

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA
KATKI ORANLARI DEĞİŞİMİNİN BETONUN
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

EYYÜP ORHAN

**Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN
Şubat 2012**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA KATKI
ORANLARI DEĞİŞİMİNİN BETONUN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eyyüp ORHAN

092125101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Ocak 2012
Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Şubat 2012

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN (F.Ü.)
Diğer Juri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI (F.Ü.)
: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ (F.Ü.)

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimle ilgili çalışmalarımda, tez konusunun tespiti, deney programının belirlenmesi ve deneysel çalışmalarım aşamasındaki her türlü desteğinden dolayı danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN'e, malzeme temini ve laboratuvar çalışmalarım sırasında hep yanımda olan Arş. Gör. Ahmet COŞKUN'a, çalışmalarım süresince tecrübe ve bilgilerini benden esirgemeyen Yapı Eğitimi bölümündeki tüm hocalarıma, literatür araştırması sırasında yardım eden Arş. Gör. Gonca ÖZER'e, laboratuvarıda beraber çalıştığım dönem arkadaşlarıma ve sonsuz sabırlarıyla desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürlerimi arz ederim.

Eyyüp ORHAN
ELAZIĞ - 2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
SİMGELER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	I
2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON (KYB)	2
2.1. KYB'nin Tarihsel Gelişimi	2
2.2. KYB de Tanım ve İsimlendirme	2
2.3. KYB'nin Kullanım Alanları	3
2.4. KYB Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları	5
3. KYB BİLEŞİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER.....	7
3.1. Çimento	7
3.2. Mineral Katkılar	7
3.2.1. Uçucu Kül.....	8
3.2.2. Silis Dumanı (SD)	8
3.2.3. Yüksek Fırın Cürufu.....	9
3.3. Agrega	9
3.4. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı.....	10

3.5.	Pigmentler.....	11
3.6.	Fiberler	11
3.7.	Karışım Suyu	12
4.	KYB’de KARIŞIM TASARIMI VE TEST METOTLARI	13
4.1.	KYB’de Karışım Tasarımı.....	13
4.2.	KYB Test Metotları	14
4.2.1.	Slump Yayılma Deneyi	17
4.2.2.	V Hunisi Deneyi	19
4.2.3.	Elek Ayırışma Direnci Testi	21
4.2.4.	L Kutusu Deneyi.....	21
4.2.5.	U Kutusu Deneyi	23
4.2.6.	Penetrasyon Testi.....	24
4.2.7.	J Halkası Deneyi.....	24
4.2.8.	Orimet Deneyi	25
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
5.1.	Amaç.....	26
5.2.	Deney Programı.....	26
5.3.	Kullanılan Malzemeler	27
5.3.1.	Çimento ve Toz Malzeme.....	27
5.3.2.	Agrega	28
5.3.3.	Kimyasal Katkı	29
5.3.4.	Karışım Suyu	29
5.4.	KYB Üretimi ve Karışım Hesapları	29
5.5.	Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	31
5.5.1.	Taze Beton Deneyleri	31
5.5.2.	Basınç Dayanımı Deneyi	34
5.5.3.	Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi.....	35

5.5.4. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi	36
5.5.5. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı	37
5.5.6. Schmidt Beton Test Çekici Deneyi	38
5.5.7. Su Emme, Porozite, Birim Hacim Ağırlık ve Özgül Ağırlık Deneyi	39
5.5.8. Kapiler Su Emme Deneyi	41
5.5.9. Yüksek Sıcaklık Deneyi	42
6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	43
6.1. Taze Beton Deney Sonuçları	43
6.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	46
6.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi	46
6.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi	47
6.2.3. Eğilmede Çekme Deneyi	48
6.2.4. Ultrasonik Geçiş Hızı	49
6.2.5. Schmidt Çekici Deneyi	50
6.2.6. Su Emme Deneyi	50
6.2.7. Kapiler Su Emme Deneyi	53
6.2.8. Yüksek Sıcaklık Deneyi	53
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
8. KAYNAKLAR.....	58
9. ÖZGEÇMİŞ	62

ÖZET

Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonun içeriğindeki akışkanlaştırıcı katkı ve mineral katkı oranlarının değiştirilmesinin betondaki etkileri incelenmiştir. Mineral katkı olarak silis dumanı, akışkanlaştırıcı katkı olarak ise polikarboksilat esaslı üçüncü nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Katkı oranlarını belirlemek amacıyla deneme dökümleri yapılmıştır. Deneme dökümleri sonucunda ortaya çıkan optimum karışım dizaynındaki katkı oranları artırılıp azaltılarak 9 seri karışım elde edilmiştir. Bu serilerin kendiliğinden yerleşebilirlik kriterlerini ne kadar sağladığına ve sertleşmiş beton özelliklerine bakılmıştır.

Serilerdeki mineral katkı oranı %(0, 10, 20), akışkanlaştırıcı katkı oranı ise %(1.3, 1.5, 1.7) olarak değiştirilmiştir. Doz miktarı 500, su/toz miktarı ise 0.42 olarak sabit tutulmuştur. Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde en önemli etken, silis ve akışkanlaştırıcı katkı oranına bağlı olarak betonun ayrışma miktarı ve yerleşebilirlik sınırlarıdır. Ayrışma miktarı ve yerleşebilirlik kriterlerini en iyi şekilde sağlayan, 10S1.3A ve 10S1.5A serileri, taze ve sertleşmiş beton özellikleri bakımından en iyi sonuçların alındığı serilerdir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Süper Akışkanlaştırıcı Katkılar, Silis Dumanı, Fiziksel Özellik, Mekanik Özellik.

SUMMARY

The Effect Of Changes In Contribution Rates Concrete In Self Compacting Concrete

In this study, plasticizer content of self-compacting concrete additives and concrete effects of changing rates of mineral additives were investigated. Silica fume as a mineral additive, plasticizer as an additive in the third generation of polycarboxylate-based superplasticizer was used. Contribution rates were made to determine the trial transcripts. Trial transcripts that result from increasing and decreasing rates of contribution to the optimum design of the mixture were obtained from 9 serial mixing. How much of this series automatically restores settle criteria and hardened concrete properties were evaluated.

Mineral additives on series is changed as % (0, 10, 20) and the rate of contribution of the plasticizer is changed as% (1.3, 1.5, 1.7) . The amount of dosage were kept constant to 500, water/powder volume was also kept at 0,42. The most important factor in fresh and hardened concrete properties is the amount of concrete decomposition depending on contribution rate of silica and plasticizer ,and is the settle of boundaries. Series of 10S1.3A and 10S1.5A is that the best results are a series taken in terms of fresh and hardened concrete properties.

Keywords: Self Compacting Concrete, Super Plasticizer Admixtures, Silica Fume, Physical Properties, Mechanical Properties.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1.	Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB).....3
Şekil 2.2.	Yoğun donatılı yerlerde KYB kullanımı.....4
Şekil 2.3.	KYB ile üretilen prefabrik elemanın yüzey detayı.....6
Şekil 3.1.	Elektrostatik ve fiziksel itki modelleri.....11
Şekil 3.2.	Metalik ve polimer fiberler.....12
Şekil 4.1.	KYB de karışım kompozisyonu.....13
Şekil 4.2.	Çökme sonrası yayılma deney düzeneği aparatları.....18
Şekil 4.3.	Çökme sonrası yayılma deney düzeneği.....19
Şekil 4.4.	Ters slump deneyinin yapılışı.....19
Şekil 4.5.	V hunisi boyutları.....20
Şekil 4.6.	L kutusu deney aparatı.....22
Şekil 4.7.	L kutusu deney aparatı ölçüleri.....23
Şekil 4.8.	U kutusu deney aparatı boyutları.....23
Şekil 4.9.	Penetrasyon testi aleti kullanımı.....24
Şekil 4.10.	J halkası deney düzeneği.....25
Şekil 4.11.	Orimet deney düzeneği.....25
Şekil 5.1.	Maksimum tane büyüklüğü 16.0 mm olan agreganın granülometri eğrileri.....28
Şekil 5.2.	100 dm ³ kapasiteli karıştırıcı ve deney aletleri.....30
Şekil 5.3.	Kür havuzu içindeki numuneler.....30
Şekil 5.4.	Yayılması tamamlanan taze beton çapının ölçülmesi.....32
Şekil 5.5.	V hunisinden harcın akışı.....32
Şekil 5.6.	L kutusunda demirler arasından taze betonun geçişi.....33
Şekil 5.7.	Elek ayrışma testi için 15 dakika bekletilen taze beton.....34
Şekil 5.8.	Yük kontrollü pres.....34
Şekil 5.9.	Demir çubuklar ve numunenin pres tablasına yerleştirilmesi.....35
Şekil 5.10.	Yük kontrollü eğilmede çekme deney aleti.....36
Şekil 5.11.	Pundit cihazı.....37
Şekil 5.12.	Beton test çekici.....38

Şekil 5.13.	Geri sıçrama sayısı ve pul hızı birlikte kullanılarak elde edilen basınç dayanımı.....	39
Şekil 5.14.	Su altında ölçüm yapabilen terazi.....	40
Şekil 5.15.	Kapiler su emme deney düzeneği.....	41
Şekil 5.16.	Yüksek sıcaklık deneyleri için kullanılan fırın.....	42
Şekil 6.1.	Hazırlanan karışımların T_{50} süreleri.....	43
Şekil 6.2.	Hazırlanan karışımların yayılma miktarları.....	44
Şekil 6.3.	Hazırlanan karışımların v hunisi akma süreleri.....	44
Şekil 6.4.	L kutusu deneyi için H_2/H_1 oranı.....	45
Şekil 6.5.	Karışımların ayrışma dirençleri.....	46
Şekil 6.6.	Serilerin 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları.....	47
Şekil 6.7.	Serilerin 7, 14 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları.....	48
Şekil 6.8.	Serilerin 7, 14 ve 28 günlük eğilmede çekme dayanımları.....	49
Şekil 6.9.	Serilerin 7, 14 ve 28 günlük ultrasonik ses geçiş hızları.....	49
Şekil 6.10.	Serilerin 7, 14 ve 28 günlük schmidt değerleri.....	50
Şekil 6.11.	Serilerin su emme miktarları.....	51
Şekil 6.12.	Serilerin görünür porozite değerleri.....	51
Şekil 6.13.	Serilerin özgül ağırlıkları.....	52
Şekil 6.14.	Serilerin birim hacim ağırlıkları.....	52
Şekil 6.15.	Serilerin kapiler su emme miktarları.....	53
Şekil 6.16.	Serilerin yüksek sıcaklık sonrası kalan basınç dayanımları.....	54
Şekil 6.17.	Serilerin Yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik geçiş hızları.....	55

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Mineral katkıları suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılması.....	8
Tablo 4.1. KYB karışımının tipik aralığı.....	13
Tablo 4.2. KYB'nin karakteristik özellikleri ve test metotları.....	14
Tablo 4.3. Çökme-akma sınıfları.....	14
Tablo 4.4. Viskozite deney ve süreleri.....	15
Tablo 4.5. Geçme yeteneği sınıf ve oranları.....	15
Tablo 4.6. Ayırışma direnci sınıfları.....	16
Tablo 4.7. Çeşitli uygulama tipleri için KYB özellikleri.....	16
Tablo 4.8. KYB özellikleri ve test metotları.....	17
Tablo 5.1. Çimento ve SD'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	27
Tablo 5.2. Dere agregasının fiziksel özellikleri.....	28
Tablo 5.3. Akışkanlaştırıcı katkının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	29
Tablo 5.4. Karışım dizaynları.....	31
Tablo 5.5. Ultrasonik test yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi.....	38

SİMGELER LİSTESİ

A	: Yüzey alanı
P	: Kırılma yükü
f_c	: Basınç dayanımı
σ_c	: Yarmada çekme dayanımı
σ_e	: Eğilmede çekme dayanımı
L	: Kiriş uzunluğu
b	: Kiriş kesitinin eni
d	: Kiriş kesitinin yüksekliği
V	: Ses üstü dalga hızı
S	: Yüzeyler arasındaki mesafe
T	: Dalganın geçiş süresi
T_{50}	: Slamp yayılma deneyinde, harcın 50 cm çapa yayılma süresi
R	: Test çekici geri sıçrama sayısı
k	: Kılcallık katsayısı
Q	: Emilen su miktarı
t	: Suyla temas edilen süre
H	: Numunenin hacmi
W_p	: Elekten geçen harç miktarı
W_α	: Elek üstünde kalan harç miktarı
W_{dyk}	: Numunenin doymuş yüzey kuru ağırlığı
W	: Numunenin etüv kurusu ağırlığı
W_1	: Numunenin su altındaki ağırlığı

KISALTMALAR LİSTESİ

EFNARC	: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concret Systems
KSB	: Kendiliğinden Sıkışan Beton
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
SA	: Süper Akışkanlaştırıcı
SCC	: Self Consolidating Concrete
SD	: Silis Dumanı
SLC	: Self Leveling Concrete
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Beton; agregâ, çimento, su ve ihtiyaç duyulduğunda bazı katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Çimento, bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir. Çimentonun bağlayıcılık özelliği su ile birlikte karılması sonucunda elde edilmektedir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme ise çimento hamurudur. Betonun oluşturulmasında çimento hamurunun görevi agregâ tanelerinin yüzeylerini kaplamak, agregâ taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve bağlayıcılık özelliği ile agregâ tanelerini bir arada tutmaktır. Beton, çimento hamuru ve agregâlardan oluşan kompozit bir malzemedir [1].

