabilizatör metodu
3. Kombinasyon metodudur.

Bu yöntem viskoziteyi inert veya puzolanik filler ile artırma ilkesine dayanır. Temel kural olarak toz hacmi, toplam hacmin % 36'sından az olmamalıdır. Çimento hamurunun hacmi, eklenen toz malzemeler ile artırılarak taze betonun stabilitesinin korunması amaçlanmıştır[23].

EFNARC'a (2002) göre KYB dizayn oranlarının ve miktarlarının belirlenmesinde hacimsel oranlar daha önemlidir. EFNARC'ın önerdiği başlıca dizayn esasları ve deney sınır değerleri ile çözüm yolları aşağıda belirtilmiştir. Su/toz oranı hacimce 0,80 – 1,10 aralığında olmalıdır. Toplam toz miktarı m³ 'de 160 ile 240 litre arasında (400-600 kg) olmalıdır. İri agrega miktarı hacmin % 28 ile %35'i aralığında olmalıdır. Su/çimento oranı EN 206'nın gereksinimlerine göre belirlenmeli ve toplam su içeriği 200 kg/m³'ü aşmamalıdır. Kum miktarı diğer malzeme hacimlerine göre ayarlanmalıdır.

Tablo 3.1. EFNARC'a (2002) göre tavsiye edilen KYB deneyleri sınır degerleri[21].

	Metot	Birim	Minimum Sınır	Maksimum Sınır
1	Çökme-Yayıma	mm	650	800
2	T50 cm yayılma süresi	s	2	5
3	J-halkası	mm	0	10
4	V-hunisi	s	6	12
5	5 dk. sonra V-hunisi	s	0	+ 3
6	L-kutusu	(h ₂ /h ₁)	0.8	1.0
7	U-kutusu	(h ₂ -h ₁) mm	0	30
8	GTM Stabilite deneyi	%	0	15
9	Orimet	s	0	5

Tablo 3.2. Sınır değerlerin altındaki değerler için sorunun belirlenmesi ve etki takip tablosu[21].

No	Metot	Birim	Alt sınır değer	Tablo 7-4 ilgili satır	Muhtemel Etki
1	Çökme-Yayıma	mm	650	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
2	T50 süresi	s	2	b	Viskozite çok düşük
3	J-halkası	mm	10	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
				d	Ayrışma
				f	Bloke olma riski
4	V-hunisi	s	8	b	Viskozite çok düşük
5	5 dk sonra V-hunisi	s		g	Mantık dışı
6	L-kutusu (h ₂ /h ₁)		0.8	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
				f	Bloke olma riski

Tablo 3.3. Sınır değerlerin üstündeki değerler için sorunun belirlenmesi ve etki takip tablosu[21].

No	Metot	Birim	Üst Sınır Değer	Tablo 7-4 ilgili satır	Muhtemel Etki
1	Çökme-Yayılma	mm	750	b	Viskozite çok düşük
				d	Ayrışma
2	T50 süresi	s	5	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
3	J-halkası	mm		b	Viskozite çok düşük
				d	Ayrışma
4	V-hunisi	s	12	a	Viskozite çok yüksek
				c	Eşik kayma değeri çok yüksek
				f	Bloke olma riski
5	5 dk sonra V-hunisi	s		d	Ayrışma
				e	Hızlı işlenebilirlik kaybı
				f	Bloke olma riski
6	L-kutusu (h2/h1)		1	g	Hatalı sonuç

3.2. Bileşenlerinin Seçimleri

KYB'nin bileşenlerinin belirlenmesi, geleneksel betona göre daha fazla deneyim ve bilgi birikimi gerektirmektedir. Çünkü KYB'den sertleşinceye kadar beklenen performans, geleneksel betona göre daha farklıdır[23].

Betondaki her bileşenin kendiliğinden yerleşebilirliğe farklı etkisi vardır. Etki, bileşenin cinsine, teknik özelliklerine, kullanım oranı ve yöntemine bağlıdır. Bu sebeple bileşenlerin seçiminde gerek teknik gerekse ekonomik açıdan doğru seçim yapmanın yolu, malzemeleri iyi tanımaktan geçer[23].

3.2.1. Çimento seçimi

Çimento tipi açısından dayanım ve dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak seçim Yapılmalıdır[23].

Özellikle çimentonun C3A oranı % 10'un üzerindeyse, kullanılmaması EFNARC Komitesi (2002), tarafından tavsiye edilmektedir.

Çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar. Kendiliğinden yerleşen betonda çimento dozajının belirlenmesinde temel kriter dayanım sınıfıdır. Puzolanik filler kullanılması halinde, göreceli olarak daha düşük çimento dozajları yeterli olacaktır. Dayanım ve dayanıklılık açısından çimento dozajının 350 - 450 kg/m³ arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. 500 kg/m³'ün üstünde kullanımı rötreyi arttıracığından tavsiye edilmez. 350 kg/m³'ün altında kullanımı ise, ilave fillerle veya viskozite arttırıcı kimyasal katkılarla birlikte kullanılması halinde uygundur. Eğer viskozite ayarlayıcı kimyasal katkı kullanılmıyorsa, kendiliğinden yerleşen betonda toplam toz madde miktarı hiçbir zaman 500 kg/m³'ün altına inmemelidir. Çimento dozajının bu miktarın altında olması durumunda, ilave toz katkıları kullanılabilir[21].

3.2.2. Agregada seçimi

Agregada mineralojik köken açısından normal betonda kullanılabilen özellikte olmalıdır. Kıyma kireçtaşı iri agregada olarak kullanılabilir. Doğal kum, kıyma kuma göre islenebilirlik açısından avantajlıdır. Aynı şekilde iri agregada olarak dere çakılı kullanılması iç sürtünmeyi azalttığı için akışkanlığı artırır[21].

Agregada açısından taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğini etkileyen en önemli parametre iri agregada/kum oranıdır. İçsel sürtünme katsayısını azaltmak için bu oran mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır[36].

Geleneksel betona göre daha çok kum ve daha az iri agregada kullanımı donatılar arasında geçiş yeteneğini de artırır. Basınç dayanımına bakıldığında belli bir orandan sonra düşüş görülmektedir. Fang ve arkadaşları, kum oranının toplam hacmin % 45 - 48'i arasında tutulması halinde kendiliğinden yerleşebilirliğin en yüksek dayanımda sağlanacağını savunmaktadır[22].

Genel olarak kübik veya küre şekilli agregalar tercih edilmelidir. Uzun silindir ve yassı disk şekilli taneler KYB'nin islenebilirlik özelliklerini olumsuz etkileyeceğinden bunların miktarının sınırlandırılmasında yarar vardır[26].

Sari vd. (1999)'ne göre kendiliğinden yerleşen betonda en büyük agregada çapı 5 - 20 mm arasında değişir ama V-hunisinde bloke olma tehlikesini engellemek için 15 mm seçilmesi en uygundur.

Tüm karışımındaki iri agregada oranının % 29'un üzerine çıkması halinde, iç sürtünme açısında artış meydana gelmektedir. Bu artış plastik viskozitenin yükselmesine sebep olmaktadır[24].

Felekoglu, 2003 yaptığı çalışmalarda, kum/iri agregada oranı için en uygun değeri 1.53 olarak tespit etmiştir. Bu değerin altındaki oranlarda taze betonun bloke olma riski artmakta, üstündeki oranlarda ise viskozite aşırı artmaktadır.

Su/Toz oranı 0.35 ve en büyük agrega çapı 20 mm olan, kendiliğinden yerleşen beton dizaynı için iri agreganın toplam agrega hacmine oranının 0.52 olması halinde, en düşük hamur hacmi kullanılarak kendiliğinden yerleşebilirliğin sağlanmaktadır[19].

3.2.3. Toz madde seçimi

Toz maddeler, parçacık boyutu 125 mikronun altında her türlü inorganik madde olarak tanımlanabilir[23].

Toz maddeler KYB’de viskozite arttırmak amacıyla kullanılırlar. Parçacık boyutunun küçülmesi parçacıklar arası etkileşimin artmasına sebep olur ve bu etkileşim viskoziteyi artırır.

Viskozite arttırmak için kullanılacak toz maddeler, uçucu kül , silis dumanı, doğal ve yapay cüruflar, kuvarz kumu tozu, kireçtaşı tozu ve cam tozudur.Yapılan araştırmalarda % 10’u 0.2 mm’den geçip 0.1 mm üzerinde kalan tozlar KYB için olumsuz performans göstermiştir. Toz malzeme oranının 400 ila 650 kg/m³ arasında olması tavsiye edilmektedir. Bu miktar kum ve agrega tanecikleri arasındaki boşlukların doldurması için ve daha iyi sıkışmasağlanması için önerilmektedir[26].

KYB dizaynında ince öğütülmüş (Blaine değeri > 2500 cm²/g) kireçtaşı tozu, granit, kuvarz kumu kullanılabilir. Tas tozunun beton karışımında homojen dağılması sağlanmazsa, dayanım ve dayanıklılık açısından olumsuz etkiler yaratabilir[23].

Tas tozu ile üretilen KYB, diğer puzolanik maddelerin kullanıldığı KYB’lere kıyasla, kür işlemini daha az hassastır. Tas tozunun pürüzlü mikro yüzeyi nedeniyle, yüksek oranda karışım suyu absorbe etmesi ve erken dayanımı hızlandırıcı etkisi sebepleriyle küre hassasiyetinin azaldığı kabul edilebilir. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan kum içinde 0.125 mm elekten geçen toz malzeme oranının yüksek olması halinde bu miktar, inert fillere dahil edilmelidir. Böylece hesaplamalar daha hassas yapılabilir[21].

3.2.4. Akışkanlaştırıcı katkı seçimi

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 kullanımıyla mümkün olabilir[28].

Akışkanlaştırıcı katkılar esik kayma gerilmesini ve plastik viskoziteyi azaltırlar. Akışkanlaştırıcılar düşük S/Ç oranlarında viskoziteyi çok azaltmadan esik kayma gerilmesini azaltmakta etkilidir.

Son 30 yılda akışkanlık sağlama ve su kesme amaçlı en yaygın kullanılan kimyasal katkılar; melamin, naftalin formaldehit kondensatları, modifiye lignosulfonatlar ve suda çözülebilen sentetik polimerlerdir. Polikarboksilat bazlı katkıların, modifiye lignosulfonatlar, melamin ve naftalin formaldehit kondensatlarına göre akışkanlığı artırma açısından da önemli üstünlükleri vardır[23].

Polikarboksilat bazlı katkıların çimentoya etkisini şöyle açıklamaktadır. Katkı, dispersiyon etkisi ile topaklaşmayı önler, hidratasyona giren çimento miktarı artar, topaklar arasına hapsolme potansiyeli olan su molekülleri serbest kalarak işlenebilirliği artırır ve hidratasyona katılır. Akışkanlaştırıcı katkı tipinin değişimi taze betonda işlenebilirlik kaybı mekanizmasını değiştirebilmektedir[23].

3.3. Mekanik Özellikleri

KYB'nin beklenen mekanik performansı vermesi aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

1. Talep edilen performansa uygun malzeme tip ve oranlarının seçimi (karışım optimizasyonu),
2. Üretim safhasında malzeme tip ve oranlarındaki değişiminin minimizasyonu (homojen malzeme kullanımı, hammadde değişkenliğinden kaynaklanacak problemlerin azaltılması),
3. Ortam koşullarının KYB'ye etkisinin göz önüne alınması, bu koşullara uygun önlemlerin hem karışım dizaynında hem de üretim safhasında dikkate alınması, 4.

Üretim safhasında taze beton kalitesinin seçilen deneylerle sürekli kontrolü, istenen özelliği sağlamayan karışıma anında müdahale yapılması[23].

3.3.1. Basınç dayanımı

Günümüzde geleneksel beton üretiminde basınç dayanımı, betonun sınıflandırılması ve kalite kontrolünde kullanılan en önemli parametredir. Tüm karışım dizayn yöntemleri ve standartlar beton basınç dayanımının sağlanması esasına dayanır. KYB'de de basınç dayanımı talep edilen sınıfı sağlama açısından önemli bir parametredir. Fakat taze haldeki kendiliğinden yerleşebilirlik kriterleri de aynı derecede önem taşımaktadır. Kendiliğinden yerleşen beton dizayn yöntemlerinde, basınç dayanımı faktörü ikinci derecede önem arz etmektedir. Örneğin Okamura yönteminde, basınç dayanımı ile ilgili herhangi bir su/çimento (S/Ç) oranı – basınç dayanımı ilişkisi verilmemiştir. Basınç dayanımı için S/Ç oranının belirlenmesinde, geleneksel beton dizayn yöntemlerindeki tabloların ilk yaklaşım için kullanılabilmesi belirtilmiştir. KYB'de ilk yaklaşım olarak alınan su/çimento oranı genellikle istenen dayanımın üzerinde bir beton üretilmesine sebep olmaktadır. Bunun sebebi KYB karışımındaki ilave toz malzemenin karışım suyunu tutarak, aslında yüksek gibi görünen S/Ç oranını düşürmesinden ibarettir.

KYB'de kullanılan toz madde tipi de dayanım sınıfının değişmesine sebep olmaktadır. Aynı çimento dozajında farklı tipte toz maddelerin kullanılması, toz maddelerin puzolanik özellik gösterip göstermediğine göre dayanım sınıfı değişikliğine sebep olabilir. Bu değişkenlik diğer mekanik özellikleri de etkileyecektir.

Toz tipi metoduyla üretilmiş KYB için geleneksel beton gibi dayanım sınıfı su/çimento ilişkisi kurulması ancak sabit bir toz malzeme kullanılması halinde mümkündür. KYB üretiminde kullanılan toz tip ve miktarları çok değişken olduğundan (tas tozu, uçucu kül, doğal ve yapay cürufur, silis dumanı vb.) dayanım sınıfı - su/çimento ilişkisinin genellenmesi pratik değildir.

Yapılan çalışmada 300 - 350 kg/m³ çimento dozajı, 500 - 600 kg/m³ toplam toz dozajı (çimento ve uçucu kül) kullanarak, farklı su ve akışkanlaştırıcı katkı miktarları ile kendiliğinden yerleşebilirliğini sağladıkları betonlarda, 28 günde 60 - 80 MPa'lık basınç dayanımlarına ulaşılabildiğini rapor etmişlerdir.

Öte yandan toz kullanılmadan, viskozite arttırıcı kimyasal katkılarla üretilen KYB'lerde, geleneksel beton için hazırlanan dayanım sınıfı - su/çimento iliksi tablolarının kullanılması uygundur.

Özet olarak KYB'nin basınç dayanımı bileşen çeşitliliği nedeniyle, önceden öngörülememektedir. İlk yaklaşım olarak geleneksel beton için hazırlanan dayanım sınıfı su/çimento ilişkisi tabloları kullanılabilir. Özellikle toz tipi metodu kullanılarak üretilen KYB'lerde elde edilecek dayanım sınıfı büyük ihtimalle beklenen değer üzerinde çıkacaktır.

KYB'nin basınç dayanımı üniform yapısı nedeniyle geleneksel betona kıyasla daha homojen bir dağılım gösterir. Li & Hwang'ın yaptığı çalışmada istatistiksel açıdan anlamlı olması açısından, 30'ar numuneli iki seri hazırlanmış ve bunların basınç dayanımı değişkenlik katsayısının % 5'in altında olduğu belirlenmiştir. Bu da oldukça homojen bir üretim kalitesine işaret eder.

3.3.2. Çekme dayanımı

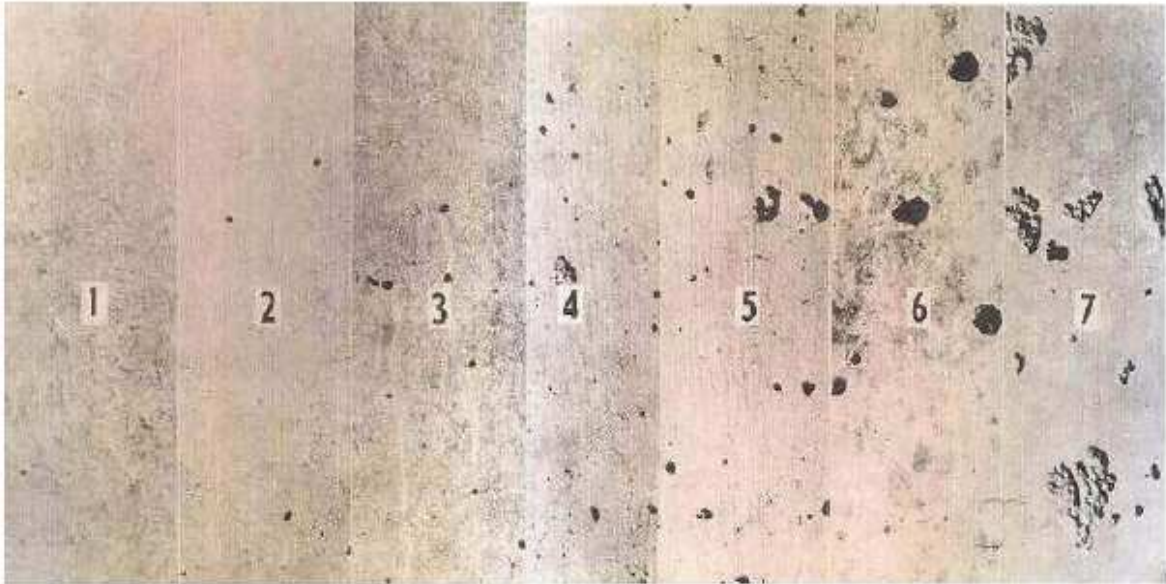
Çekme dayanımı için aynı basınç dayanımına sahip geleneksel beton ile KYB karşılaştırıldığında önemli bir farklılık olmadığını rapor etmiştir . Aynı dayanım sınıfında, KYB ile geleneksel betonun çekme dayanımı/basınç dayanımı oranlarını karşılaştırdığında, KYB'nin çekme dayanımının geleneksel betona oranla daha yüksek olduğu sonucunu elde etmiştir. Bunun en önemli sebepleri KYB'deki boşluk yapısının daha homojen dağılmış olması ve sıkıştırma enerjisinden kaynaklanan mikroyapı kusurlarının ortadan kalkmasıdır.

3.3.3. Boşluk yapısı

KYB'nin boşluk yapısı, taze haldeki reolojik özelliklerinden, kullanılan kimyasal katkı, döküm yöntemi, kalıp şekli ve donatı miktarından önemli ölçüde etkilenir[23].

KYB'de boşluk çapının daha büyük ama bağlantısız (izole edilmiş boşluk yapısı) olduğu sonucunu elde etmiştir. Kapiler su emme deneylerinde KYB iç yapısında su boşluklar arasında geçiş yapamadığı için standart betondaki kadar yükselmez.[17] Döküm hızının yüksek olması halinde sıkışık hava boşluğu miktarının arttığı görülmüştür.[23]

Boşluk yapısının deneysel olarak tespiti pratik değildir. Yüzey görünümünden boşluk yapısı hakkında fikir elde edilebilir. Fransız Standardı P18-503'de yüzey boşluk yapısı, Şekil 3.1 'de görülen 7 sınıfa ayrılmıştır. Bu şablon kullanılarak yüzey görünümü sınıflandırılması yapılmaktadır. İlk 4 sınıf kaliteli yüzey görünümü olarak kabul edilmektedir. Bal peteği görümlü boşlukların bulunduğu 5, 6 ve 7. Sınıflar KYB olarak kabul edilemez[23].



Şekil 3.1. Fransız standartı P18-503'e göre yüzey boşluk yapısı

3.3.4. Erken dayanım kazanma hızı

Hiper akışkanlaştırıcılar, kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamanın yanı sıra, su kesme işlevi de gördükleri için, ortamdaki su miktarını azaltarak erken dayanımı arttırmırlar.[23] Toz tipi metodu ile üretilen KYB'lerde tas tozu kullanılması halinde, erken dayanım bir miktar yükselmektedir. Silis dumanı ve polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcı katkıların birlikte kullanımı erken dayanımı arttırmaktadır. Viskozite arttırıcı kimyasal katkıların (VAK) kullanılması halinde, KYB'nin dayanım kazanma hızı yavaşlar.

3.3.5. Geçirimsizlik

KYB'de tas tozu kullanımı ile betonun boşluk yapısı klor iyon difuzyonuna dirençli hale getirilebilir.

Raghavan vd, hızlı klor iyonu penetrasyon deneyi ile aynı dayanım sınıfında geleneksel betonda 4000 coulomb, KYB'de 1500 coulomb sonuçlarını elde etmiştir. Buna göre geleneksel betona kıyasla çok daha geçirimsiz bir yapıya sahiptir.

3.4. Durabilite

Durabilite açısından KYB ile karşılaştırılan geleneksel beton özellikleri ve karışım bileşenleri çok önemlidir. Bu nedenle literatürden elde edilen sonuçların sadece o çalışmanın sınırları içinde kabul edilebilir olduğu dikkate alınmalıdır.

3.4.1. Donma çözülme direnci

İsveç'te yapılan deneysel çalışmalarda geleneksel betonla kıyaslanan hava sürüklenmiş KYB benzer donma çözülme direnci göstermiştir. Geleneksel betonda olduğu gibi KYB'de de donma çözülme direnci S/Ç oranı artışıyla azalmaktadır.

3.4.2. Alkali silika reaksiyonu (ASR) ve sülfat direnci

Özellikle toz tipi KYB dizaynı kullanılması halinde tozun özelliğine bağlı olarak (uçucu kül, silis dumanı vb.) betonun ASR ve Sülfat direnci farklı oranlarda arttırılabilir [54].

BÖLÜM 4. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON DENEY YÖNTEMLERİ

Geleneksel beton üretiminde kalite kontrol safhasında pratikte en çok kullanılan iki parametre taze betonun çökme değeri ve betonun belirli yastaki (genellikle 28 günlük) basınç dayanımıdır. Geleneksel beton basınç dayanımına göre sınıflandırılmaktadır. KYB’de ise durum farklıdır. Basınç dayanımından çok, taze haldeki özellikleri KYB’yi tanımlamada kullanılır[37].

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilirliğinin, laboratuvar ortamında belirlenmesi ve uygulamada kontrolü için çok sayıda deney yöntemi geliştirilmiştir. Pek çok deney yöntemi geliştirilmesine rağmen, hiçbir yöntem tüm reolojik parametreleri tek basına belirleyememekte, hepsinin eksik yönleri bulunmaktadır[23].

EFNARC Komitesi (2002)’nin yaptığı çalışmalarda kendiliğinden yerleşebilirlik deneyleri işlevsellik açısından üç farklı sınıfa ayrılmıştır:

Doldurma Kabiliyeti Ölçen Deneyler:	Çökme sonrası yayılma ve 50 cm’ye yayılma süresi, V-hunisi akış süresi.
Geçiş Yeteneği Ölçen Deneyler:	J-halkası, L-kutusu, U-kutusu deneyleri.
Ayrışma Direnci Ölçen Deneyler:	V-hunisi 5 dakika gecikmeli akış süresi.

EFNARC (2002)’de standardında önerilen deney yöntemleri ve ölçtüğü kendiliğinden yerleşebilirlik özellikleri topluca Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. EFNARC' a göre deney yöntemleri ve özellikleri [21].