Günümüzde beton, irili ufaklı birçok yapıda kullanılmaktadır. Bu derece yoğun olarak kullanılan bir malzemenin de teknolojiye paralel gelişme göstermesi kaçınılmazdır. Su, çimento ve agregâdan oluşan beton bünyesine kimyasal ve mineral katkıların girmesiyle olumlu özellikler kazanmış ve işçilik hataları en asgari düzeye indirilmiştir. Günümüz modern beton teknolojisinde kimyasal ve mineral katkısız bir beton düşünülemez [2].

Beton katkı maddeleri, beton içerisine karışım öncesi veya karışım sırasında çok düşük oranlarda ilave edilen organik veya inorganik maddelerdir. Betonda katkı maddeleri kullanım amacına göre mineral ve kimyasal olarak iki gruba ayrılır. Kimyasal katkılar betonun akışkanlığının artırılması, yüksek dayanıma ulaşması, geçirimsizliğinin artırılması ve priz sürelerini değiştirmek gibi birçok amaçlarla kullanılmaktadır [3].

Betonun özelliklerini geliştirmeye yönelik kimya alanında her geçen gün yeni çalışmalar ortaya çıkmaktadır. 1980'li yılların ortalarında polimer esaslı, 1990'lı yılların başında ise polikarboksilat eter esaslı akışkanlaştırıcıların geliştirilmesi ile betonda beklenen özellikler biraz daha artmıştır. **Kendiliğinden Yerleşen Betonun (KYB)** temelini oluşturan düşük su/bağlayıcı oranı ve yüksek işlenebilirlik sağlayan yeni nesil süper akışkanlaştırıcı olarak tanımlanan polikarboksilat esaslı kimyasal üretilmiştir [4]. Bu kimyasallar geleneksel akışkanlaştırıcıların elektrostatik etkilerinin yanında uzun polimer zincirleri oluşturarak taze betonda yerleşme ve işlenebilmeyi artırmaktadır.

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliği; betonun donatıların sık olduğu dar kesitli elemanlara, homojen yapısını koruyarak ve sıkıştırma işlemi gerektirmeden kendi ağırlığı ile ayrışma yapmadan yerleşebilmesi ve sıkışması olarak tanımlanabilir.

2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON (KYB)

2.1. KYB'nin Tarihsel Gelişimi

KYB'nin ilk örneklerini oluşturan, yerleştirmek veya sıkıştırmak için çok az vibrasyon isteyen geleneksel betonlar Avrupa'da 1970'lerin başından beri kullanılmaktaydı. Japonya'da azalan kalifiye iş gücü nedeniyle Tokyo Üniversitesi tarafından 1986 yılında araştırılmaya başlanmasıyla KYB oluşmaya başladı. KYB ile ilgili ilk araştırma sonuçları 1989 yılında yayınlanmaya başlanmıştır. Prof. Dr. Hajime Okumura tarafından başlatılan çalışmalar Ozawa, Ouchi ve Maekawa tarafından devam ettirilmiştir [6]. Yaptıkları çalışmaların en geniş özetini 1992 yılında İstanbul'da gerçekleştirilen uluslararası beton kongresinde yayınlamışlardır.

Büyük depremlerle sarsılan Asya ülkelerinde ve kalifiye iş gücünün pahalı olduğu Kuzey Avrupa ülkelerinde farklı uygulamalarla KYB kullanılmaya başlanmıştır. Avrupa'daki ilk KYB 1990'ların ortalarında İsveç Karayolu yapımında kullanılmıştır. Avrupa Birliği 1997-2000 yılları arasında uluslararası bir çalışma başlatarak Avrupa ülkelerinde KYB kullanımını arttırmayı hedeflemiştir [5].

2.2. KYB de Tanım ve İsimlendirme

Kendiliğinden yerleşen beton, kendi ağırlığı ile sık donatılı, dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özellikleri sağlarken ayrışma ve terleme gibi sorunlar oluşturmuyarak, kohezyonunu koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür [7].

Kendiliğinden yerleşen beton günümüzde farklı isimlerle anılmaktadır. Özellikle döşeme tipi, geniş boyutlu yüzeysel alanlarda kullanılması halinde, Kendiliğinden Yüzeyleyen Beton (Self Levelling Concrete - **SLC**) adını almaktadır (Şekil 2.1.). Kuzey Amerika'da, 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 kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) [12].

2.3. KYB'nin Kullanım Alanları

Günümüzde 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 en iyi çözüm KYB kullanımı olacaktır.

Yeni betonarme yönetmeliği ile düğüm bölgelerindeki artan donatı miktarı ve ağırlaşan teknik şartlar geleneksel beton kullanımında kalifiye elemanla sağlanmaktadır [8]. Kalifiye elemanla yapılan işlerde mühendislik sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları aşabilmek için KYB kullanımı tercih edilmektedir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Yoğun donatılı yerlerde KYB kullanımı [9].

Hafif beton üretiminde KYB uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Hafif KYB üretiminde gerek hafif agrega kullanımı, gerekse yüksek oranda hava sürükleyici kimyasal katkı kullanımı ile hamur fazının hafifletilmesi yaygın kullanılan yöntemlerdir [10]. Hafif KYB de en önemli sorunlar yüksek oranda toz malzeme kullanılmasının karışımda yapacağı ağırlaştırıcı etki ve hafif agregaların çok yüksek su tutma kapasitesinin dizaynında doğuracağı sıkıntılardır.

KYB'nin bir başka kullanım alanı kontrollü düşük dayanımlı beton uygulamalarıdır. Taşıyıcı sistemde kullanılan KYB den farklı olarak, yüksek su/çimento oranı, düşük çimento dozajı ve az miktarda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımıyla kontrollü düşük dayanımlı KYB üretmek mümkündür. Kontrollü Düşük Dayanımlı KYB reolojik açıdan yapısal KYB' ye kıyasla oldukça düşük kohezyona sahiptir. Kontrollü Düşük Dayanımlı KYB, özellikle altyapı inşaatlarında inşaat hızını arttırmak ve şehir içi altyapının tamirini kolaylaştırmak için tercih edilebilir [7]. Yol üst yapısında geleneksel beton kullanılması halinde;

- Yetersiz veya aşırı sıkıştırma
- Taşıma sırasında ayrışma
- Yerleştirme süresi ve dayanım kazanma hızı (trafiğe açılma süresi), gibi sorunlarla karşılaşmaktadır.

Yukarıda sözü geçen sorunların çözümü için Amerika'da otoyol üstyapısında KYB kullanımı henüz deneme aşamasındadır. Öte yandan köprü dizaynında ekonomik ömrün

100 yıla çıkartılması ve köprü kirişleri için daha geniş açıklıklar geçmeyi sağlayan daha estetik kesit kullanımının sağlanması için KYB çok avantajlıdır [7].

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 [7].

2.4. KYB Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

KYB kullanımının birçok avantajı vardır. Bunlar;

1. KYB'nin en önemli özelliği kolay yerleşebilirlik, işlenebilme ve segregasyon oluşmamasıdır.
2. Kimyasal katkı maddesi kullanılarak çok akıcı bir kıvamının olması ve su/bağlayıcı oranının düşük olması, KYB'nin dayanımının ve dayanıklılığının yüksek olması inşaatlarda tercih edilme nedenlerinden biridir.
3. KYB de sıkıştırma işlemi olmadığı için; zaman, enerji ve paradan tasarruf edilir. Vibrasyonun çevreye verdiği gürültü kirliliği ortadan kalkar.
4. Vibrasyonun olmamasıyla kalıp ömrü daha uzayacaktır.
5. Betonun durabilitesini etkileyen en önemli faktör beton yerleştirme işçiliğidir. KYB ile işçilik kusurları minimize edilir.
6. Yoğun ve sık donatılar arasında kolayca akarak boşlukları doldurur.
7. Özellikle depremde hasar görmüş yapıların güçlendirilmesinde, bir noktadan döküm yapıldığından tüm boşluğu eksiksiz biçimde doldurur.
8. Perdahlama işi daha kolay olduğundan inşaat hızını artırır.
9. Pompalanabilirlik açısından geleneksel betona göre daha avantajlıdır.
10. Cephesi brüt beton olarak tasarlanan yapılarda, heykellerde, prekast elemanlarda, desenli yüzeylerde kullanımı mevcuttur.

11. Şekil 2.3’de olduğu gibi beton yüzeyinin düz, pürüzsüz veya desenli olduğu uygulamalarda sıva ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır [11].



Şekil 2.3. KYB ile üretilen prefabrik elemanın yüzey detayı [12].

KYB kullanımının avantajları yanında dezavantajları da vardır. Bunlar;

1. Kimyasal ve mineral katkı kullanıldığından ilk maliyet biraz fazladır.
2. Kalıp işçiliği hatasız olmalıdır. Kalıplar arasında boşluk olmamalıdır.
3. Kalıba döküm sırasında veya döküldükten sonra hidrostatik basınç nedeniyle kalıplarda açma ve patlamalar olacağı için kalıp destekleri geleneksel betona göre daha fazla kullanılmalıdır [13].
4. KYB ile eğimli yerlere ve eğimli kalıplara beton dökülemez.
5. Belli bir standardı yoktur.

Avantajlarının yanında dezavantajlarının az ve giderilebilir olması, inşaat sektörü için KYB kullanımının, işin kalitesini artıracak ve enerji ihtiyacını en aza indirerek gelecek de en çok kullanılan beton türü haline gelebileceği aşikârdır.

3. KYB BİLEŞİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER

KYB için kullanılan malzemeler geleneksel vibrasyonlu beton için kullanılan EN-206-1'e uygun olan malzemelerle aynıdır. Bazı durumda KYB bileşiminde kullanılan malzemelerin şartları özel Avrupa standartlarında bulunmaktadır. Ancak KYB'nin tutarlı ve üniform bir performansa sahip olması için deneylerin yapıldığı malzemelerle üretimin yapıldığı malzemelerin sürekli gözlemlenmesi gerekmektedir. Şartları sağlamak için bileşen malzemelerin kontrolü artırılmalı ve kabul edilebilir değişiklikler sınırlandırılmalıdır. Böylece KYB'nin günlük üretimi her bir harmanı ayarlama ve test etme ihtiyacı olmadan uygunluk kriterleri içinde kalır [14].

3.1. Çimento

Geleneksel betonda kullanılan tüm çimentolar KYB için de kullanılabilir. KYB ile CEM I 42,5 tipi çimento kullanımı öngörülmektedir. Çimento dozajının 350'den az olmaması istenmektedir. Dozajın 350'den az olması durumunda ise betonun kendiliğinden yerleşebilirlik için ihtiyaç duyduğu ince malzeme miktarı ve betondaki bağlayıcı miktarının azalmasıyla betonun dayanım ve dayanıklılığı azalacaktır [15]. Çimento dozajının 600'den fazla olması durumunda ise rötire oluşumu artarak kılcal çatlaklar oluşacaktır.