	Deney Metodu	Özellik
1	Yayılma çapı	Doldurma yeteneği
2	50 cm.'e yayılma stresi	Doldurma yeteneği
3	J-halkası	Geçiş yeteneği
4	V-hunisi akış stresi	Doldurma yeteneği
5	5dk. sonra V-hunisi akış stresi	Ayrışma direnci
6	L-kutusu	Geçiş yeteneği
7	U-kutusu	Geçiş yeteneği

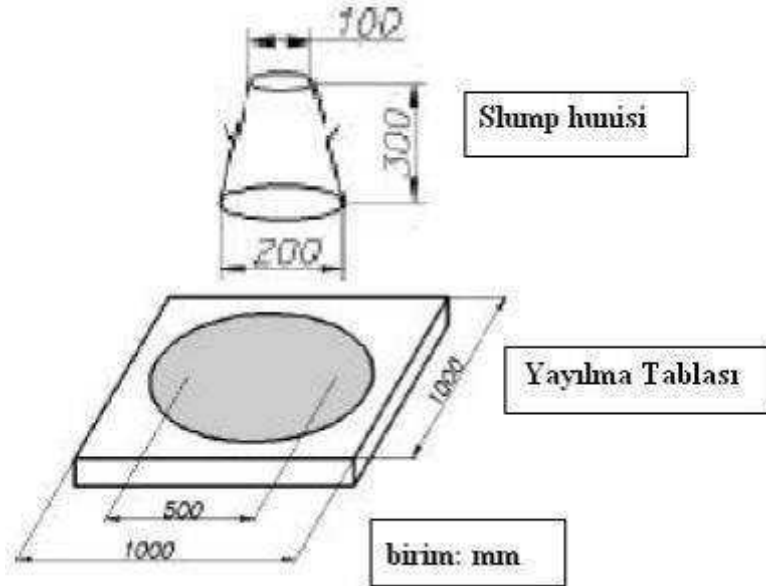
4.1. Yayılma Deneyi

Bu deney çökme (ASTM C143-90a) deneyinin bir modifikasyonudur ve standartlara geçmiş bir deney olmamasına rağmen, akıcı kıvamlı betonlarda araştırmacıların tercih ettiği bir deneydir.[23] Şekil 4-1'de deney aletlerinin şematik gösterimi görülmektedir.

Deneyin yapılışı şöyle özetlenebilir: Kesik koni şeklindeki standart çökme hunisi yatay yüzeydeki yayılma tablasının merkezine yerleştirilir ve betonla doldurulur. KYB'de sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadığı için, standart şişleme yapılmaz ve huni bir kap vasıtasıyla, beton serbest düşürülerek doldurulur. Huninin hidrostatik basınç etkisiyle yukarı kalkmasını ve betonun sızmasını engellemek için doldurma sırasında huniyi iyice bastırmak gerekir. Huni, doldurulduktan sonra yukarı kaldırılarak betonun yayılmasını tamamlaması beklenir. Viskozitesi yüksek karışımlarda yayılmanın tamamlanması için birkaç dakika beklemek gerekebilir. Yayılma durunca birbirine dik iki çap ölçülerek deney tamamlanır. Bu çaplar arasındaki fark 5 cm'den fazla ise deney tekrarlanmalıdır[12].

Yayılma deneyinde, betonun çökerek yayılma hareketini devam ettirmesi, esik kayma gerilmesi değerini asmasına bağlıdır. Betonun esik kayma gerilmesi ne kadar

düşükse, beton kendi ağırlığı ile o kadar çok çöküp yayılacaktır ve esik kayma gerilmesiyle kendi ağırlığının yarattığı ve yayılma süresince giderek düşen gerilme eşitlenince yayılma duracaktır. Bu nedenle nihai yayılma deneyi esik kayma gerilmesiyle ilişkilendirilebilir[23].

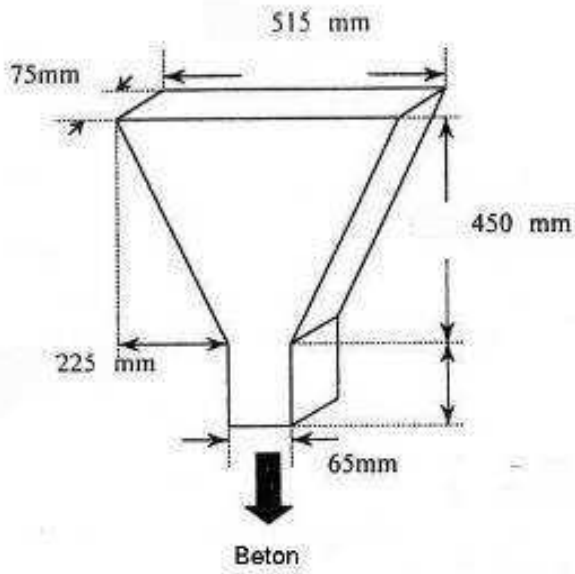


Şekil 4.1. Yayılma tablası ve hunisi boyutları

Çökme yayılma deneyinde sonucu etkileyebilecek değişkenlikler daha çok deneyi yapan kişinin kullandığı aparat ve yonteme (koni 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[23].

4.2. V hunisi Deneyi

V şekilli akış hunisi taze beton viskozitesini dolaylı yoldan ölçmek amacıyla kullanılır. [38] Şekil 4-2’de deney aletinin şematik gösterimi görülmektedir.

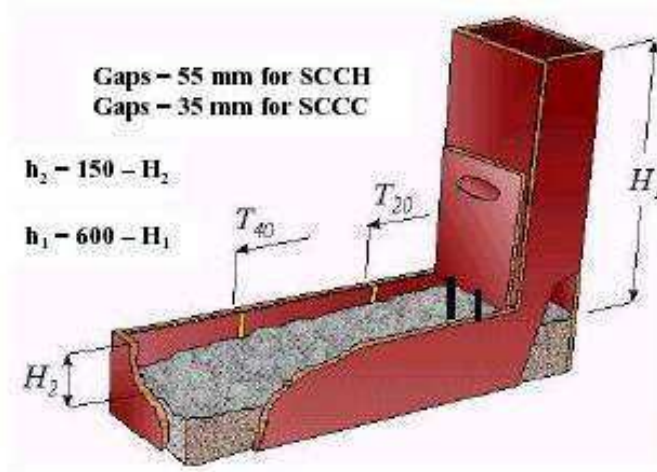


Şekil 4.2. V-hunisi boyutları

Deneyin yapılışı sırasında beton akıyorsa yani tıkanma varsa, bunun iki nedeni olabilir; esik 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[38].

4.3. L kutusu deneyi

Betonun donatılar arasından geçişi sırasında bloke olup olmayacağını belirlemede etkilidir.[38] Yatay ve düşey prizmalar arasındaki geçiş kesitinde belirli aralıklarda düşey çelik çubuklar mevcuttur. Düşey kısım hareketli bir ayırıcı yardımıyla kapatılmışken taze betonla doldurulur. Ayırıcı kaldırılır ve beton, donatılar arasından geçerek yatay prizmayı doldurmaya başlar. Hareket durduğunda donatıların basında ve yatay kalıp ucundaki beton yükseklikleri ölçülür. Bu yükseklikler arası oran (h_2/h_1) hesaplanır. Bu değer L-kutusu oranı (bloklanma oranı) olarak adlandırılır. L-kutusu oranı su gibi çok akışkan bir malzemede 1'e eşit olur[23].



Şekil 4.3. L-kutusu deney aleti sematik gösterimi

4.4. n J halkası Deneyi

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 4.4'de görüldüğü gibi yerleştirilir. Yayılma sonrası merkez ve halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri ölçülür ve bu yükseklik farkına göre geçiş yeteneği belirlenir.



Şekil 4.4. J halkası deneyi

BÖLÜM 5. YÜKSEK FIRIN CÜRUFU

Cüruflar çeşitli metalurji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından birisidir. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri elde edildikleri sanayi kuruluşlarının ürettiği ana ürün tipine ve üretim yöntemine bağlı olarak birbirinden çok farklılık gösterir. Örneğin, yüksek fırın cüruflarının kendi başına bağlayıcı özelliği olmasına karşın nikel ve bakır cüruflarının yalnızca puzolanik özellikleri vardır.

Cürufların çimento ve beton sektörlerinde çok çeşitli kullanım olanakları bulunmaktadır. Konvansiyonel çelik üretim teknikleriyle elde edilen cüruflar kristal yapıya sahip kütleler olarak ortaya çıkar. Bu tür cüruflar ya hiç kullanılmaz ve atılırlar ya da yol malzemesi veya beton agregası olarak kullanılır. Buna karşılık, modern teknolojiyle çelik üretimi yapılan tesislerde camsı yapıya ve bir miktar hidrolik özelliklere sahip olan cüruflar elde edilir. Bunları çimentolu sistemlerde kullanmak mümkün olmaktadır.

Tüm cüruflar arasında en önemlisi ve en yaygın kullanım alanına sahip olanı yüksek fırın cüruflarıdır (YFC).

5.1. Üretim

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen YFC yüksek fırınlarda, daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde yer alır. Demir filizi gangi, kok ve kireçtaşının yanma sonrası artıkları YFC'yi meydana getirirler. YFC'nin oluşum sıcaklığı 1400-1600°C'dir .

YFC'nin kimyasal kompozisyonu bir üçlü diagramda ($\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$) (Tablo 5.1) diğer bazı malzemelerle birlikte karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.1.Cürüfların kimyasal kompozisyonu

Oksit (%)	Demir cürüfları				Diğer cürüfları				
	Yüksek Fırın Cürüfları				Linz	Kurşun-	Nikel	Bakır	Fosfor
	1	2	3	4	Donawitz	Çinko	cürufu	Cürufu	cürufu
	(Fransa)	(Japonya)	(Türkiye)	(Türkiye)	(Almanya)	(ingiltere)	(Kanada)	(Güney Afrika)	(ABD)
SiO ₂	35	31	40.2	38.6	13	18	29	34	41
eaO	43	37	34.5	31.7	47	20	4	9	44
MgO	8	8	9.4	9.3	1	1	2	4	1
ALP3	12	16	II	15.2	1	6	1	6	9
Fe ₂ O ₃	0.4	0.7	0.8	0.8	31	38	53	44	1

Erimiş haldeki cüruf yüksek fırından çıktığında hızlı olarak soğutulduğu takdirde akışkanlığındaki ani azalma kristal yapılaşmayı engeller ve camsı yapıda bir katı eriyik elde edilmesini sağlar. Bu, yarı-kararlı camsı malzeme sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak ya da ince öğütülmek ve portland çimentosunun hidrasyonu ile ortaya çıkan Ca(OH)₂'yi kullanmak suretiyle, hidrolik özelliğe sahip olur. Aktivasyon sonucunda, kalsiyum silikat hidratlar meydana gelir .

1862 yılında Emil Largs yüksek fırın cürufunun suyla granülasyonu sonucunda elde edilen malzemenin kireçle karıştırılmasıyla bağlayıcı özelliğe sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Yüksek fırın cürufunun ani soğutulması için iki yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi Granülasyon Yöntem, ikincisi ise Peletleme Yöntemidir. Granülasyon yönteminde soğutma işlemi için çok miktarda (1 00m³/ton cüruf su kullanılması zorunluluğu vardır. Bu işlem sonucunda cürufun içerdiği su miktarı yaklaşık %30 civarındadır. Bu su ya kurutucu değirmenler veya filtreli havuzlarda cüruftan

uzaklaştırılır. Elde edilen GYFC'nin özellikleri bakımından en iyi yöntem olmakla birlikte çok pahalı olması bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır.

Öte yandan, Kanada'da geliştirilmiş, daha yeni bir yöntem (Peletleme) daha yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bu yarı-kuru proseste erimiş haldeki cüruf önce suyla soğutulur daha sonra dönen (dakikada 300 tur) bir tambur vasıtasıyla havaya fırlatılır. Bu yöntemde kullanılan su miktarı 1 ton cüruf için yaklaşık 1 m³'tür. İşlem sonucunda cüruf içinde kalan su miktarı ise % 1 'in altındadır.

Peletleme yöntemi sonucunda birkaç değişik boyda malzeme elde edilir. Büyük boyutlu (4-15mm) olanlar çok gözenekli ve kısmen kristal bir yapıya sahiptir. Bunlar daha çok hafif beton agregası olarak kullanılabilirler. 4 mm'den küçük boyutlu olanlar ise camsı yapıya sahiptirler ve çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılırlar.

1862 yılında Langens'in YFC'lerin bağlayıcı özelliklere sahip olduğu gözleminin ardından 1865 yılında ilk kez YFC-kireç karışımından elde edilen bağlayıcılar ticari olarak üreilmeye başlamıştır. YFC'nin çimento hammaddesi olarak kullanımı ise ilk kez 1883 yılındadır. Portland çimentosu klinkerini GYFC ile birlikte öğüterek Portland Yüksek Fırın Cürufu çimentosunun üretimi de 1892 yılında Almanya'da başlamıştır.

5.1.1. Granüle yüksek fırın cürufunun yapısı

Yüksek fırın cürufunun camsı yapısını önce kristal yapıdaki silika olan kuartın yapısından yola çıkarak açıklamak mümkündür. Camsı silikada, yukarıda belirtilen yapı, tetrahedronların düzgün ve birbirini düzenli olarak tekrarlayan şekilde dizilmesinin bazı Si-O-Si bağlarının kırılması ve araya bazı metal katyonlarının girmesi nedeniyle bozulmuştur . Kristal yapıdaki her terahedronun dört köşede birer tetrahedrona komşu olması durumu camsı silikat yapısında 1-4 komşu tetrahedron bulunması haline dönüşmüştür. Artık, üç boyutlu bir kafes yapıdan söz etmek mümkün değildir.

5.1.2. Granüle yüksek fırın cürufunun hidratasyonu

GYFClerin kendi başlarına suyla reaksiyonu, Portland çimentolarının hidratasyonu ile kıyaslandığında, oldukça yavaş gelişir. Cürufun hidratasyonu eürufun su içinde kısmi olarak erimesiyle C-S-H, hidrate aluminatlar ve hidrate siliko aluminatların çökmesi olarak tanımlanabilir. Cüruf hidratasyonunun başlangıç aşamasında silikat iyonları eriyiğe geçer, daha sonra ilk C-S-H çökmesinin ardından, eriyiğin kireç konsantrasyonu artar ve son olarak da alumina konsantrasyonunda, hidrate aluminat kristallerinin oluşumuna kadar, artış görülür. YFC hamurlarındaki hidrate fazların belirlenmesine yönelik bir araştırmada CaO-SiO₂-Al₂O₃-H₂O dörütlü sisteminde C-S-H, C₂ASH ve C₄AH_{13.19} bileşenlerinin oluştuğu belirlenmiştir.

GYFCnin suyla kendi başına reaksiyonunun çok yavaş seyretmesi birçok araştırmacıyı bu reaksiyonu hızlandıracak aktivatörler konusunda çalışmaya yöneltmiştir . Yaklaşık 60 yıldan bu yana yapılan çalışmalar sonucunda cürufların kimyasal aktivasyonu için kullanılan malzemeleri iki ana grupta toplamak mümkündür:

Alkalin aktivatörler (soda, kireç, sodyum karbonat, sodyum silikat, vb.)

Sülfat aktivatörler (alçı, anhidrit, fosfojips, vb.).

Her iki grup malzeme de cürufların hidratasyon ürünlerinin oluşumunu hızlandırır. Yukarıda belirtilen aktivatörlerin kullanımı sonucunda elde edilen cüruf hidratasyon ürünleri C-S-H, C₄AH₁₉, C₄ASH_a (Ca(OH)₂ aktivatör olarak kullanıldığında meydana gelmez) ve etringittir.

5.2. Cürüflü Çimentolar

5.2.1. Üretim

Cürüflü çimentolar granüle yüksek fırın cürufunun portland çimentosu klinkeri ve alçı taşı ile birlikte veya ayrı ayrı öğütölüp karıştırılmasıyla elde edilir.

Cürüflü çimento üretiminde kullanılan cüruf miktarı değişik ülkelerde, çimento tipine de bağlı olarak, önemli farklılıklar göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ASTM e 595'de belirtilen Portland Yüksek Fırın Cürufu Çimentoları (Portland Blast Furnace Slag cement)nda cüruf oranı %25-65'dir. Almanya'da DIN 1164'de Eisenportland ve Hochofen çimentoları olarak iki tip cürüflü çimento tanımlanmıştır. Bunlardan birincisinde cüruf miktarı en fazla %40, ikincisinde ise %41-85'dir. Fransa'da Ciment de Fer%25-35, cement Metallurgique Mixte %45-55, Ciment de Haut Fourneau %65-75 ve Ciment de Laitier au clinker %80'in üstünde granüle yüksek fırın cürufu içerir. Ülkemizde standardı bulunan üç tür cürüflü çimentodan TS 20'de belirtilen cürüflü çimentolar pç 32.5 ve pç 42.5'da %20-80, TS809'da belirtilen Süper Sülfat çimentosu SSÇ 32.5'da ise en az %65 granüle yüksek fırın cürufu bulunur.

Genel hatlarıyla, üretim enerjisi ve hammadde kullanımı değerlerine bakıldığında, 1 ton %65 cüruf (%15 rutubetli) içeren bir cürüflü çimento üretimi için 1 ton Portland Çimentosu üretiminde gerekli olan hammadde miktarında yaklaşık %65, kullanılan enerji miktarında ise yaklaşık %50 bir azalma sağlanır.

5.2.2. Cürüflü çimentoların hidratasyonu

GYFCLerin hidratasyonlarının hızlandırılması için gereken iki kutup aktivatör çimentolu sistemlerde zaten bulunmaktadır: (1) alçı ve (2) çimentonun silikat bileşenlerinin hidratasyonu ile elde edilen $Ca(OH)_2$. Bütün ticari cürüflü çimentolarda klinker kısmı cüruftan daha hızlı olarak hidrate olur. Ancak, cüruf da, aşağıdaki kolorimetre eğrilerinde de görüleceği gibi, çok erken yaşlarda suyla reaksiyona girmektedir (1, 16). %70 cüruf ve %30 portland çimentosu içeren bu karışımlarda 1 . cürufun ikincisine göre daha reaktif olduğu anlaşılmaktadır. Açığa çıkan hidratasyon ısılarının piklerine bakıldığında, birinci cürüflü çimento ile Portland çimentosunun yaklaşık aynı sürede (-6 saat) maksimum hidratasyon ısısına ulaştıkları görülür. Ayrıca, bu süre zarfında yalnızca %30 portland çimentosundan elde edilecek hidratasyon ısısı 15.6 J/gh olacakken 70/30'luk cürüflü çimentolardan, birinci cüruf için, 29 J/gh, ikinci cüruf için de 18 J/gh ısı açığa çıkmıştır. Bu durum

da cürufların daha çok erken yaşlardan itibaren hidrate olmaya başladığını göstermektedir.

Cüruflu çimentolarda cüruf ve klinker fazlarının hidratasyonu ile meydana gelen C-S-H jelleri Tarayıcı Elektron Mikroskop ve EDAX'la incelendiğinde cüruf taneciklerinin yüzeylerinin klinkerin hidratasyonu ile oluşan C-S-H'nin kompozisyonuna göre Al_2O_3 ve MgO bakımından daha zengin olan bir C-S-H tabakası ile kaplandığı saptanmıştır. Sülfat iyonları bu tabakayı eriterek daha pürüzlü bir yapıya sahip ve dolayısıyla suyun penetrasyonunu engellemeyen ikinci bir jel oluşturmasına neden olur.

5.3. Cüruflu Çimentolarla Üretilen Betonların Özellikleri

5.3.1. Taze beton özellikleri

İşlenebilme:

Yüksek fırın cürufunun, klinkere göre, daha az bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olması ve özgül ağırlığının daha düşük olması, dolayısıyla hacimce daha fazla çimento hamuru elde edilmesi cüruflu çimentoların betonun işlenebilirliğini olumlu yönde etkileyeceğinin göstergeleridir. Ancak, bu iyileşme çökme deneyi sonuçlarında tam olarak gözlenemez .

Eşdeğer kohezyon için cüruflu çimento kullanımı karışım suyu gereksinmesinde yaklaşık %5'lik bir azalmaya yol açar.

Priz Süresi İle Zaman İçinde İşlenebilme Kaybı:

Cüruflu çimentoların priz sürelerinin portland çimentolarına göre daha uzun olduğu ve dolayısıyla zamanla işlenebilme kaybının da daha az olduğu yönündeki genel kanıya karşın düşük sıcaklıklarda priz sürelerinin çok uzadığı, normal sıcaklıklarda ise portland çimentolarıyla bir fark olmadığı saptanmıştır. Aynı şekilde, çökme kaybı konusunda cüruflu çimentolarla portland çimentoları arasında önemli fark bulunmamaktadır.

Terleme:

Yapılan deneysel çalışmalarda cürüflu çimento kullanılarak üretilmiş betonların hem terleme hızlarının hem de terleme miktarlarının daha fazla olduğu saptanmıştır . (Öte yandan, şantiye koşullarında cürüflu çimentoların neden olduğu terlemenin yarattığı ciddi problemlere ilişkin bir çalışma veya rapor bulunmamaktadır.

Hidratasyon Isısı:

Cürüflu çimento kullanımı hidrasyon ısısını azaltarak hem maksimum beton sıcaklığını düşürmekte hem de bu maksimum sıcaklığa erişilen süreyi uzatmaktadır .

5.3.2. Sertleşmiş beton özellikleri

Dayanımlar:

Eşit çimento miktarı ve eşit su-çimento oranları söz konusu olduğunda cürüflu çimentolar normal portland çimentolarına göre, erken yaşlarda nispeten düşük, geç yaşlarda ise yüksek beton dayanım değerlerine neden olurlar . Buradan anlaşılacağı gibi, eşdeğer 28 günlük beton dayanımları söz konusu olduğunda beton karışımlarında cürüflu çimento miktarı normal portland çimentosu miktarına göre biraz daha fazla olmalıdır. bu durumda geç yaşlardaki dayanımlar cürüflu çimento ile yapılmış betonlarda çok daha yüksek olmaktadır .

Elastisite Modülü:

Dayanımlar için belirtilmiş olan durum Elastisite Modülü için de geçerlidir. Eşit 28 günlük dayanımlar için, cürüflu çimento kullanılarak yapılmış olan betonların Elastisite Modülleri az bir miktar daha yüksek olmaktadır .

Rötre:

Cürüflu çimentolarla üretilmiş betonların rötreleri konusunda yapılan araştırmaların sonuçları birbirlerinden, deney koşulları ve kullanılan malzemelerin değişik olması nedeniyle, farklılıklar göstermekle birlikte bu farklar çok önemli ölçüde değildir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, cürüflu çimento kullanımının rötreyi portland çimentosu kullanıldığı durumlardan daha değişik etkilemediği söylenebilir .

Sünme:

Betonun sünme davranışıyla ilgili en önemli parametre uygulanan gerilme-dayanım oranıdır. Bu oran sabit olduğu sürece, çimentoların sünme davranışları arasında önemli bir farklılık söz konusu değildir.

Isıl Genleşme ve İletkenlik:

Betonun bu özellikleri büyük ölçüde kullanılan agrega tipi ve özelliklerine bağlı olduğundan çimento tipinin önemli bir etkisi söz konusu değildir.

5.3.3. Cürüflu çimentoların beton kimyasal katkı maddeleriyle uyumu

Genel olarak, cürüflu çimentolar çoğu kimyasal katkı maddeleriyle sorunsuz olarak kullanılabilir. Ancak, tüm diğer çimentolarda olduğu gibi, cürüflu çimentolarla üretilen betonlarda kimyasal katkı kullanmak gerektiği taktirde, gerçek koşullara uygun koşullarda denemeler yapılmasında yarar vardır.

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Amaç

Farklı oranlarda yüksek fırın cürufu kullanarak ve farklı dayanım sınıflarında KYB dizaynları hazırlanarak bunların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmesidir.

6.2. Kapsam

Malzeme seçimi amacıyla hamur ve harç deneyleri yapılmış ve bu deneyler yardımıyla uygun malzeme tipleri tespit edilmiştir.