3.2. Mineral Katkılar

KYB'nin reolojik gereksinim ve hidrasyon ısısından dolayı çimento miktarını ve viskoziteyi düzenlemek, akışkanlığı sağlamak, işlenebilmeyi düzenlemek için filler (dolgu) malzeme kullanılmaktadır. Bu filler malzemeler genellikle kırmataş tozu, uçucu kül, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş cam tozu gibi malzemelerdir. Mineral katkıları suyla reaksiyon kapasitelerine göre Tablo 3.1'de ki gibi sınıflandırılırlar.

Tablo 3.1. Mineral katkıları suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılması [12].

TİP I	Puzolanik olmayan yada yarı puzolanik	➤ Mineral filler (kireçtaşı, dolomit vs) ➤ Pigmentler
TİP II	Puzolanik	➤ EN 450'ye uygun uçucu kül ➤ EN 13263'e uygun silis dumanı
	Hidrolik	➤ Yüksek fırın cürufu

KYB üzerine yapılan çalışmalarla filler malzemelerin yerine atıl durumdaki malzemelerin filler malzeme olarak kullanımı gerçekleştirilmiştir. Öğütülmüş tuğla tozu ve mermer tozu atıl durumdaki filler malzemelere örnektir.

KYB de kullanılacak olan filler malzemenin tane çapı 0,125 mm'den küçük ve %70'inin 0,063 mm'lik elekten geçmesi istenir. KYB bileşenlerinden ince ve iri agrega içerisinde bulunan 0,125 mm altındaki ince maddeler de filler malzeme olarak hesaba dâhil edilmelidir. Filler malzemenin türüne göre optimum kullanım oranı farklılık göstermektedir [15].

3.2.1. Uçucu Kül

Uçucu kül, KYB'nin kohezyonunu artıran ve su miktarı değişikliğine karşı hassasiyetini azaltıcı etkisi olan puzolanik bir katkıdır. Uçucu küller küresel bir yapıya sahip olduklarından su gereksinimini artırmazlar ve düşük bir su/toz oranı ile işlenebilirlik sağlarlar. Uçucu küller sulu ortamda kireci bağladıkları için betonu dış etkilere daha dayanıklı yapar ve su geçirimsizliği azaltır [16]. Ancak yüksek miktarda uçucu kül akışa karşı dirençli çok kohezif bir hamur oranı oluşturabilir.

3.2.2. Silis Dumanı (SD)

SD yüksek seviyedeki inceliği ve küresel şekli iyi kohezyon ve gelişmiş ayrışma direnci sağlar. SD terlemeyi azaltma veya ortadan kaldırmada da etkilidir. Bu da hızlı yüzey sertleşme problemlerinin artmasına sebep olur. Beton sevkiyatında ara olması durumunda, betonda soğuk derz ve yüzey kusurlarına dolayısıyla yüzey bitirmelerinde zorluklara sebep olabilir.

3.2.3. Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu hidratasyon ısısı düşük reaktif ince bir malzemedir. Yüksek fırın cürufu bazı CEM II ve CEM III çimentolarının içinde mevcut olduğu gibi bazı ülkelerde mineral katkı olarak da mevcuttur. Aşırı miktarda yüksek fırın cürufu KYB'nin stabilitesini etkileyerek betonun yavaş priz alma riskini artırarak ayrışmaya, sağlamlığın azalmasına ve kıvam kontrol problemlerine neden olur.

3.3. Agregası

KYB için agreganın nem miktarı, su emmesi, gradasyonu, ince malzeme çeşitliliği ve şekli çok önemlidir. Sabit kalitede KYB üretimi için agreganın bu özellikleri sürekli izlenmelidir. Tedarik kaynağının değiştirilmesi beton özelliklerinde önemli değişimlere neden olur. Yıkanmış agrega kullanmak genelde daha tutarlı bir ürün verir [17].

KYB de agrega kullanımı için aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır;

1. Silt, kil ve kirliliğe kesinlikle müsaade edilmemeli, titizlikle kontrol edilmelidir. Bu kirlilik çimento hamuru ve agrega arasındaki aderansı düşürür ve su ihtiyacını artırır.
2. Donatı aralığı maksimum agrega büyüklüğünü belirlemede temel faktördür. KYB için daha büyük boyutlar kullanılmasına rağmen, optimum değerler için agrega çapı genellikle 12-20 mm arasında sınırlandırılmalıdır.
3. İri agreganın şekil ve tane boyut dağılımı KYB'nin geçme yeteneğini ve akışını doğrudan etkiler. Köşeli ve düzgün şekilli agregalar yerine daha küresel şekilli agrega kullanımı daha az agrega bloklaşması ve azalan içsel sürtünme nedeniyle daha fazla akışa neden olmaktadır [18].
4. KYB bileşiminde kırma taşın, basınç dayanımını artıracak derecesinin da işlenebilmeyi artıracığından bu iki agrega çeşidini bir arada kullanmak daha iyi sonuçları doğuracaktır.
5. Su emme özelliği fazla olan agregalar hidratasyon esnasında gerekli olan suyun bir kısmını emerek dayanımın düşmesine neden olacaktır. Su emmesi düşük olan agregaların dayanımı daha yüksektir.

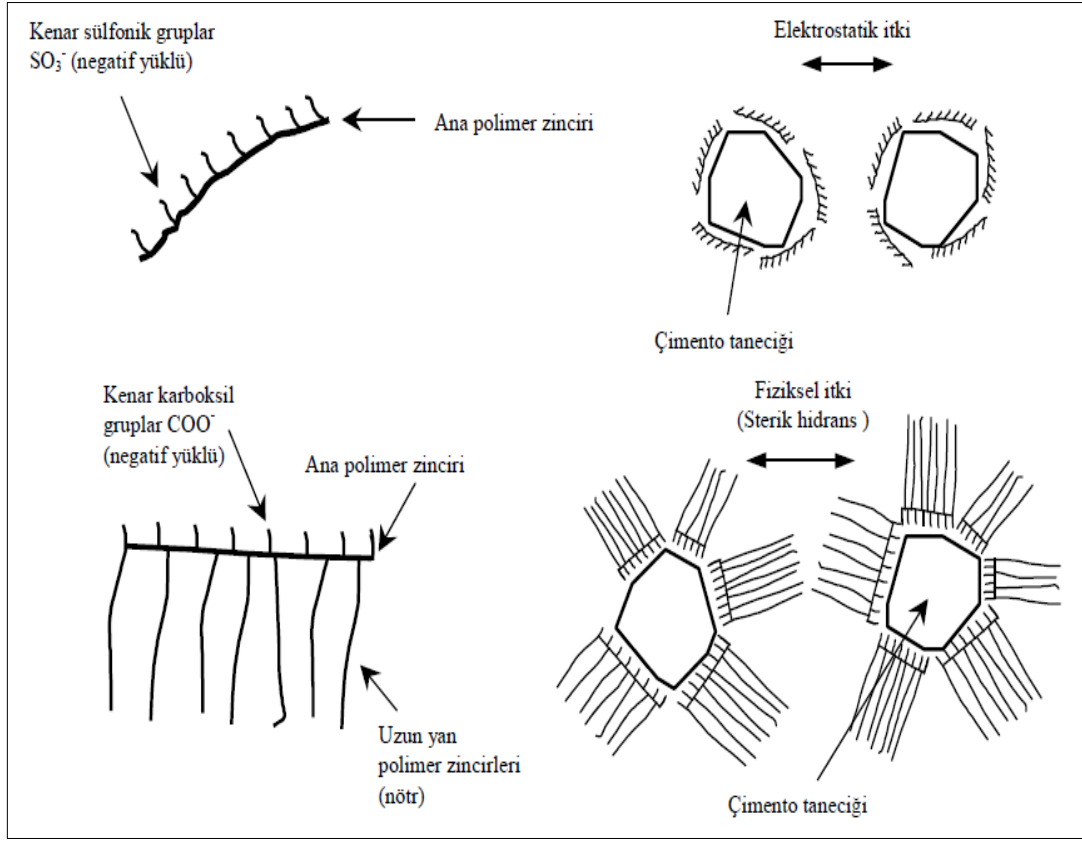
6. İnce agrega içindeki 0.125 mm'den daha küçük tane boyutlu malzemeler filler malzeme olarak hesaba katılmalıdır.
7. İnce agrega hacminin, toplam agrega hacmine oranı KYB'lerde önemli bir parametredir. Bu değer arttıkça betonun reolojik özelliklerinde artma gözlenmektedir. KYB için uygun oran % 47.5 olarak önerilmektedir [19].

3.4. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı

Betonun kolayca Şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özelliğin su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta ve ayrışma meydana gelmektedir. KYB'lerde yüksek akıcılık üstün akışkanlaştırıcı özelliğine sahip olan kimyasal katkıları yardımı ile sağlanır. KYB üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkıları polikarboksilat esaslı katkılarıdır [15].

KYB üretiminde kimyasal katkı olarak naftalin sülfonat formaldehit, melamin sülfonat formaldehit polikondanseleri, vinil kopolimerler ve polikarboksilik asit bazlı katkıları kullanılabilir [20]. Ancak polikarboksilik bazlı katkıları göre diğer katkıların kullanıldığı taze betonun su gereksiniminin göreceli olarak fazla olması, bu tip betonlar için istenilen akıcılıkla beton üretilmemesine yol açmaktadır. Bu nedenle polikarboksilik bazlı kimyasallar tercih edilmelidir.

Polimer esaslı katkıları elektrostatik itkinin yerini daha farklı ayırıcı etkiler alır. Özellikle polimer bazlı katkıları elektrostatik itkinin yanında polimer zincirlerinin çimento tanesinin üzerine yapışarak oluşturduğu fiziksel etki (*stearik itki*) daha baskındır. Elektrostatik itki ile fiziksel itki arasındaki farklılık Şekil 3.1'de şematik olarak verilmiştir. Stearik itkinin derecesi polimer zincirinin uzunluğuna, molekül ağırlığına, yan zincir yapısına ve ortam koşullarına bağlıdır. Özellikle polikarboksilat bazlı katkıları stearik itki çimento dağılımını sağlayan temel faktördür. Ortamda aşırı miktarda katkı bulunması halinde çimento taneciklerinin yüzeyi tamamen sarılacağından bir miktar katkı açıkta kalacaktır. Açıkta kalan katkının olumlu bir işlevselliği olmadığından optimum değer kullanılmalıdır. Katkının optimum miktarına doyum noktası denir [21].



Şekil 3.1. Elektrostatik ve fiziksel itki modelleri [21].