KYB performansının belirlenmesinde taze haldeki özelliklerinin tespiti önemli olduğundan farklı oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlarında aşağıda listelenen deneyler yapılmıştır:

Tablo 6.1.Deney yöntemleri

Taze Betonda	Sertleşmiş Betonda
Çökme-yayılma deneyi	7-28-90-365 günlük basınç dayanımları
V hunisi akış süresi deneyi	Optimum yerleşebilme deneyi
L kutusu deneyi	
J Ring deneyi	

6.3. Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalar için hazırlanan karışımlardaki beton bileşenlerinin özellikleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Kullanılan Toz Malzemelerin Gradasyon Dağılımları

Toz Malzeme Tipi	Elekten % Geçen					Yoğunluk (t/m ³)
	0.025	0.040	0.063	0.090	0.125	
Çimento	82	94	99	99	100	3.08
Yüksek Fırın Cürufu	75	88	96	99	100	2.94

6.3.1. Çimento

Yapılan deneylerde Bolu Çimento fabrikasından temin edilen, PÇ 42.5 tipi çimentolar kullanılmıştır. Aşağıda Portland çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler verilmiştir.

Tablo 6.3. Portland Çimentosunun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Bağlayıcılar	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	KK (%)	ÖYA (m ² /kg)	ÖA (g/cm ³)
CEM I 42.5	20.20	5.80	3.23	64.10	0.44	2.66	2.58	326	3.11
KK: Kızdırma kaybı ÖYA: Özgül yüzey alanı ÖA: Özgül ağırlık									

6.3.2. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu:

Demir cevherlerindeki safsızlıkların giderilmesi amacıyla, yüksek sıcaklıklarda kömür ile yakılması sonucu cüruf denilen granüle atık elde edilmektedir. Bu cüruf belli incelikte öğütülmesi halinde puzolanik özellik gösterebilmektedir. Özellikleri inceliğine göre değişmesine rağmen genel olarak çok yavaş ama sürekli puzolanik reaksiyona giren bir filler tipidir. Fang vd. ise yüksek fırın cürufunun hızlı puzolanik reaksiyona girdiğini ve erken dayanımı artırıcı etkisi olduğunu savunmaktadır.

KYB'de öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanımı viskozite arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Cüruf kullanımı demir-çelik fabrikasına

yakın bölgelerde ekonomik olmaktadır. Ancak uzak bölgelerde en yakın doğal tras kaynağı tercih edilebilir.

Tablo 6.4. Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Bağlayıcılar	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	KK (%)	ÖYA (m ² /kg)	ÖA (g/cm ³)
Yüksek Fırın Cürufu	36.41	10.39	0.69	34.12	10.26	-	1.64	418	2.79
KK: Kızdırma kaybı ÖYA: Özgül yüzey alanı ÖA: Özgül ağırlık									

6.3.3. Agrega

Deneysel çalışmalarda üç farklı gradasyondaki agrega grubu kullanılmıştır. Dizaynlarda kullanılan en büyük agrega çapı 16 mm'dir. İri agrega olarak "5-15" (5-15 mm arasında tane dağılımına sahip) olarak anılan kırma kireçtaşı, kum olarak ise "0-5" olarak anılan kırma kireçtaşı kumu ve doğal dere kumu (en büyük tane boyutu 4mm) kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan agregaların elek analizi sonuçları Tablo 6.5'de verilmektedir.

Tablo 6.5. Agregaların Elek Analizi Sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)		
	5-15	0-5	Kum
32	100	100	100
16	100	100	100
8	46	100	100
4	6	97	98
2	2	70	73
1	1	39	46
0,5	1	22	23
0,25	1	13	9
Elek altı	0	0	0

6.3.4. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

KYB üretiminde polikarboksilat bazlı hiper akışkanlaştırıcı sınıfına giren katkıları kullanılması tercih edilir. Çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı, yüksek oranda karışım suyu ihtiyacını azaltan, kimyasal olarak uzun kenar zincirli karboksilik eter polimer'inden oluşan, yeni nesil bir akışkanlaştırıcıdır.

Tablo 6.6. Kimyasal katkının Özellikleri

	Renk	Özgül Ağırlık	Katı Madde %'si	pH
Glenium C303	Açık	1.045	20.57	6.07

6.3.5. Su

Hazırlanan betonlarda karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Bu suyun kimyasal analizi Tablo 6.7'da verilmiştir.

Tablo 6.7. Suyun Kimyasal Analizi

Özellik/Bileşen	Miktarı/Değeri
PH	6,0
İletkenlik	370
Tuzluluk (%)	0,18
Klorür (mg/lt)	124
T. Sertlik (CaCO ₃ /lt)	158
Kalsiyum(mg/lt)	49
Magnezyum (mg/lt)	18
Sülfat (mg/lt)	26

6.4. Karışım Dizaynları

Portland çimentosu ile birlikte çimentonun % 20, 35 ve 50' 1 oranlarında yüksek fırın çürufunun ve %100 portland çimentosunun(Şahit beton) kullanıldığı 4 tip

kendiliğinden yerleşen beton karışımı üretilmiştir. Kullanılan betonlara ait karışım oranları ve bu betonların işlenebilirliğiyle ilgili esas özellikler Tablo 6.8 de verilmektedir. Betonların üretiminde maksimum tane çapı 15 mm olan doğal çakıl ve nehir kumu (<4 mm) kullanılmıştır. Ayrıca, 750–850 mm çökme-yayılma değerini elde etmek amacıyla 1.045 gr/cm³ yoğunluğa sahip özel bir süper akışkanlaştırıcı olan glenium c303 karışıma (çimento+yüksek fırın cürufu) miktarının %1.57’i oranında katılmıştır. KYB karışımı için çökme-yayılma(JRing), t500, V-hunisi ve L-kutusu işlenebilirlik deneylerine ait değerleri karışımlardaki su miktarları ayarlanarak elde edilmiştir.

Tablo 6.8. Karışım Oranları

Karışım	Çimento Kg	Yüksek Fırın Cürufu Kg	Kum kg	Su/YFC	S/Ç*	Agregalar	
Şahit	10.125	-	22.373	1.00	0.380	14.456	6.18
%20	11.18	2.6325	22.373	1.00	0.380	14.456	6.18
%35	9.204	5.265	22.373	1.00	0.380	14.456	6.18
%50	7.528	7.93	22.373	1.00	0.380	14.456	6.18
*S/Ç= Su/ (çimento+YFC)							

6.5. Deneylerin Yapılışı

KYB karışımlarının karıştırma işlemi, karışımda homojenliği sağlamak amacıyla öncelikle etüv kurusu durumda olan çakıl ve kum karışım suyunun %60’ ı ile birlikte 1 dakika, daha sonra çimento, yüksek fırın cürufu ve geriye kalan suyla birlikte süper akışkanlaştırıcı katılarak mikser yardımıyla toplam 3 dakika olarak gerçekleştirilmiştir.

Taze beton deneyleri için örnek beton alınıp, taze beton deneyleri yapılırken, karışımın işlenebilirliğini kaybetmemesi için mikserde karıştırılmaya devam edilmiştir. Elde edilen karışımlar, 2 şer adet standart küp (150 mm) kalıplarına

sıkıştırılmaksızın kürek yardımıyla dökülmüştür. Bu numuneler kalıpta 24 saat bekletildikten sonra 7, 28, 90 ve 365 gün olmak üzere 20 ± 2 °C suda küre maruz bırakıldılar. Her bir kür periyodu sonunda, her bir beton için 2 adet standart küp (150 mm) numune üzerinde basınç mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler 8 saat öncesinden kürden çıkarılıp laboratuvar ortamında bekletildikten sonra deneyler yapılmıştır.

6.5.1. Taze beton deneyleri

6.5.1.1. Yayılma deneyi (t=50)

Abrams konisi sıkıştırma yapılmadan doldurularak kaldırılmakta ve betonun tabloda 50 cm'lik çapa gelme süresi (T50) ve nihai yayılma çapının birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek deney yapılmaktadır (Şekil6.1). Yayılan betonun görünür stabilite indeksi belirlenerek, kıvamı ve ayrışma eğilimleri belirlenmiştir.



Şekil 6.1.Yayılma Deneyi

6.5.1.2. V hunisi deneyi

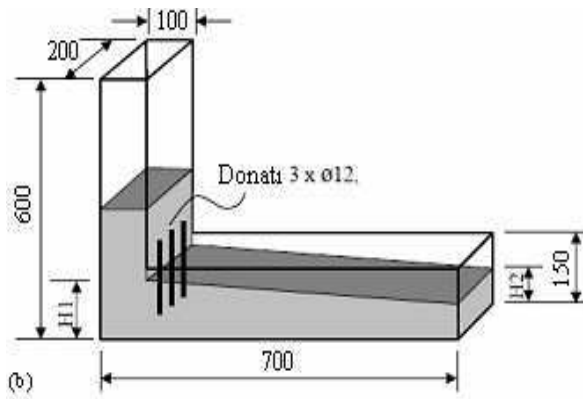
Deneyler, EFNARC (2002) standardına uyumlu 5 x 5 cm orifis açıklıklı, 10 litre kapasiteli V-şekilli deney aleti kullanılarak yapılmıştır (Şekil6.2). Aletin doldurulması sırasında herhangi bir sarsma ve sıkıştırma işlemi uygulanmamıştır. Betonun boşalma süresi ölçülerek V-hunisi süresi tespit edilmektedir.



Şekil 6.2.V Hunisi Deneyi

6.5.1.3. L kutusu deneyi

Deneyde L-Kutusunun dikey haznesinin üstünden beton dökülerek doldurulmuş ve kapağı açılarak iki ölçüm gerçekleştirilmiştir. Birinci ölçüm önceden kutunun yatay haznesine işaretlenen 200 mm ve 400 mm'lik mesafelere ulaşma süresinin tespitidir. İkinci ölçüm ise akışın bitmesiyle taze betonun L- Kutusunun son ve baş kısımlarındaki yükseklikleri arasındaki orandır (H_2/H_1).



Şekil 6.3. L Kutusu Deneyi

6.5.1.4. J ring deneyi

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 6.4'de görüldüğü gibi yerleştirilir. Yayılma sonrası merkez ve halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri ölçülür ve bu yükseklik farkına göre geçiş yeteneği belirlenir.



Şekil 6.4. J-Ring Deneyi

6.5.2. Sertleşmiş beton deneyleri

Sertleşmiş beton üzerinde serbest basınç deneyi ve optimum yerleşilme deneyi yapılmıştır. Deneylerin yapılışı ile ilgili ayrıntılı bilgi aşağıda verilmektedir.

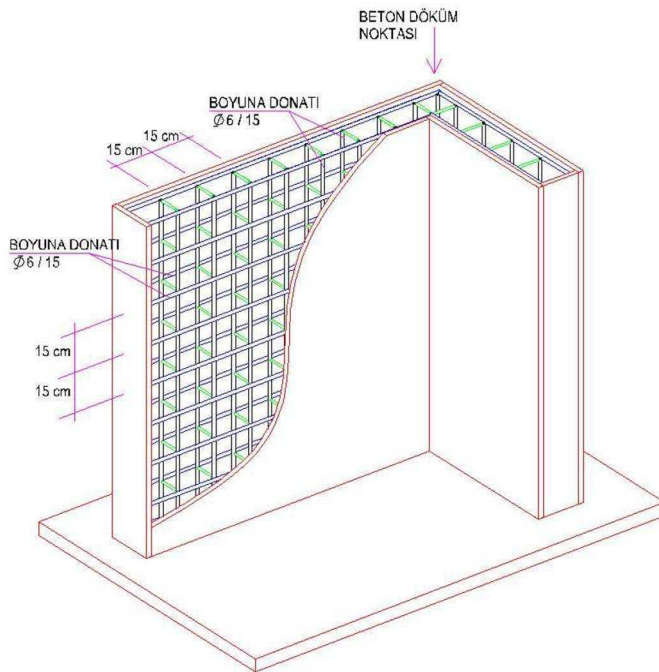
6.5.2.1. Serbest basınç deneyi

15x15x15 cm boyutlu küp deney numunelerine tek eksenli basınç deneyi 7,14, 28,90 günlerde olmak üzere 4 farklı yasta uygulanmıştır. Örnekler 24 saat kalıplarda oda sıcaklığında (24°C) bekletildikten sonra ortalama sıcaklığı 15 derece olan kür

havuzlarında bekletilmişlerdir. Numuneler basınç dayanım deneyi yapılmadan 4 saat önce kürden çıkarılıp kuru bezle yüzeyleri silinip bekletilmiştir. Bütün karışımların örneklerinde aynı koşul yerine getirilerek, numune içinde meydana gelebilecek hidrostatik basınç etkisi eşitlenmeye çalışılmıştır. Deneylerde kullanılan yükleme hızı küp numuneler için 680 kg/sn dir.

6.5.2.2. Optimum yerleşme deneyi

Bu deney yönteminde amaç kendiliğinden yerleşen betonların hiçbir müdahale gerektirmeksizin, kalıplara yerleşebilirliğini ölçmektir. Deney şahit beton, ve Yüksek Fırın Cürufu (%20) karışımları için yapılmıştır. Deneyde, kalıbın merkezine yakın bir noktadan beton dökümü yapılmış ve hiçbir müdahale yapılmadan bu betonun kalıba yerleşmesi sağlanmıştır. Bir gün sonra kalıp sökülüş ve 28 gün sonra dokuz adet yatayda, üç adet düşeyde olmak üzere bir kalıptan toplam 27 adet karot numunesi alınmıştır. Alınan karotlar serbest basınç deneyine tabii tutulmuşlardır.



Şekil 6.5. Optimum Yerleşme Deneyi Donatı Detayı



Şekil 6.6.Optimum Yerleşme Deneyi Kalıpları

6.6. Deney Sonuçları

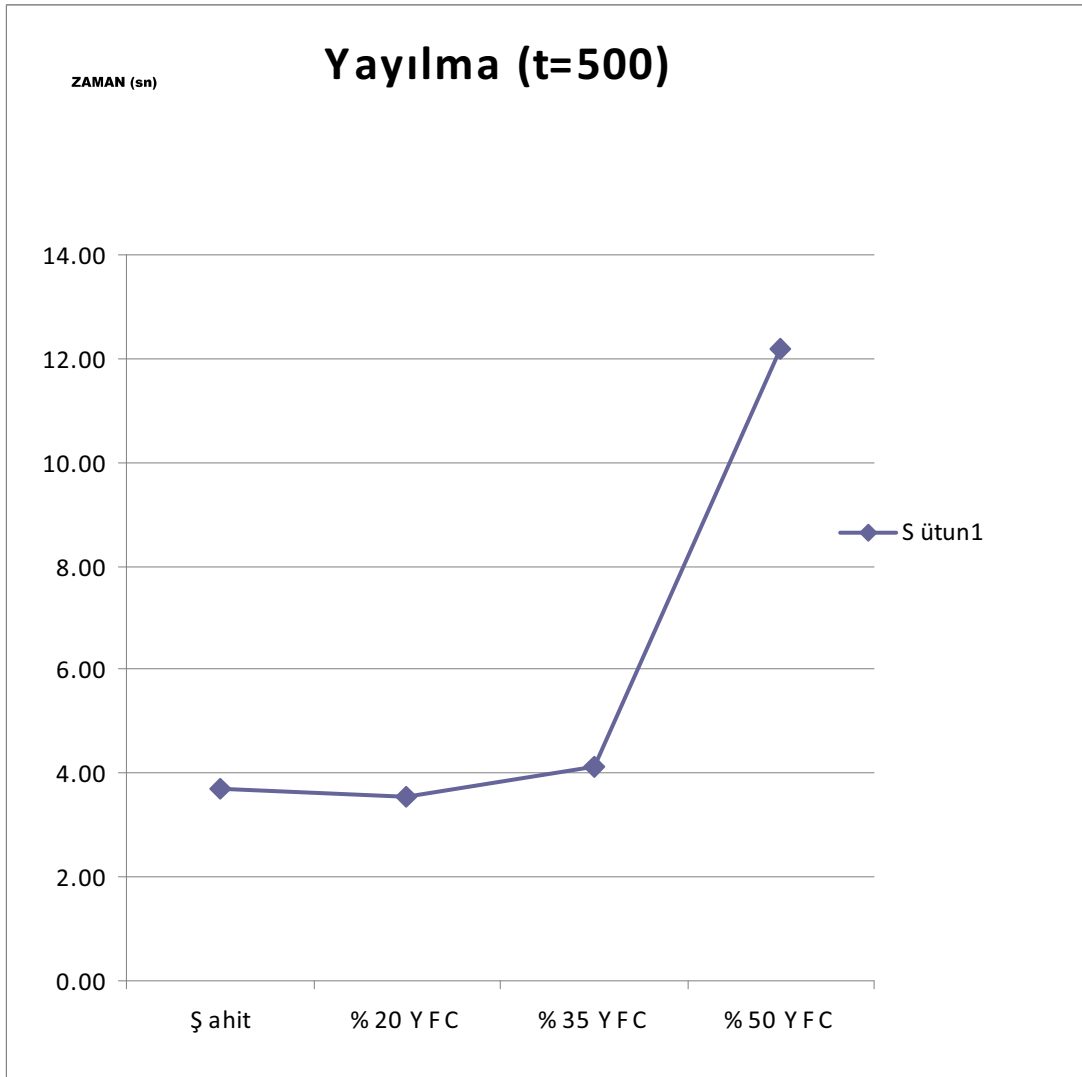
6.6.1. Taze beton sonuçları

Taze beton numuneleri üzerinde yapılan çökme-yayılma, JRing, V hunisi ve L-Box deneylerine ait deney sonuçları aşağıda tabloda verilmiştir. Tablo 6.9 da görüldüğü gibi, %20 oranında yüksek fırın cürufu kullanılan karışım, şahit numune ve diğer karışım oranlarıyla yapılan numunelere göre daha uzun yayılma mesafesine daha kısa sürede ulaşabilmekte ve işlenebilirliği daha iyi bir beton görüntüsü vermektedir.

Tablo 6.9. Taze Beton Deney Sonuçları

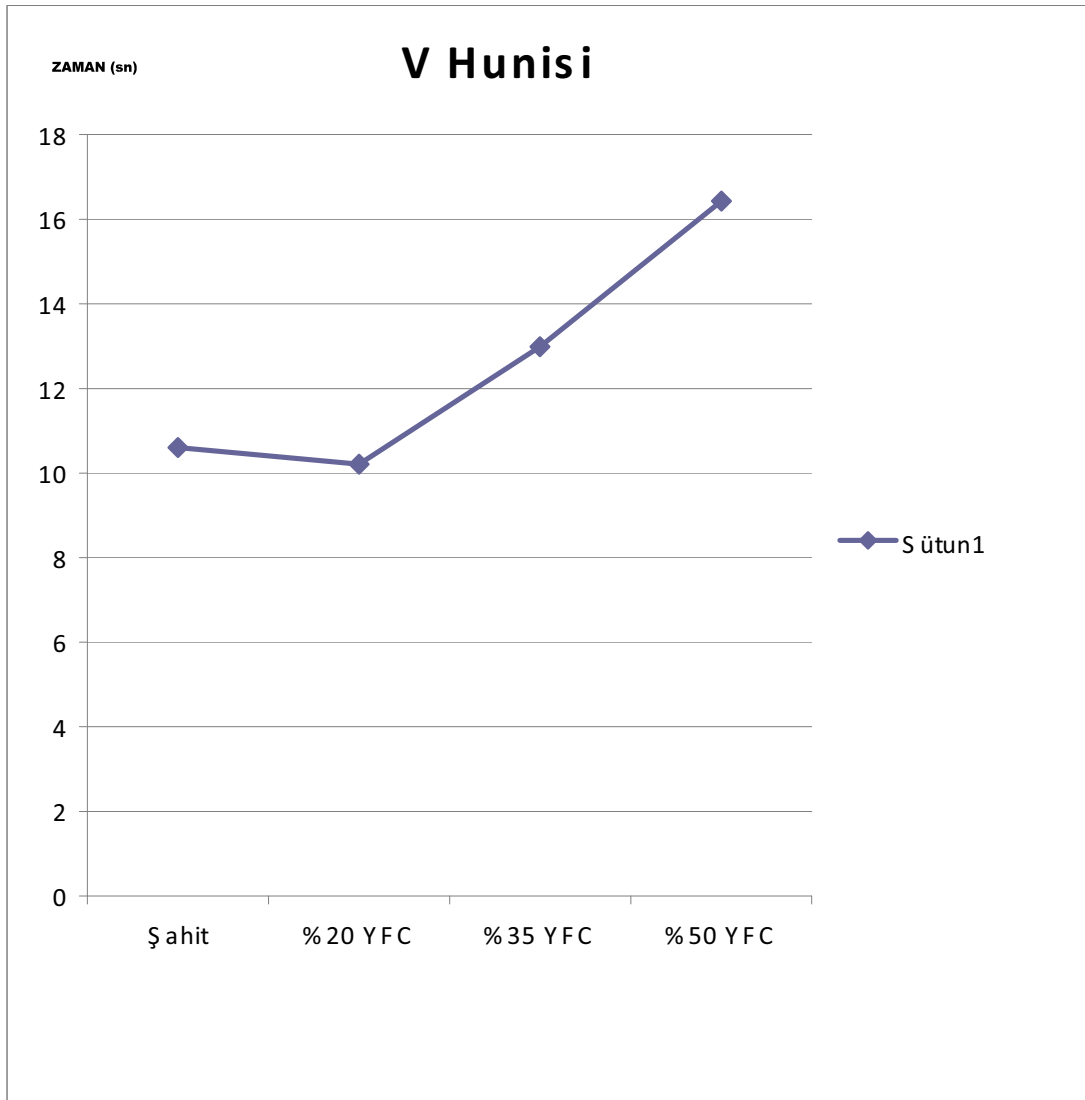
Karışım	Çökme-Yayılma		JRing (sn)	V Hunisi (sn)	L Box		
	Yayılma (mm)	T ₅₀₀ (sn)			0-20 cm (sn)	0-40 cm (sn)	H2/H1
Şahit	805	3.70	3.14	10.60	3.97	9.52	0.908
%20 YFC	809	3.56	6.79	10.21	2.55	7.19	0.921
%35 YFC	793	4.12	17.92	12.98	6.13	11.41	0.945
%50 YFC	516	12.18	26.43	16.43	10.23	19.76	0.967

Tablodaki değerlere ait grafikler aşağıda verilmiştir.