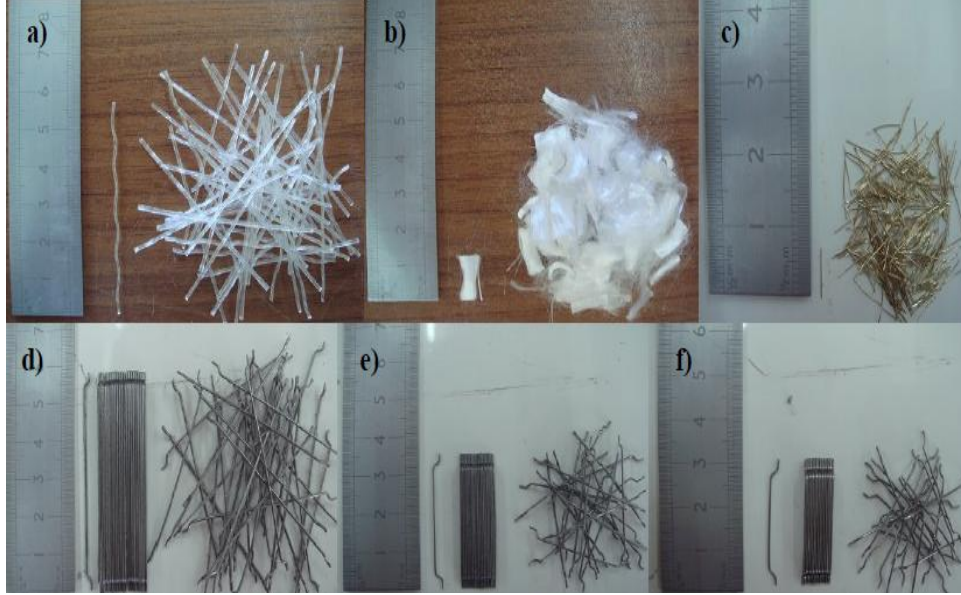
3.5. Pigmentler

KYB için pigmentler geleneksel vibrasyonlu betonlardaki gibi aynı dikkat ve sınırlandırmaları uygulayarak başarılı bir şekilde kullanılabilir. Ancak, betonun taze haldeki özelliklerini etkileyebileceği için ön deneme yapmadan KYB' ye ilave edilmemelidir. KYB'nin yüksek akışkanlığı nedeniyle, pigmentlerin dağılımı daha verimlidir ve çoğunlukla hem harmanın içinde hem de harmanlar arasında daha üniform renkler elde edilir. Ancak, KYB'nin daha yüksek hamur miktarı istenen renk yoğunluğunu sağlamak için pigmentlerin daha yüksek dozlarda kullanılmasına sebep olabilir. Yüksek dozda kullanılan pigmentler maliyeti ve su ihtiyacını artıracaktır.

3.6. Fiberler

Metalik veya polimer fiberler KYB'nin üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 3.2.). Fiberler betonun akıcılık ve geçme yeteneğini azaltırlar. Taze ve sertleşmiş haldeki betona

tüm gerekli özellikleri kazandırmak için liflerin optimum tipi, uzunluğu ve miktarı denemeler yapılarak tespit edilmelidir. Polimer fiberler KYB'nin stabilitesini betonun plastik büzülmesi nedeniyle oluşan çatlakları ve oturmaları önleyerek geliştirebilirler.



Şekil 3.2. Metalik ve polimer fiberler [24].

Çelik veya uzun polimer yapıllı lifler sertleşmiş betonun sünekliğini ve tokluğunu değiştirmek için kullanılır. Fiberlerin uzunluk ve miktarı yapısal gereksinimler ile maksimum agrega boyutuna bağlı olarak seçilir. Eğer normal donatının yerine kullanılırsa, betonun akışında bloklaşma riski olmaz. Fakat fiberli KYB'nin normal donatılı yapılarda kullanımı bloklaşma riskini önemli oranda arttırmaktadır.

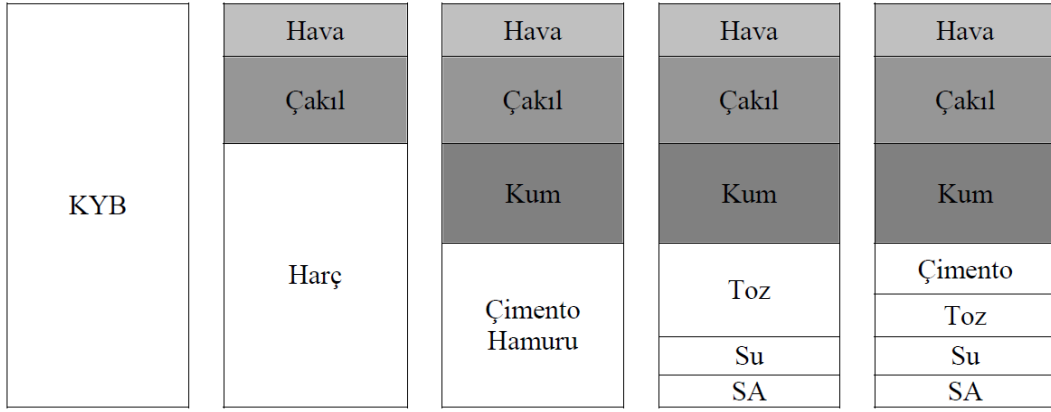
3.7. Karışım Suyu

Beton karışım suyu TS EN 1008'e uygun olmalıdır. Beton endüstrisinden elde edilen atık sular karma suyu olarak kullanılacaksa, bu suların konsantrasyonuna dikkat edilmeli ve mutlaka deneme karışımları ile önceden KYB özellikleri tespit edilmelidir [22].

4. KYB’de KARIŞIM TASARIMI VE TEST METOTLARI

4.1. KYB’de Karışım Tasarımı

Kendiliğinden yerleşen taze beton karakteristikleri, malzeme özelliklerine ve ortam sıcaklığına oldukça bağımlıdır. Bu nedenle, özellikle filler malzeme çeşidi ve miktarına göre tasarım yöntemleri oluşturulmuştur. Tasarım yöntemleri, KYB reçetesini belirleme amacı içerisindedir. (Şekil 4.1’de görüldüğü gibi) Bileşenlerin bir veya birkaçı için deneysel ve teorik çalışmalar sonucu bulunmuş uygun oranlar diğer çalışmalara ışık tutmaktadır. Aynı tür toz malzeme kullanılan KYB de bile karışım oranları farklı olabilmektedir [23].



Şekil 4.1. KYB de karışım kompozisyonu [23].

Tablo 4.1’de ağırlık ve hacimce KYB bileşenlerinin tipik aralığı verilmiştir. Bu oranlar kesinlikle kısıtlayıcı değildir. [14].

Tablo 4.1. KYB karışımının tipik aralığı [14].

Bileşen	Kütlece Tipik Aralık (Kg/m ³)	Hacimce Tipik Aralık (Litre/m ³)
Toz	380-600	
Hamur		300-380
Su	150-210	150-210
İri agregat	750-1000	270-360
İnce agregat (kum)	Bu miktar diğer bileşenlerin hacmini dengeler, tipik olarak toplam agregat ağırlığının %48-55’idir.	
Hacimce su/toz oranı		0,85-1,10

4.2. KYB Test 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 sınıflandırılır. KYB'yi tanımlamada taze haldeki özellikleri esas alınır. Bu yüzden KYB tanımında kendiliğinden yerleşebilirlik deneylerinin önemi büyüktür.

KYB'nin taze haldeki doldurma yeteneği ve stabilitesi dört temel özellik ile tanımlanır. Her bir özellik bir veya daha fazla test metoduyla belirlenir. KYB de beklenen özellikler ve test metotları tabla 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. KYB'nin karakteristik özellikleri ve test metotları

Özellik	Sınıflama	Tercih edilen test metodu
Akıcılık	SF - 3 sınıf	Çökme (slamp)-akma testi
Viskozite	VS veya VF 2 sınıf	T ₅₀ çökme (slamp)-akma testi, v hunisi testi
Geçme oranı	PA - 2 sınıf	L kutusu testi
Ayrışma direnci	SR - 2 sınıf	Ayrışma direnci (elek) testi

Çökme-akma değeri, taze karışımın akıcılığını tanımlar. KYB'ler için beton kıvamının şartnameye uygunluğu hakkında bilgi veren çok hassas bir testtir. Test sırasında T₅₀ süresini ölçerken görsel incelemeler yapılması, taze betonun ayrışma direnci ve bütünlüğü hakkında bilgiler verir. Çökme-akma değerleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır; (Tablo 4.3)

Tablo 4.3. Çökme-akma sınıfları

Çökme akma sınıfı	Çökme akma değeri (cm)
SF1	55-65
SF2	66-75
SF3	76-85

1. SF1 için yayılma çapı 55-65 cm arasındadır. Uzun yatay akışları engellemeyecek kadar küçük kesitlerde, pompa enjeksiyon ile döküm yapılırken, salınma

noktasından serbest yer değiştirmeyle üstten dökülen donatısız yada çok az donatılı yapılarda kullanılır.

2. SF2 için yayılma çapı 66-75 cm arasındadır. Pek çok normal uygulama için bu sınıf tercih edilmelidir.
3. SF3 için yayılma çapı 76-85 cm arasındadır. Maksimum agrega boyutu küçük olan (16 mm'den) agregalarla üretilir. Çok yoğun donatılı yapılarda, kalıp altında doldurmalarda ve iyi yüzey bitirilmesi istenen yapılarda kullanılır.

Viskozite çökme-akma testi sırasında T_{50} süresi ile ya da V hunisi akma zamanı ile değerlendirilir. Elde edilen değer KYB'nin viskozitesini ölçmez fakat akış hızı belirlenerek viskozite hakkında fikir verir. Düşük viskoziteli beton çok hızlı akacak, yüksek viskoziteli beton daha uzun süreli akacaktır. Viskozite değeri aşağıdaki gibi sınıflandırılır; (Tablo 4.4)

Tablo 4.4. Viskozite deney ve süreleri

Viskozite Sınıfı	T_{50} süresi (saniye)	V hunisi zamanı (saniye)
VS1/ VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/ VF2	> 2	9-25

1. VS1 veya VF1 çok yoğun donatı ve karmaşık şekillerde bile iyi doldurma yeteneğine sahiptir. Ayırışma ve terleme problemlerine dikkat edilmelidir.
2. VS2 veya VF2 üst sınıf limitine sahip değildir fakat artan akma zamanı ile kalıp basıncını sınıflandırmada ya da ayırışma direncini geliştirmede faydalı olabilen tiksotropik etkileri göstermesi çok muhtemeldir.

Geçme yeteneği taze karışımın, yoğun donatılı bölgeler gibi sarılmış boşluklardan ve dar kısımlardan ayırışma olmadan, tıkanmadan ve üniformaluluk kaybı olmadan akma kapasitesidir. Geçme yeteneği belirleme kriterleri aşağıdaki gibidir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Geçme yeteneği sınıf ve oranları

Geçme Yeteneği Sınıfı	Geçme kabiliyeti
PA1	$\geq 0,80$ (iki donatı çubuğu ile)
PA2	$\geq 0,80$ (üç donatı çubuğu ile)

1. PA1, 8 ile 10 cm arasında açıklığa sahip aralıklar da
2. PA2 ise 6 ile 8 cm arasında açıklığa sahip aralıklar da tercih edilir.

Açıklığı 6 cm den az olan yapılar için özel karışım dizaynı gereklidir. 10 cm den daha büyük açıklıklı yapılarda ise belirtilmiş bir geçme yeteneğine ihtiyaç yoktur.

KYB'nin kalitesi için ayrışma direnci çok önemlidir. KYB de yerleştirme sırasında ve yerleştirmeden sonra ayrışma problemiyle karşılaşılabilir. Yerleşme sonrası oluşacak ayrışma, uzun elemanlarda çatlak, zayıf yüzey ve homojen olmama gibi kusurlara sebep olacaktır. Ayrışma direnci miktarı aşağıdaki gibi sınıflandırılır; (Tablo 4.6)

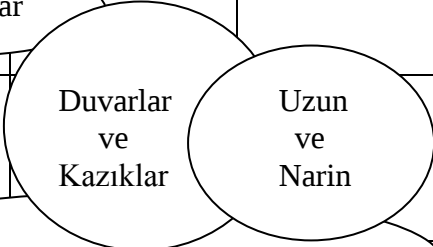
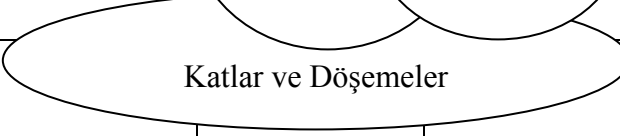
Tablo 4.6. Ayrışma direnci sınıfları

Ayrışma Sınıfı	Ayrışma direnci (%)
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

1. SR1 genellikle ince döşemeler için ve akma mesafesi 5 m'den daha az olan ve sargı aralığı 8 cm'den daha büyük olan düşey uygulamalar için uygundur.
2. SR2 akma mesafesi 5m'den fazla ve sargı aralığı 8 cm'den daha az olan uzun düşey uygulamalar için uygundur.

Tablo 4.7'de farklı uygulamalardaki KYB'yi belirlemek için gerekli parametreleri ve sınıfları göstermektedir.