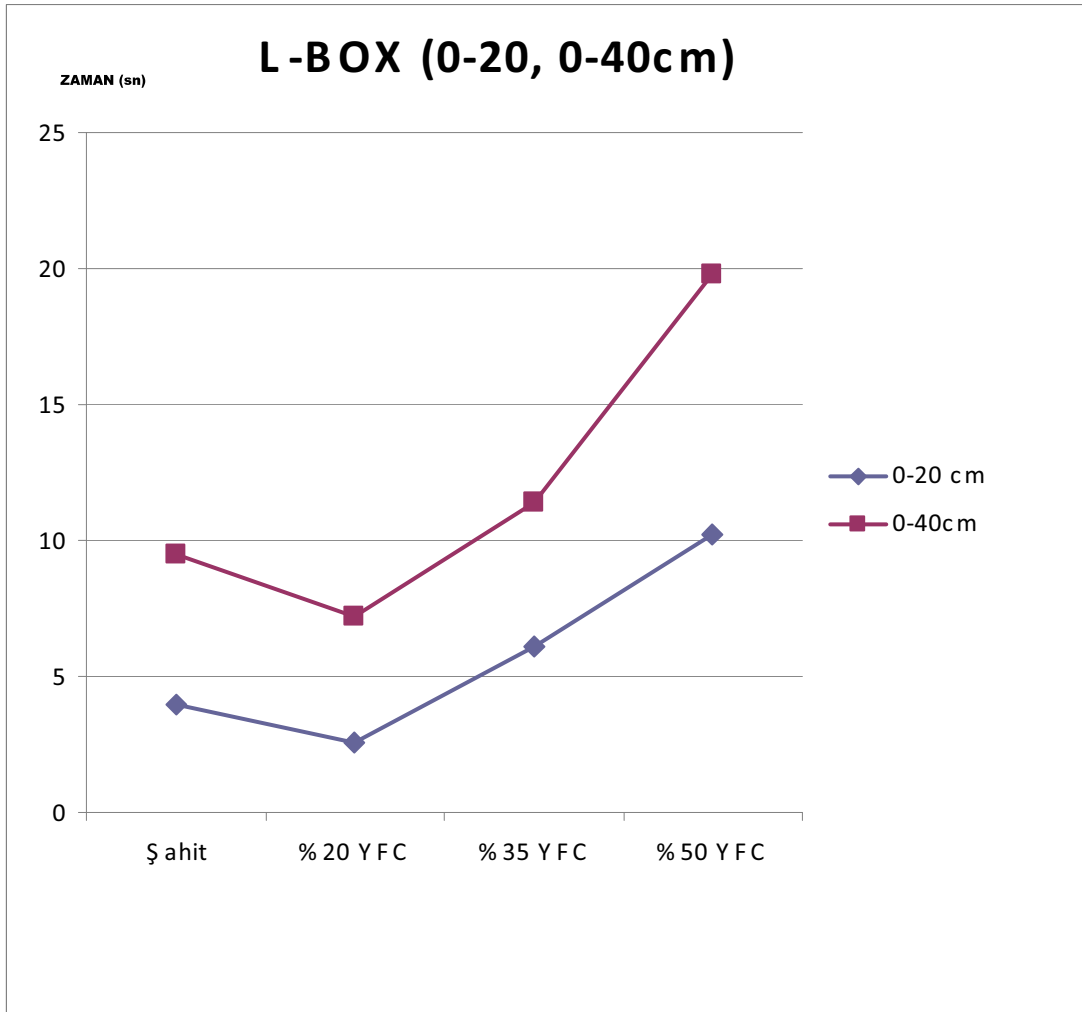
Şekil 6.7. Farklı oranlardaki karışımların 500mm' ye yayılma süreleri.

Yapılan deneylerde YFC (%20) betonunun yayılma mesafesi şahit betona kıyasla daha fazladır. Karışımdaki YFC miktarının artmasıyla da betonun yayılma mesafesi azalmaktadır (Şekil 4.1.). T_{500} yayılma süreleri YFC (%20) betonunda şahit betonun yayılma süresinden kısa iken YFC (%35) ve YFC (%50) betonlarında T_{500} yayılma süreleri uzamıştır (Şekil 6.7).



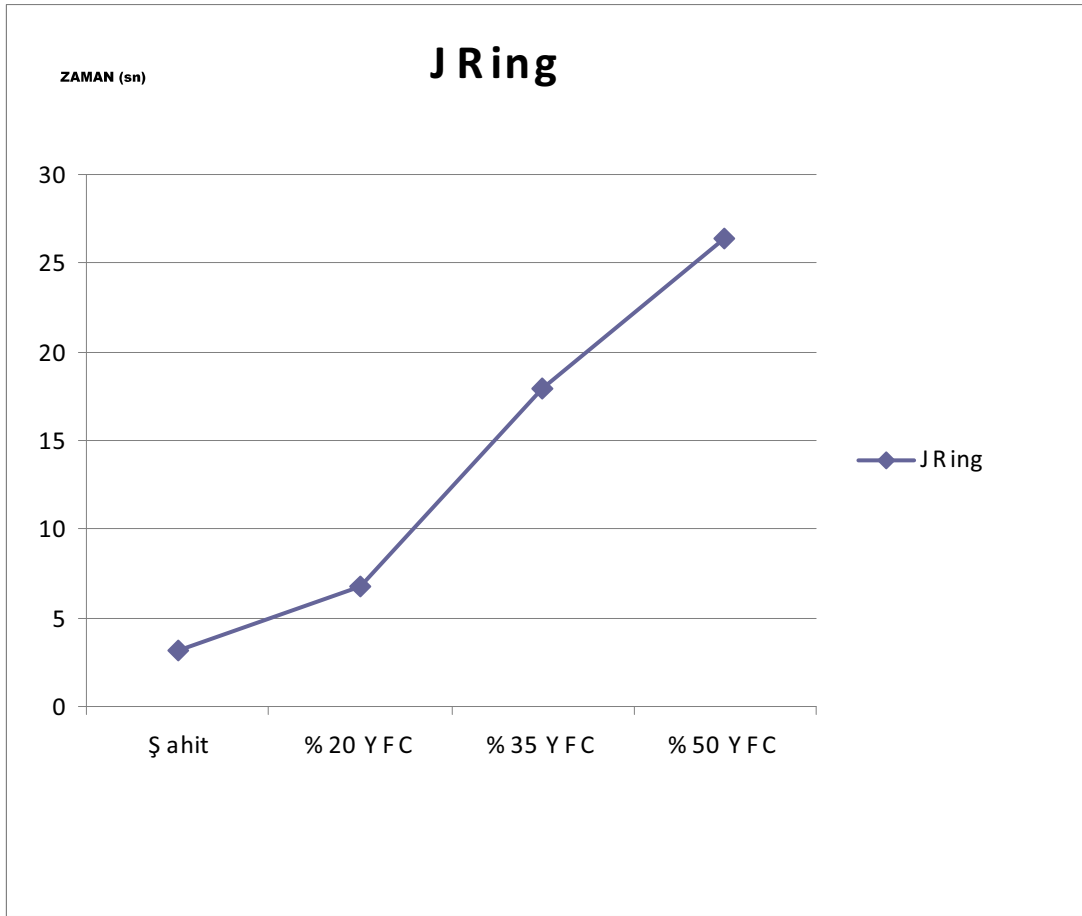
Şekil 6.8.Farklı karışımların V Hunisi deneyindeki düşme süreleri

KYB'un viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir edinmek amaçlı yapılan V-Hunisi deneyinde YFC (%20) beton numunesinin deney aparatından boşalma süresi şahit betona kıyasla daha azdır. Fakat %20 dozajından fazla olan yüksek fırın cürufllu beton karışımlarının deney aparatından boşalma süreleri uzamaktadır.



Şekil 6.9. Farklı karışımların L-BOX deneyindeki 0-20, 0-40 cm arası yayılma süreleri

Yapılan deneylerin sonucunda taze betonun geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin gözlenmesini kapsayan L-Kutusu deneyinde YFC (%20) betonunun T_{200} ve T_{400} değerlerinin şahit betonun değerlerinden kısa süreli olmasına karşın %20 ve %30 dozajlı betonların T_{200} ve T_{400} değerleri şahit betonun değerlerinden uzun süreli oldukları görülmüştür (Şekil 6.9)



Şekil 6.10.Farklı karışımların J-Ring deneyindeki yayılma süreleri

J-Ring deneylerinde YFC (%20) ve daha büyük oranda YFC kullanılan karışım betonlarında şahit betona kıyasla daha uzun süreler ölçülmüştür (Şekil 6.10)

6.6.2. Sertleşmiş beton sonuçları

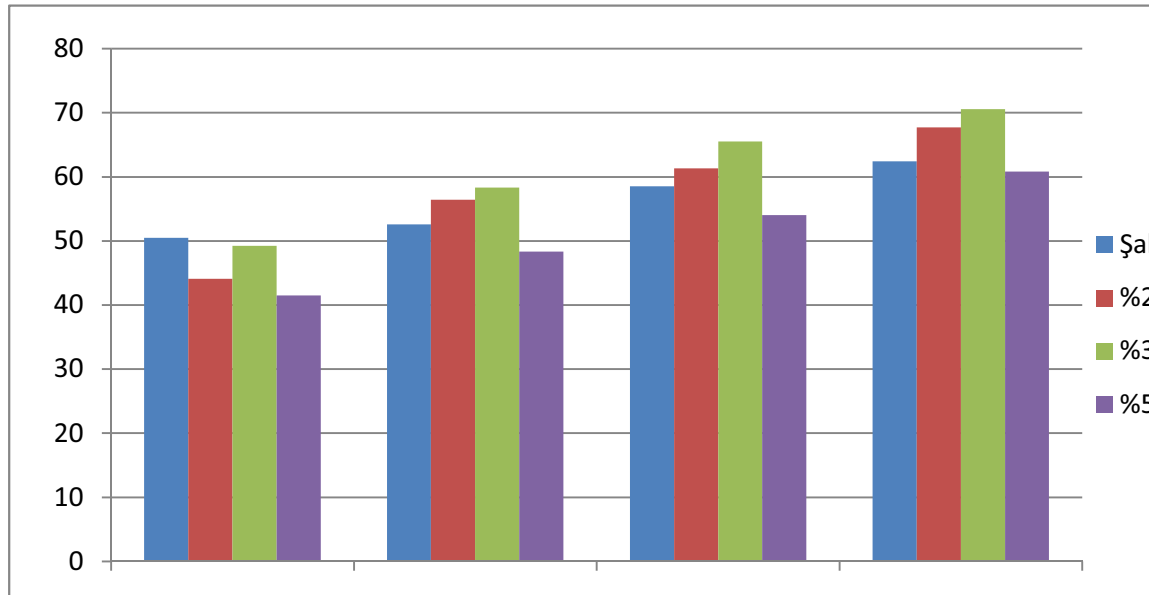
6.6.2.1 .Serbest basınç deneyi

Tablo 6.10'da farklı YFC miktarlarına sahip KYB karışımlarından (su/çimento~0.38) elde edilen numunelere ait 7,28,90 ve 365 günlük basınç mukavemetleri verilmektedir. Görüldüğü gibi, çimento yerine %35 oranında YFC ihtiva eden karışıma ait numunelerin basınç mukavemeti değerleri, diğer KYB karışımlarından elde edilen değerlere göre daha yüksektir. Çimento yerine %35 oranında yüksek fırın cürufu içeren karışıma ait numunelerin 28 günlük basınç mukavemeti değerleri %20

ile hemen hemen aynıdır. Bununla birlikte, YFC'nin maliyetinin çimentoya göre oldukça düşük olması ve hidratasyona olumlu etkisi gibi faydaları dikkate alındığında, kendiliğinden sıkışan beton karışımında çimento yerine %20 ve/veya %35 oranında uçucu kül kullanılmasının basınç mukavemetini %11 oranında daha fazla arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 6.10.Serbest Basınç Deneyi Sonuçları

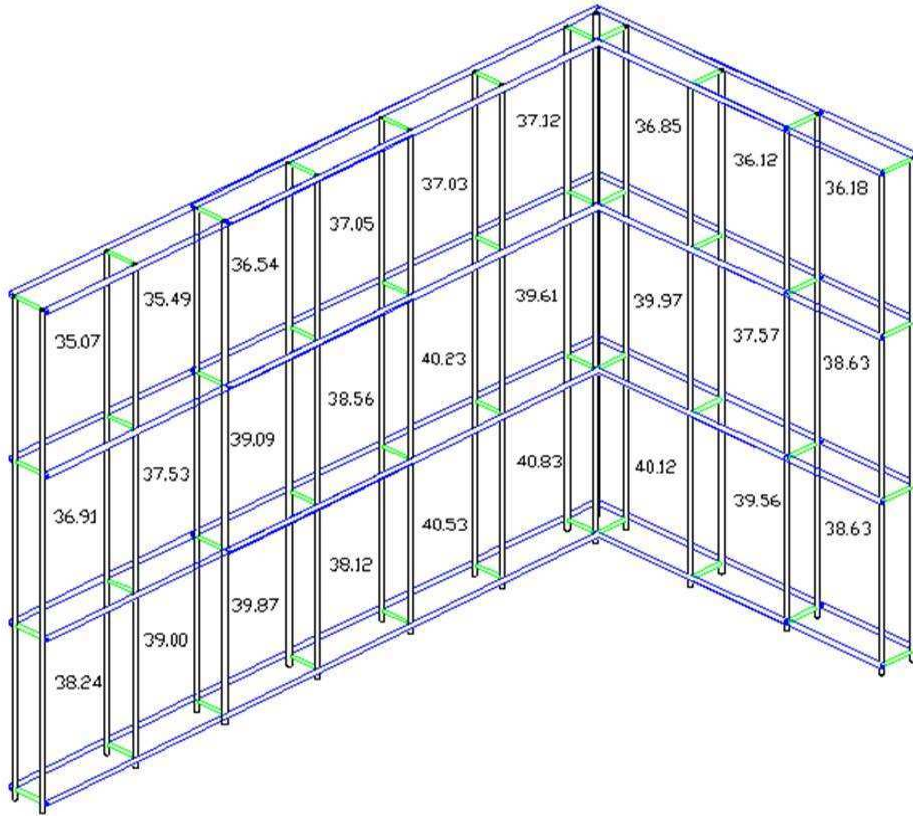
Süre (gün)	Şahit Beton (MPa)		%20 YFC (MPa)		%35 YFC (MPa)		%50 YFC (MPa)	
7	51.49 49.17		44.52 43.75		48.19 49.74		41.14 41.83	
28	53.44 ortalama 51.74	%100 52.59	56.21 ortalama 56.69	%107 56.45	57.84 ortalama 58.86	%111 58.35	49.14 Ortalama 47.90	%92 48.32
90	59.26 57.83		61.40 61.26		66.28 64.72		53.62 54.43	
365	62.44		67.73		70.54		60.81	