Tablo 4.7. Çeşitli uygulama tipleri için KYB özellikleri [25]

Viskozite				Ayrışma Direnci veya Geçme yeteneği
VS2 VF2				SF1 ve SF2 için geçme yeteneğini belirtmek
VS1 veya VS2 VF1 veya VF2 Yada hedef değer				SF3 için SR Belirlemek
VS1 VF1				SF2 ve SF3 için SR belirlemek
	SF1	SF2	SF3	
	Çökmede Yayılma			

Taze haldeki KYB'yi değerlendirmek için yapılan testlerin hangi değerleri gösterdiği Tablo 4.8'de gösterilmektedir.

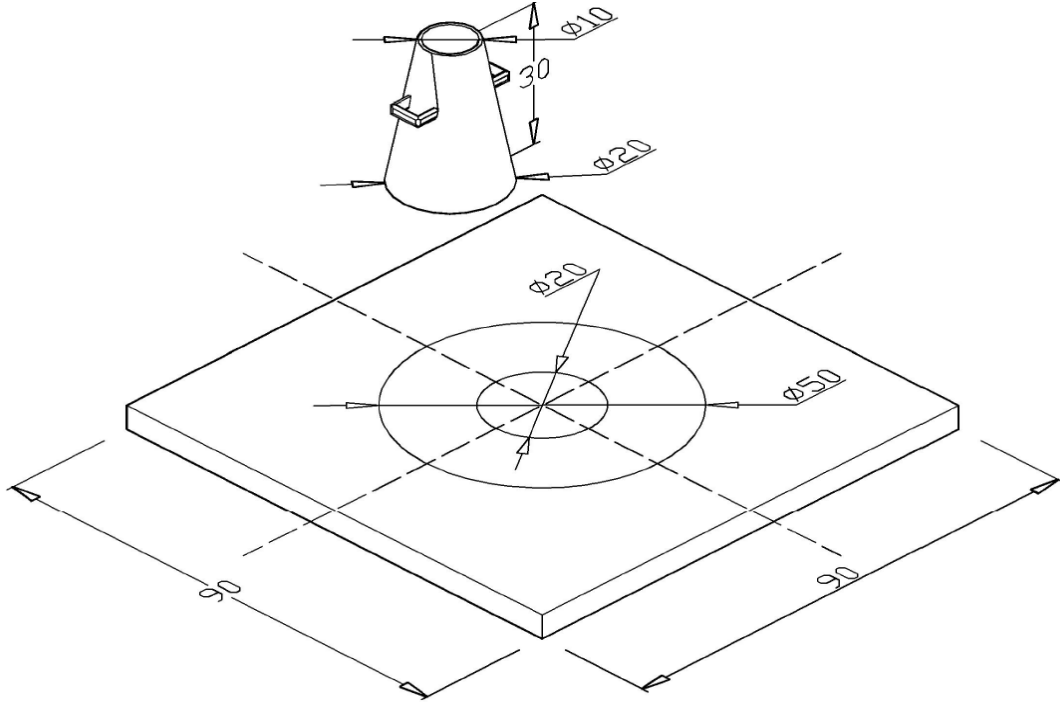
Tablo 4.8. KYB özellikleri ve test metotları

Özellik	Test Metodu	Ölçülen Değer
Akıcılık / doldurma yeteneği	Çökme-akma	Toplam yayılma
	Kajima kutusu	Görsel doldurma
Viskozite / akıcılık	T ₅₀ süresi	Akma zamanı
	V hunisi	Akma zamanı
	O hunisi	Akma zamanı
	Orimet	Akma zamanı
Geçme yeteneği	L kutusu	Geçme oranı
	U kutusu	Yükseklik farkı
	J halkası	Kademeli yükseklik, toplam akma
	Kajima kutusu	Görsel geçme yeteneği
Ayrışma direnci	Penetrasyon	Derinlik
	Elekt ayrışması	Terleme yüzdesi
	Oturma kolonu	Ayrışma yüzdesi

4.2.1. Slump Yayılma Deneyi

Bu deney çökme (ASTM C143-90a) deneyinin bir modifikasyonudur. Standartlara geçmiş bir deney olmamasına rağmen, akıcı kıvamlı betonlarda araştırmacıların tercih ettiği bir deneydir. Standart çökme deneyinde 20 cm'den daha çok çöken betonlarda, yayılma çapı ile kıyaslama yapmak karşılaştırma açısından daha hassas sonuçlar vermektedir [2].

Deney için 90 x 90 cm ebatlarında su geçirmez ve sert malzemeden yapılmış (çelik veya kontrplak) pürüzsüz bir tabakaya, akış zamanını kaydetmek için 0,1 saniye hassasiyetli bir kronometre ve Abrams hunisine ihtiyaç vardır.



Şekil 4.2. Çökme sonrası yayılma deney düzeneği aparatları

Pürüzsüz tabakanın merkezine Şekil 4.2’de görüldüğü gibi Ø20 cm ve Ø 50 cm çaplı daireler çizilir. Tabaka ve huni ıslak bir bezle silinir, tabakada kuru yer kalmayacağı gibi su artığı da olmamalıdır. Temizlenmiş tabaka sabit ve dengeli bir şekilde yerleştirilir. Huni 20 cm’lik dairenin içerisine yerleştirilerek hazırlanmış olan 6-7 lt’lik harç, standart şişleme yapılmadan huniye bir kap vasıtasıyla beton serbest düşürülerek doldurulur. Huninin hidrostatik basınç etkisiyle yukarı kalkmasını ve betonun sızmasını engellemek için doldurma sırasında huniyi tabakaya doğru bastırmak gerekir. Huni 30 sn’den fazla bekletilmeden tabakaya dik olarak tek bir hareketle yukarı doğru kaldırılır. T_{50} değeri için, huninin tabaka ile bağlantısının koptuğu anda kronometre başlatılır ve harç 50 cm halkasına ilk değdiği anda durdurulur ve bu değer kaydedilir. Yayılma tamamlanıncaya kadar beklenir. Bu değer taze betonun akış hızını belirler ve plastik viskozite ile ilişkilendirilmektedir. 50 cm çapa yayılma süresi T_{50} olarak adlandırılır. Viskozitesi yüksek karışımlarda yayılmanın tamamlanması için birkaç dakika beklemek gerekebilir (Şekil 4.3). Yayılma durunca birbirine dik iki çap ölçülerek deney tamamlanır. Bu çaplar arasındaki fark 5cm’den fazla ise deney tekrarlanmalıdır [14]. Dowson’a göre, yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda, kendiliğinden yerleşebilirlik için yayılma değerinin 65-80 cm arasında ve T_{50} süresinin 3 sn’den fazla olmaması şartını önermiştir [11].



Şekil 4.3. Çökme sonrası yayılma deney düzeneği

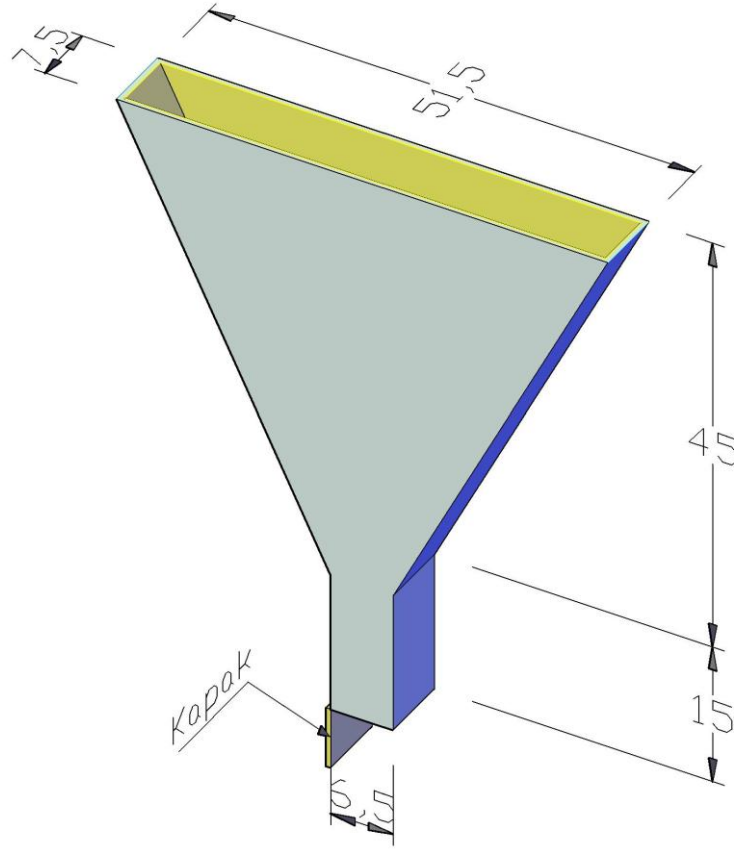


Şekil 4.4. Ters slump deneyinin yapılışı

Özellikle çok akıcı kıvamlı betonlar için çökme deneyinde huninin doldurulması sorun yaratır. Akıcı kıvamlı betonlar için bazı araştırmacılar ters slump deneyini önermektedir. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi slump hunisi ters doldurulup kaldırılarak yayılma çapı ölçülür. Taze betonun potansiyel enerjisi bu deneyde daha yüksek olacağından normal yayılma deneyine kıyasla daha geniş bir yayılma çapı beklenebilir [2].

4.2.2. V Hunisi Deneyi

V Şekilli akış hunisi taze beton viskozitesini ölçmek amacıyla kullanılır. Boyutları şekil 4.5’de verilen huninin orifis çıkışı 15 cm uzunluğundadır. Deneyde 10 litre harç kullanılır, agrega çapı en fazla 20 mm olmalıdır. Daha büyük agrega çapları içeren karışımlar için orifis ağzının modifiye edilmesi gerekmektedir. Örneğin, 32 mm maksimum agrega çapına sahip beton karışımları için 7.5 x 7.5 cm’lik orifis ağzı kullanılır.



Şekil 4.5. V hunisi boyutları

Deney yapılırken, V hunisinin içi ıslak havlu veya sünger ile silinir. Huni dik olarak sabit kalacak şekilde yerleştirilir ve KYB ile herhangi bir sıkıştırma yapmadan doldurulur. 10 ± 2 s'lik bir beklemeden sonra kapak açılır. Kapağın açıldığı anda süre başlatılır, yukarıdan aşağıya bakılınca harç akıp ışık görüldüğü anda kronometre durdurularak süre ölçülmüş olur. Khurana ve Topçu, farklı maksimum tane boyutuna sahip KYB'lerin 5x5 cm açıklıklı V hunisinden geçiş süreleri için aşağıdaki sınır değerleri önermektedir [7]:

- D maks.= 15 mm ise 8-12 sn.
- D maks.= 20 mm ise 11-15sn

Beş dakika gecikmeli V hunisi deneyinde ise V-hunisi akış süresi deneyi yapıldıktan hemen sonra, v hunisi yıkanmadan yeniden taze betonla doldurularak 5 dakika bekletilir ve deney tekrarlanır. Statik ayrışma direnci ölçülür. Bu sırada taze beton yeterli stabiliteye sahip değilse, ayrışma meydana gelir. iri agregalar çökelerek bloke olur. 5 dakika sonunda orifis ağzı açılarak akış süresi belirlenir. İlk andaki akış süresine göre 3 saniyeden fazla uzama varsa bu durum statik ayrışma olduğuna işaret eder.

4.2.3. Elek Ayırışma Direnci Testi

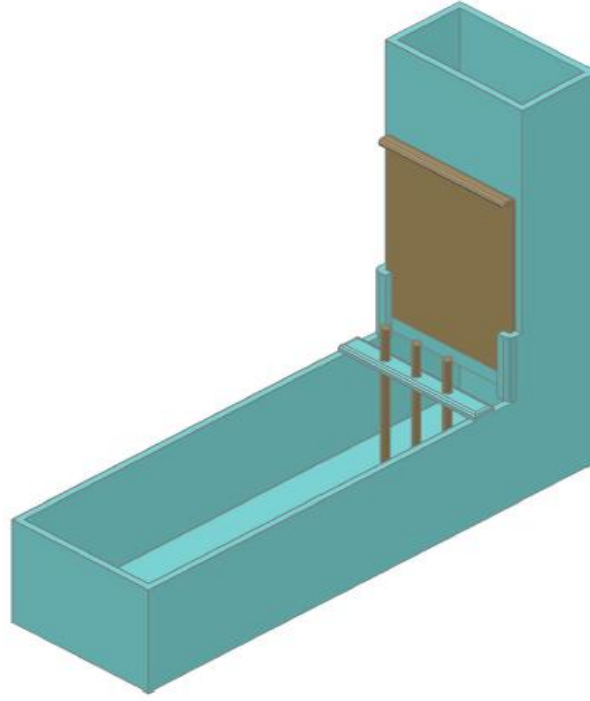
Bu test KYB'nin segregasyon direncini araştırmak amacıyla yapılmaktadır. Deneyde tabanı 5 mm'lik kare göz açıklıklı 30-31.5 cm çap ve 4-7.5 cm yüksekliğe sahip elek kullanılmaktadır. Ayrıca 10 kg kapasiteli, hassas dijital teraziye ve 10-12 lt kapasiteli kovaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu deney için 10 lt harç hazırlanır. Hazırlanan harç kapaklı kovada 15 dk bekletilir. 15 dk sonunda kovanın kapağı açılarak, harç 50 cm yükseklikten eleğin ortasına dökölür. Elekten betonun geçmesini sağlamak amacıyla herhangi bir sarsma yapılmadan 2 dk beklenir. Sonuç olarak, elek üstünde kalan harç ağırlığı (W_{α}) ve elekten geçen harç (W_p) kaydedilir. Elekten geçen numunenin yüzde oranı;

$$\text{Ayırışma Katsayısı} = \left(\frac{W_p}{W_{\alpha}} \times 100 \right) \text{ olarak hesaplanır [6].} \quad (4.1)$$

Pratik denemelerde %5–15 arası ayırışma katsayısının KYB için uygun olduğu belirlenmiştir. Bu katsayının % 5'in altında olması halinde betonun fazla kohezif olduğu ve betonda sıkışık hava riskinin arttığı, % 15'in üzerinde olması halinde ayırışmanın meydana geldiği söylenebilir.

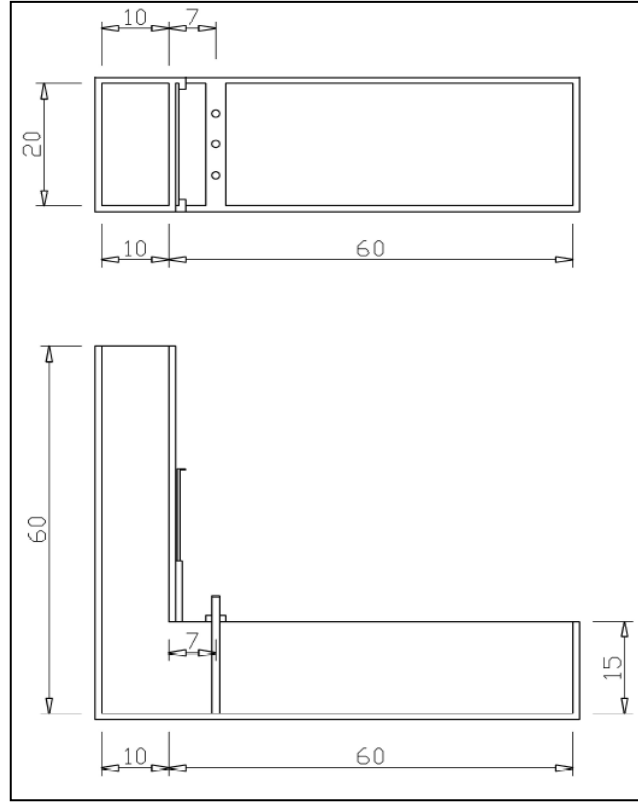
4.2.4. L Kutusu Deneyi

Bu metotla taze haldeki KYB'nin donatılar arasından geçiş yeteneğini belirlemek hedeflenmiştir. L kutusu ilk olarak Petersson tarafından Japonya'da bir su altı beton dizaynının yapımında kullanılmıştır. L şeklinde yatay ve dūřey prizmatik dikdörtgen bölümlerden oluşan aparat şekil 4.5'de görölmektedir. Yatay ve dūřey prizmalar arasındaki geçiş kesitinde 41-59 mm boşluklarla üç veya iki düz elik çubuklar ve bu geçiş bölgesinde bir kapak vardır. Donatılar arası mesafe en büyük agrega çapının 3 katından az olmamalıdır. Agrega çapına göre donatı aralıkları değiştirilerek aparat modifiye edilebilir [6]. L kutusu deney aparatının ölçöleri şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. L kutusu deney aparatı

Deney yapılırken L kutusu düzgün ve dengeli bir şekilde yerleştirilir. L kutusunun dikey bölümü 12,7 lt taze KYB ile doldurulur. Beton doldurulduktan sonra 1 dk (± 10 sn) dikey bölümde kalmasına izin verilir. Bu zaman esnasında betonda ayrışma olup olmadığı gözlenir. Kapak kaldırılarak betonun, L kutusunun dikey bölümden yatay bölüme akmasına izin verilir. Hareket durduğunda dikey kısmın başında (H_1) ve yatay kısmın sonundaki beton yükseklikleri (H_2) ölçülür. Bu yükseklikler arası oran (H_2/H_1) hesaplanır. Bu değer L kutusu oranı (bloklaşma oranı) olarak adlandırılır. L-kutusu oranı su gibi çok akışkan bir malzemede 1'e eşit olur [23], bu değer 0.8'den küçük olması halinde agreganın bloke olma riski olduğunu belirtmiştir. Fakat Bernabeu ve Laborde, yaptıkları deneylerde L kutusu oranı 0.65 olan karışımların (Yayılma çapı 60 cm) sık donatılı kalıbı rahatlıkla doldurduğunu rapor etmiştir. L kutusunda T_{20} ve T_{40} süreleri de ölçülmektedir. Bu süreler ayırıcı hizasından betonun yatayda önceden işaretlenen 20cm ve 40cm'lik mesafeleri geçiş süreleridir.



Şekil 4.7. L kutusu deney aparatı ölçüleri

4.2.5. U Kutusu Deneyi

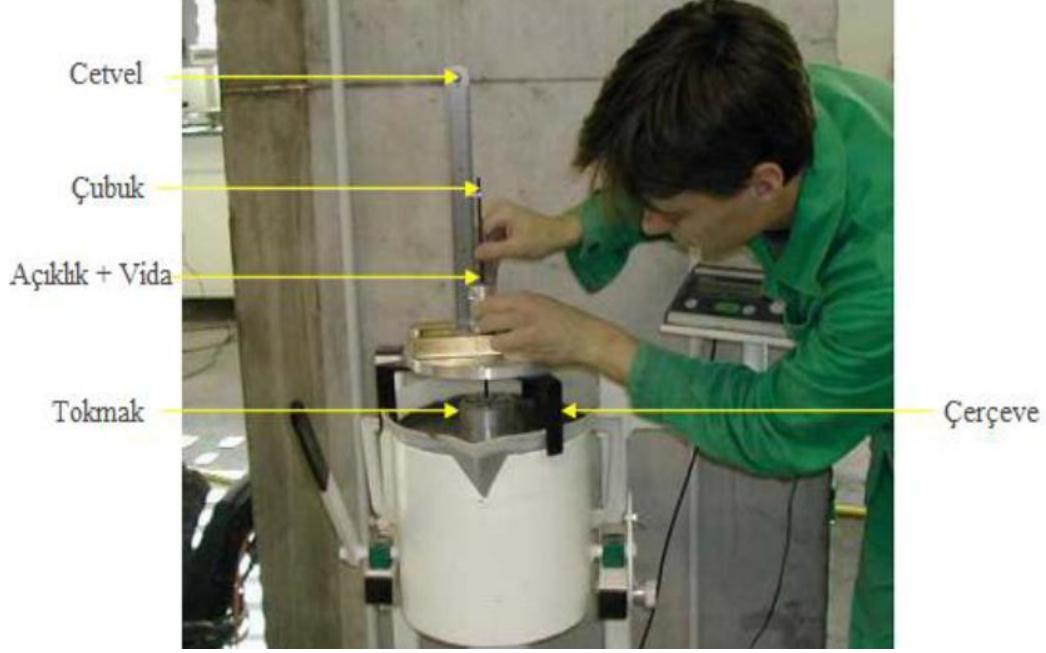
Betonun geçiş kabiliyetini ölçmede oldukça etkili metotlardan biridir. Kutunun bir tarafına beton doldurulduktan sonra aradaki kapak açılır, iki seviye arasındaki fark veya oran geçiş kabiliyetini tanımlar. U kutusu su ile doldurulursa iki seviye arasındaki fark 0, oran ise 1'e eşit olur. U kutusu deney aparatı Şekil 4.7'deki gibidir [10].



Şekil 4.8. U kutusu deney aparatı boyutları [10].

4.2.6. Penetrasyon Testi

Bu deneyin amacı belirli yükseklikten serbest düşüşe bırakılan çubuğun kendi ağırlığı ile batma miktarının belirlenmesidir. Şekil 4.8’de görülen düzenekler yardımıyla deney gerçekleştirilir. Ölçülen batma miktarı eşik kayma gerilmesiyle ilişkilendirilebilir.



Şekil 4.9. Penetrasyon testi aleti kullanımı

4.2.7. J Halkası Deneyi

J halkası deneyi, yayılma deneyi ile bir arada uygulanır. Aparatın felsefesi Japonya'da oluşturulmuşsa da bu aparatla ilk deneyler Paisley Üniversitesi'nde yapılmıştır. 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, Şekil 4.9’da görüldüğü gibi yerleştirilir. Yayılma sonrası merkez ve halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri arasındaki farka göre geçiş yeteneği belirlenir [6].



Şekil 4.10. J halkası deney düzeneği

4.2.8. Orimet Deneyi

Orimet testi, doldurma yeteneği için T_{50} 'ye alternatif metot olarak düşünülmüştür. Bu deney, çelikten yapılmış 60 cm uzunluğunda ve 8 – 12 cm çapında bir tüp ve tüpün altında açılabilir bir kapaktan oluşur (Şekil 4.10). Deneye başlarken tüpün içi ıslak sünger ya da havlu ile silinir. Tüp dengeli hale getirildikten sonra V hunisindeki gibi içerisi KYB ile doldurulur ve 10 ± 2 saniyelik beklemeden sonra kapak açılır. Kapak açıldığı andan KYB numunesinin tüpte bitinceye kadar geçen süre kaydedilir. Daha çok su altında betonlarının viskozitesini belirlemede kullanılır.



Şekil 4.11. Orimet deney düzeneği

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

KYB’lerde akışkanlaştırıcı katkı ve mineral katkı oranları değişiminin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisinin incelenmesi için yapılan deney programı, kullanılan malzemeler ve deney yöntemlerine ait detaylı bilgiler bu bölümde sunulmaktadır.

5.1. Amaç

Deneme dökümleri sonucunda bulunan en uygun karışım dizaynı içeriğindeki akışkanlaştırıcı ve mineral katkı oranlarını değiştirerek, taze ve sertleşmiş haldeki betonun özellikleri üzerine etkilerini incelemek ve aralarında karşılaştırma yapmaktır.

5.2. Deney Programı

Çalışmada öncelikli olarak deneme dökümleri yapılarak KYB için en uygun agrega granülometri eğrisi belirlenmiştir. Agrega tane dağılımı temel alınarak karışım suyu, akışkanlaştırıcı ve filler malzeme miktarları hesaplanarak optimum değerler bulunmuştur. Akışkanlaştırıcı ve filler malzemenin KYB üzerindeki etkilerini görebilmek için katkı miktarları azaltılıp artırılmıştır. KYB’lerin taze haldeki özelliklerinin belirlenmesi amacıyla her seri için 40 dm³’lük karışımlar hazırlanmıştır. Bu çalışmada kendiliğinden yerleşmeyi test etmede kullanılan metotlar;

- Slamp yayılma çapı
- Yayılmada T₅₀ süresi
- V hunisi akış süresi
- L kutusu deneyi
- Segregasyon (elek yöntemi) testidir.