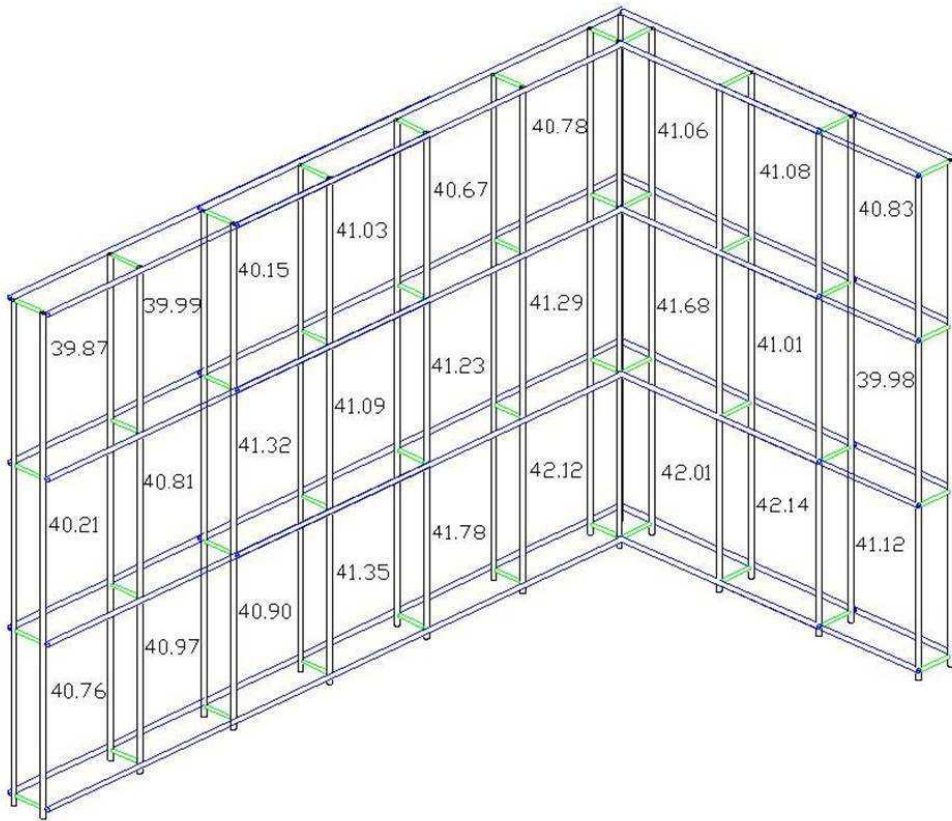
Şekil 6.11.Farklı YFC miktarlarına sahip karışımların basınç mukavemetleri

6.6.2.2. Optimum yerleşme deneyi

Beton perdelerden alınan karot numunelerinin 28 günlük serbest basınç deneyiyle kırım sonuçlarında, %20 oranında yüksek fırın cürufu ile hazırlanan numunenin, şahit numuneye göre daha mukavemetli olduğu görülmüştür. Şahit numune ile hazırlanan numunede, betonun döküm yerinden kalıbın kenarlarına doğru gidildikçe beton mukavemetinin 120 cm'lik kısımda %8, 60cm'lik kısımda %6 oranında azaldığı, yukardan aşağıya doğru inildikçe ise mukavemetin %5 oranında arttığı görülmüştür. %35 Yüksek Fırın Cürufu kullanılan karışım ile hazırlanan numunede ise bu oranın 120cm'lik kısımda %6, 60cm'lik kısımda ise %5 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil 6.12.Şahit Karışım ile hazırlanan numunenin serbest basınç deneyi sonuçları



Şekil 6.13. %20 YFC Karışımı ile hazırlanan numunenin serbest basınç deneyi sonuçları

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çimento yerine karışıma farklı oranlarda yüksek fırın cürufu katılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinden yürütülen deney sonuçları esas alındığında, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1.Çimento yerine %35 oranında Yüksek fırın cürufu ihtiva eden karışıma ait numunelerin basınç mukavemeti diğer kendiliğinden yerleşen betonlara göre daha yüksektir. Fakat Yüksek fırın cürufunun maliyet ve hidrasyona olumlu etkisi gibi avantajları ile birlikte %20 betonuna ait basınç mukavemeti değerleri ile arasında önemli bir fark olmaması, kendiliğinden sıkışan betonda %35 oranında yüksek fırın cürufunun kullanılmasının 28 günlük basınç mukavemeti açısından %11 oranında daha iyi olacağı görülmüştür.

2.% 20 oranında Yüksek fırın cürufu kullanılan karışımların, yerleşebilme ve yayılma süreleri diğer karışımlara göre daha iyi olduğu görülmüştür.

3.%50 oranında yüksek fırın cürufu kullanılan numunenin deney değerlerinin diğer numunelere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sebepten dolayı, yüksek fırın cürufunun %35 oranından daha fazla kullanıldıkça betonun mukavemet değerlerinin düştüğü belirlenmiş ve, en iyi oranın %35 olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] OZAWA K., MAEKAWA, K., KUNISHIMA, M. and Okamura, H. (1989). Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures. The second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Proceedings book, Chiang Mai, Thailand, 445-450.
- [2] SHINDOH, T., YOKOTA, K. and YOKOI, K. (1996). Effect of mix constituents on rheological properties of super workable concrete, In: P.J.M. Bartos, D.L. Marris, D.J. Cleland (Eds.). Proceedings of the International RILEM Conference Production Methods and Workability of Concrete, Paisley, Scotland, June 3-5, , E & FN Spon, London, 263-270.
- [3] SKARENDAHL, A. (2000). Definitions: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee, 174-SCC, RILEM Report 23, RILEM, Cachan Cedex, 3-5.
- [4] TANGTERMSIRIKUL, S. and Khayat, K. (2000) Fresh concrete properties, in: A. Skarendahl, O. Petersson (Eds.). Self-Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee, 174-SCC, RILEM Report 23, RILEM, Cachan Cedex, 17-22.
- [5] NOCHER, M. (2001). Flowing Smoothly And Quietly. Advanced Concrete and Masonry Centre, Concrete Quarterly – Spring 2001 – Issue 198, UK.
- [6] YAHIA, A., Tanimura, M., Shimabukuro, A. and Shimoyama, Y. (1999). Effect of rheological parameters on self compactability of concrete containing various mineral admixtures, in: A. Skarendahl, O. Petersson (Eds.), Proceedings of the First RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, September, 523-535.
- [7] KURITA, M. and Nomura, T. (1998). Highly-flowable steel fiber-reinforced concrete containing fly ash, in: V.M. Malhotra (Ed.), Am. Concr. Inst. SP 178 (June), 159-175.
- [8] XIE, y., Liu, B., Yin, J. and Zhou, S. (2002). Optimum mix parameters of high strength self-compacting concrete with ultrapulverized fly ash, Cem. Conc. Res., 32, 477-480.

- [9] YAZİCİOĞLU S., Caliskan, S. and Turk, K. (2003). Effect of curing conditions on the engineering properties of self-compacting concrete. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 13 (1), 25-29.
- [10] EFNARC (2005). *European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification and Production and Use*, May 2005, Association House, UK, (www.efnarc.org).
- [11] CALISKAN S (2003). Aggregate/mortar interface: influence of silica fume at the micro- and macro-level. *Cement & Concrete Composites*, 25 (45), 557-564.
- [12] AGGOUN S., Kheirbek, A., Kadri E.H., Duval R. , (2002). “Study of the Flow of Self Compacting Concretes”, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*
- [13] AGAR E., Sütaş __, Öztas G., (1998) “ Beton Yollar”, İTÜ, _stanbul
- [14] AGAR, E., Tasdemir, Y., <http://www.thbb.org/engine.php>
- [15] AKALIN, T., <http://www.thbb.org/engine.php>
- [16] 16. AKKAYA, Y., Tasdemir M.A., “Beton Yollarda Kullanılan Malzemelerle ilgili Genel Bir Degerlendirme”
- [17] BOEL V., Audenaert K., Schutter G.D., (2002). “Pore Structure of Self-Compacting Concrete”, *First North American Conference on the Design and Use of Self- Consolidating Concrete*
- [18] BOUZOUBAA N., Lachemi M., (2001). “Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results”, *Cem. Concr. Res.*, Vol: 31
- [19] BUI V.K., (2002). “Application of Minimum Paste Volume Method in Designing Cost-Effective Self-Consolidating Concrete-An Experience in New Zealand”, *First*
- [20] COLLEPARDI M., (2001). “A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC)”, unpublished data
- [21] EFNARC, (2002). “Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org
- [22] FANG W., Jianxiong C., Changhui Y., (1999). “Studies on self-compacting high performance concrete with high volume mineral additives”, *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson

- [23] FELEKOGLU, B., (2003), “Kendiliginden yrlenen betonun fizksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [24] FUGIWARA H., Nagataki S., (1999). “Study of self-compactibility of high-fluid concrete”, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson Gürol G., (1999). “Ekonomik beton için beton bileşenleri çimento/su/ince ve kaba 25.agrega/kimyasal ve mineral katkıları”, Düzayn ve Konstrüksiyon Dergisi,1999/164
- [25] KHURANA R. , Topçu O., (2000). “Role of Superplasticizers in the development of self compacting concrete”, Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume I, Istanbul,
- [26] ÖZEY, __., ”Rijit Üstyapı ile Esnek Üstyapının Karşılaştırılması“ Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi , 1992
- [27] HOLLINGSWORTH D., (2002). “Design and Use of Self-Consolidating Concrete”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 429-432.
- [28] OKAMURA H., Ouchi M., (1999). “Self-compacting concrete. Development, present use and future”, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A.Skarendahl and Ö. Petersson, pp. 3-14.
- [30] OUCHI M., (1999). “Self-compacting concrete – Development, applications and investigations”, Nordic Concrete Research Committee Publications
- [31] WALRAVEN J., (2002). “Self-Compacting Concrete in the Netherlands”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- [32] DEHN F., (2002). “High Performance Self-Compacting Concretes for Bridge Construction”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete
- [33] 33. Brameshuber W., Uebachs S., (2002). “The Application of Self-Compacting Concrete in Germany under Special Consideration of Rheological Aspects”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete

ÖZGEÇMİŞ

Hidayet Talha SÖNMEZ, 1982 yılında Adapazarı'nda doğdu. İlköğrenimini Adapazarı Sabihahanım İlköğretim okulunda, Orta öğrenimini Sakarya Işık Koleji'nde, Lise öğrenimini ise Adapazarı Atatürk Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 2001 yılında başlamış olduğu lisans öğrenimini 2005 yılında tamamladı. Aynı yıl, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.