Taze haldeki özellikleri belirlendikten sonra karıştırıcıda 55 dm³’lük karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlardan 7.5 x 7.5 x 30 cm kiriş ve 10x10x10 cm küp örnekler alınmıştır. Numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra kür havuzuna yerleştirilmiştir. 7, 14 ve 28 gün sonunda, numuneler kür havuzundan çıkarılarak laboratuvar ortamında 4-5 saat bekletildikten sonra sertleşmiş beton deneylerine tabi tutulmuştur.

Numunelere uygulanan sertleşmiş beton deneyleri aşağıda sıralanmıştır;

- Basınç dayanımı,
- Beton test çekici,
- Yarmada çekme dayanımı,
- Eğilmede çekme dayanımı,
- Su emme
- Kapiler su emme miktarı
- Ultrasonik ses geçirgenlik hızı
- Yüksek sıcaklık direnci

5.3. Kullanılan Malzemeler

5.3.1. Çimento ve Toz Malzeme

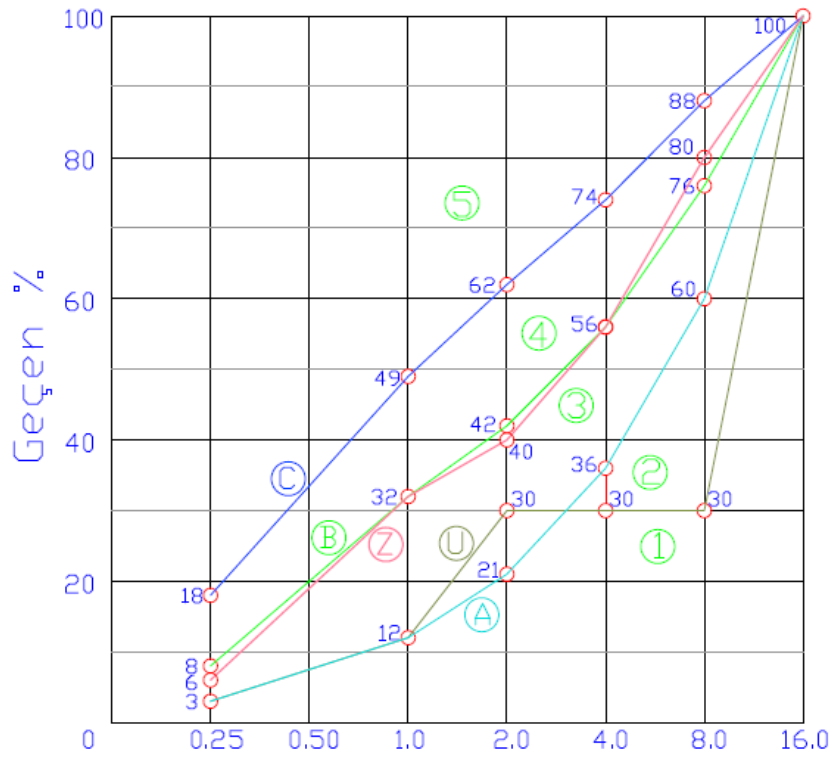
Deneysel çalışmalarda Elazığ Altınova Çimento fabrikasında üretilen CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Çalışmada filler malzeme olarak ise Sika'dan temin ettiğimiz SD kullanılmıştır. Çimento ve SD fiziksel, kimyasal, mekanik özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Veriler üretici firma verileridir.

Tablo 5.1. Çimento ve SD'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri [10].

Kimyasal Bileşim (%)	Çimento (CEM I 42.5 N)	Silis Dumanı (Sika Fume HR)
Kimyasal Özellikler		
S(SiO ₂)	21.12	91
A(AL ₂ O ₃)	5.62	0.58
F(Fe ₂ O ₃)	3.24	0.24
C(CaO)	62.94	0.71
MgO	2.73	0.33
SO ₃	2.30	1.06
Na ₂ O	--	0.38
K ₂ O	--	4.34
Cl ⁻	0.009	0.8-1.0
Kızdırma kaybı	1.78	1.84
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluk (g/cm ³)	3.13	2.20
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3370	144000
Priz başlama süresi (dk)	168	--
Priz bitiş süresi (dk)	258	--
Basınç Dayanımı		
2.Gün (MPa)	25.8	--
7.Gün (MPa)	41.8	--
28.Gün (MPa)	50.7	--

5.3.2. Agregas

Deneysel çalışmalarda Elazığ Palu yöresine ait dere agregası kullanılmıştır. Kullanılan agregalar yuvarlak şekilli, keskin köşeleri olmayan yıkanmış agregadır. Karışımlarda kullanılan en büyük agrega çapı 16 mm'dir. Kum olarak 0-4, iri agrega olarak ise 4-8 ve 8-16 mm büyüklüğünde agregalar kullanılmıştır. Agregaların tane dağılım eğrisi Şekil 5.1'de Z eğrisi olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Maksimum tane büyüklüğü 16.0 mm olan agrega granülometri eğrileri

KYB karışımlarında ince malzeme miktarı önemli olduğundan kum içindeki 125µ'un altında kalan malzeme filler malzeme olarak karışım hesaplarına dahil edilmiştir. Palu dere agregasının fiziksel özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Dere agregasının fiziksel özellikleri

Özellik	İri Agregas	İnce Agregas
Kuru özgül ağırlık (kg/dm ³)	2.67	2.73
Su emme (%)	2.0	2.1
500 devir aşınma (%)	5.6	-

5.3.3. Kimyasal Katkı

Karışımlarda Sika ViscoCrete Hi-Tech 36 serisi yüksek performanslı 3. nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Betonda istenilen performansa bağlı olarak plastik kıvamlı betonlar için kullanılan bağlayıcının % 0.4 - 1.0 oranında, KYB için kullanılan bağlayıcının %1.0 - 2.0 oranında kullanılmalıdır. Karışımdaki diğer malzemelerin fiziksel özelliklerine göre bu oranlar değişkendir. Tablo 5.2’de ise akışkanlaştırıcının özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.3. Akışkanlaştırıcı katkının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Görünüm / Renk	Açık kahverengi sıvı
Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk	1.07 – 1.11 kg/l (20 °C’de)
pH Değeri	3 - 7
Donma Noktası	-9
Suda Çözünabilir Klorür Yüzdesi	En fazla % 0.1, Klorür içermez.
Alkali Miktarı	En Fazla % 4

5.3.4. Karışım Suyu

Deneyisel çalışmaların tamamında TS EN 1008’e uygun Elazığ ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır [26]. Karışım suları herhangi bir depoda bekletilmeden şebekeden alındığı gibi kullanılmıştır.

5.4. KYB Üretimi ve Karışım Hesapları

Tüm karışımlar Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Karışım hesabı sonucu belirlenen malzeme miktarları hassas bir şekilde tartılarak aşağıda belirtilen sıraya göre Şekil 5.2’de gösterilen 100 dm³ kapasiteli karıştırıcı da karıştırılmıştır.

Karıştırıcıya malzeme konulmadan önce iç yüzeyi ve kanatları iyice temizlenerek hafifçe nemlendirilmiştir. Karıştırıcıya sırasıyla agrega, çimento ve SD konulup homojen bir karışım elde etmek için 1 dakika karıştırılmıştır. Kuru karışım yapıldıktan sonra karışım suyunun % 90’ı ilave edilerek 2 dakika karıştırılıp suyun geri kalan kısmına

akışkanlaştırıcı katkı eklenerek karışıma ilave edilmiş ve 2 dakika daha karıştırılarak toplam 5 dakikada karıştırma işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 5.2. 100 dm³ kapasiteli karıştırıcı ve deney aletleri

40 dm³ karışım yapılarak taze beton deneylerine bakılmıştır. Sertleşmiş beton deneylerine bakabilmek için ise 55 dm³ karışım hazırlanmıştır. Kalıplar yağlandıktan sonra hazırlanan karışımlar, herhangi bir sıkıştırma işlemi olmadan kalıplara yerleştirilmiştir. Numuneler 2 gün sonunda kalıplardan çıkarılarak 23±2 °C’de kirece doymun kür havuzuna bırakılmıştır (Şekil 5.3). Numuneler 7, 14 ve 28 gün sonra kür havuzunda çıkarılarak sertleşmiş beton deneylerine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.3. Kür havuzu içindeki numuneler

Deneme dökümleri ve araştırmalar sonucu yapılan en uygun karışım dizaynı; 500 doz, % 10 SD, % 1.5 akışkanlaştırıcı ve ağırlıkça su / toz oranı 0.42 olan 10S1.5A kodlu seridir. Bu serinin dozu, su oranı ve agrega granülometrisi sabit tutularak akışkanlaştırıcı oranı % 1.3 ve % 1.7 olarak değiştirilmiş ve SD oranı ise % 0 ve % 20 olarak değiştirilerek 9 adet karışım yapılmıştır. Bu serilerin karışım oranları bilgileri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Karışım dizaynları

SERİLER	Su/Toz Oranı (Ağırlıkça)	Çimento (kg/m ³)	SD [*] (kg/m ³)	SA ^{**} (kg/m ³)	Agrega (kg/m ³)		
					0-4	4-8	8-16
0S1,3A	0.42	500	-	1.3	911,5	390,7	325,4
10S1,3A	0.42	450	50	1.3	901,5	386,4	321,8
20S1,3A	0.42	400	100	1.3	891,5	382,0	318,4
0S1,5A	0.42	500	-	1.5	910,2	390,2	325,1
10S1,5A	0.42	450	50	1.5	900,2	385,8	321,6
20S1,5A	0.42	400	100	1.5	890,2	381,5	317,8
0S1,7A	0.42	500	-	1.7	908,8	389,3	324,5
10S1,7A	0.42	450	50	1.7	898,6	385,3	321,0
20S1,7A	0.42	400	100	1.7	888,8	381,0	317,5

* Silis duman

** Süper akışkanlaştırıcı

5.5. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

5.5.1. Taze Beton Deneyleri

Karıştırma işlemi tamamlanan serilerin, taze beton özelliklerine bakılırken her deney sonunda karıştırıcının içerisindeki harç karıştırılmıştır. Bu işlem taze betonda beklemekten dolayı oluşabilecek ayrışmayı önlemek için yapılmıştır. Daha sonra deneyde kullanılacak aletler, ıslak bir bezle nemlendirildikten sonra deneyler uygulanmıştır. Nemlendirilen veya ıslatılarak yapılan deneyler arasında büyük oranda fark olduğundan, tüm deney ve serilerde eşit miktarda nemlendirilme yapılmıştır.

Slump yayılma deneyinde, iç yüzeyi nemlendirilen huni yayılma tablasının merkezine yerleştirilerek 6-7 lt harç ile doldurulmuştur. Bekleme yapılmadan huni tek hareketle dikey olarak kaldırıldığı anda kronometre başlatılmış, taze beton 50 cm çapa

değdiği anda kronometre durdurulmuştur. Betonun akmasını tamamladıktan sonra en büyük çap ve o çapa dik çap ölçülmüştür (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Yayılması tamamlanan taze beton çapının ölçülmesi

Yayılan taze betonda ayrışma, su kuma ve orta kısımda oluşan agrega bloklaşması kaydedilerek elek ayrışma testi sonucuyla karşılaştırılmıştır.

Yayılma deneyi tamamlandıktan sonra karıştırıcının içindeki harç 30 sn karıştırıldıktan sonra, nemlendirilmiş V hunisi sıkıştırmadan ve sallamadan beton numunesi ile doldurulmuştur. Üst yüzeyi mala yardımıyla düzeltilmiştir. V hunisinin kapağı açılarak taze betonun akış süresi kronometre yardımıyla ölçülerek deney tamamlanmıştır. (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. V hunisinden harçın akışı

L kutusu düzgün bir zemine yerleştirilip teraziye alındıktan sonra beton numunesi ile doldurulmuştur. 60 ± 10 sn bekledikten sonra kapak açılmış ve beton numunesinin yatay kısıma geçişi sağlanmıştır (Şekil 5.6). Betonun akması durduğunda L kutusunun ön kısmındaki beton yüksekliği (h_1) ve dikey kısımdaki beton yüksekliği (h_2) olarak ölçülmüştür. (h_1/h_2) oranı hesaplanıp kaydedilmiştir.



Şekil 5.6. L kutusunda demirler arasından taze betonun geçişi

Elek ayırma deneyinde ise 10 ± 0.5 litre taze beton numune kabına doldurularak kapağı kapatılmıştır (Şekil 5.7). 15 ± 0.5 dakika bekledikten sonra kapak açılmış ve beton numunesi üzerinde terleme olup olmadığı kaydedilmiştir. Daraları alınan numune kabı ve 5 mm^2 'lik göz açıklıklı elek tartı üzerinde üst üste yerleştirilmiştir. Ani olarak beton numuneyi (4.8 ± 0.2 kg) eleğin ortasına 50 cm yukarıdan dökülmüştür. Beton numunesi elek üzerinde 120 ± 5 sn bekletildikten sonra elek dikey olarak numune kabından ayrılmıştır. Terazide gösterilen değerden numune kabının darası çıkarılarak elek kapından dökülen betonun kütlesi gram cinsinden bulunarak geçen beton % olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.7. Elek ayrışma testi için 15 dakika bekletilen taze beton

5.5.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi için 100x100x100 mm ebadında küp numuneler kullanılmıştır. Her yaş için 3'er adet numune olmak üzere 7, 14 ve 28 günlük dayanımlarına bakılmıştır. Numuneler basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 standardındaki hususlar dikkate alınarak uygulanmıştır [27]. Basınç dayanımı deneyinin uygulanmasında 3000 kN yükleme kapasiteli hidrolik yük kontrollü, dijital göstergeli otomatik pres kullanılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Yük kontrollü pres

Kırım sonrasında preste okunan değer aşağıdaki formülde yerine konularak basınç dayanımı hesaplanmıştır [28].

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (5.1)$$

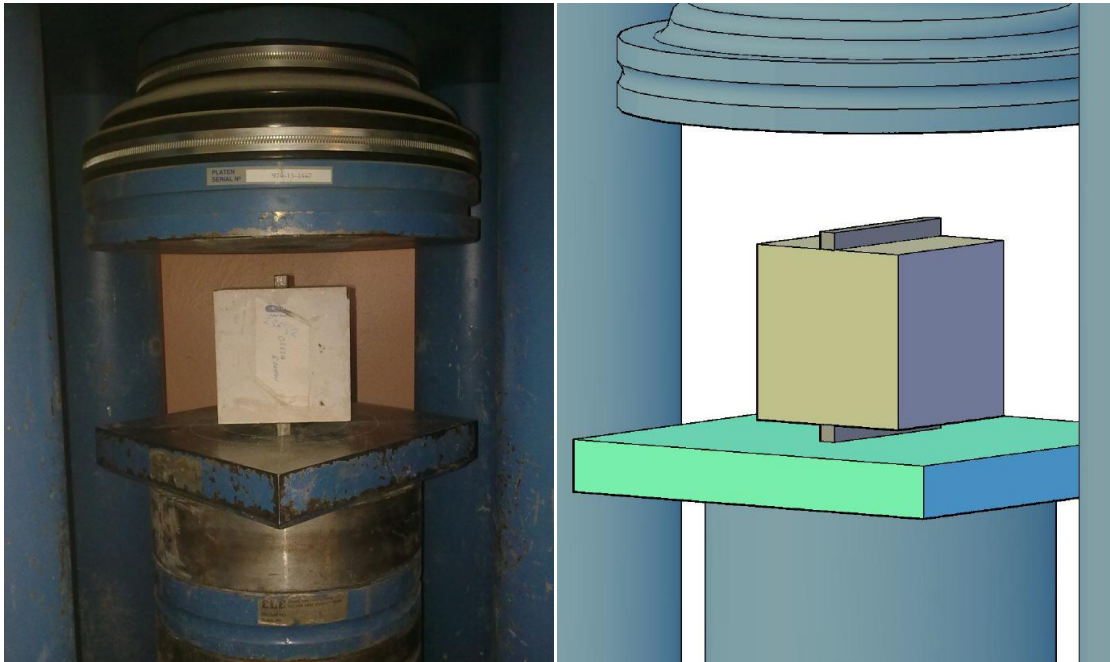
f_c = Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm²)

P = Kırılma yükü (N)

A = Kesit alanı (mm²)

5.5.3. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyi için 100x100x100 ebadında mm küp numuneler kullanılmıştır. Her yaş için 3'er adet numune olmak üzere 7, 14 ve 28 günlük dayanımlarına bakılmıştır. Numunelerin yarmada çekme dayanımı deneyi TS EN 12390-6 standardındaki hususlar dikkate alınarak uygulanmıştır [29]. Yarmada çekme dayanımı deneyinin uygulanmasında 3000 kN yükleme kapasiteli hidrolik yük kontrollü, dijital göstergeli otomatik pres kullanılmıştır. Pres tablasının merkezine 10x10x100 mm ölçülerindeki demir çubuklar ve numune Şekil 5.9'deki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.9. Demir çubuklar ve numunenin pres tablasına yerleştirilmesi

Kırım sonrası preste okunan değer aşağıdaki formülde yerine konularak numunenin, yarmada çekme dayanımı hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{Ç}} = \frac{2P}{\pi A} \quad (5.2)$$

$\sigma_{\text{Ç}}$ = Küp numunelerin yarmada çekme dayanımı (N/mm²)

P = Kırılmaya neden olan basınç yükü (N)

A = Kesit alanı (mm²)

5.5.4. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Eğilmede çekme dayanımı deneyi için 75x75x300 mm ebadında kiriş numuneler kullanılmıştır. Her yaş için 3'er adet numune olmak üzere 7, 14 ve 28 günlük dayanımlarına bakılmıştır. Numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi TS EN 12390-5 standardındaki hususlar dikkate alınarak üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kiriş metodu uygulanmıştır [30]. Eğilmede çekme dayanımı deneyinin uygulanmasında Şekil 5.10'daki yük kontrollü eğilmede çekme aleti kullanılmıştır.



Şekil 5.10. Yük kontrollü eğilmede çekme deney aleti

Yükleme sonrası preste okunan değer aşağıdaki formülde yerine konularak numunenin, eğilmede çekme dayanımı hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{PL}{bd^2} \quad (5.3)$$

σ_e = Eğilme dayanımı (N/mm²)

P = Kırılmaya neden olan basınç yükü (N)

L = Kirişin uzunluğu (mm)

b = Kiriş kesitinin eni (mm)

d = Kiriş kesitinin yüksekliği (mm)

5.5.5. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı

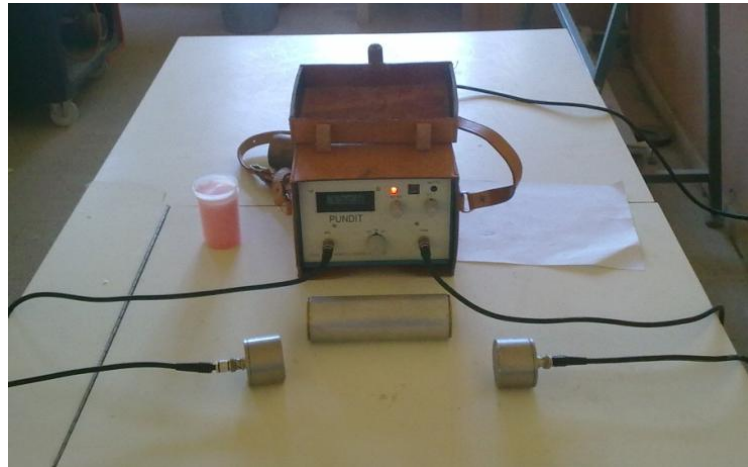
Numunelerin ultrasonik ses geçirgenlik hızları tespitinde Şekil 5.11'deki Pundit cihazı kullanılmıştır. Bu alet kullanılarak numunenin yüzeyleri arasında ses dalgasının geçiş süresi tespit edilmiştir. ses üstü dalga hızı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır;

$$V = (S/T).10^6 \quad (5.4)$$

V = Ses üstü dalga hızı (metre/saniye)

S = Dalga gönderilen yüzey ile dalga alınan yüzey arasındaki mesafe (metre)

T = Yüzeyler arasında dalganın geçiş süresi (mikrosaniye)



Şekil 5.11. Pundit cihazı

Ses üstü dalga hızı, betonun içerdiği boşluk miktarı ile bağlantılı olduğundan elde edilen ses üstü hız ile beton kalitesi hakkında genel bir ilişki kurulabilir. Whitehurst tarafından yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m^3 olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucu betonu, Tablo a15'e göre değerlendirmek mümkündür [1].

Tablo 5.5. Ultrasonik test yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi

Dalga Hızı (metre/saniye)	Beton Kalitesi
>4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Normal
2000-3000	Zayıf
<2000	Çok zayıf

5.5.6. Schmidt Beton Test Çekici Deneyi

Beton test çekici olarak adlandırılan ve Şekil 5.12'de gösterilen alet, sertleşmiş betonun yüzey sertliğini ölçerek basınç dayanımı hakkında tahmini bilgi verir. Bu alet “beton tabancası” veya “schmidt çekici” gibi isimlerle anılmaktadır.

7, 14 ve 28 günlük kürden çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında 5 saat kurumaya bırakılmıştır. Nemini kaybeden numunelere schmidt çekici ile belirli sayılarda vuruşlar yapılmıştır. Serilerin yüzey sertlikleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 5.12. Beton test çekici

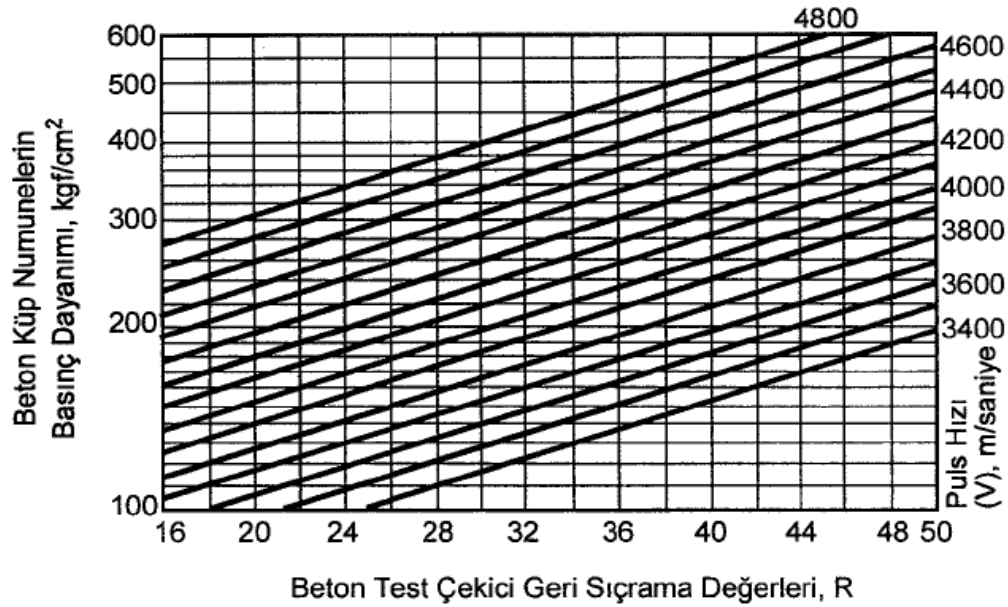
Beton test çekici ve ultrasonik cihazla elde edilen değerler, birbirini tamamlayıcı bilgilerdir. Betonda ölçülen geri sıçrama değerleri ile ses üstü değerlerini birlikte kullanarak betonun basınç dayanımını bulabilmek için aşağıdaki formül kullanılır. Formülde belirtilen ilişki Şekil 5.13’da grafik halinde gösterilmiştir [1].

$$\log f_c = 0.001149 R + 0.0003794 V + 0.4332 \quad (5.5)$$

f_c = Küp numunelerin basınç dayanımı, kgf/cm^2

R = Beton test çekiciyle elde edilen geri sıçrama sayısı

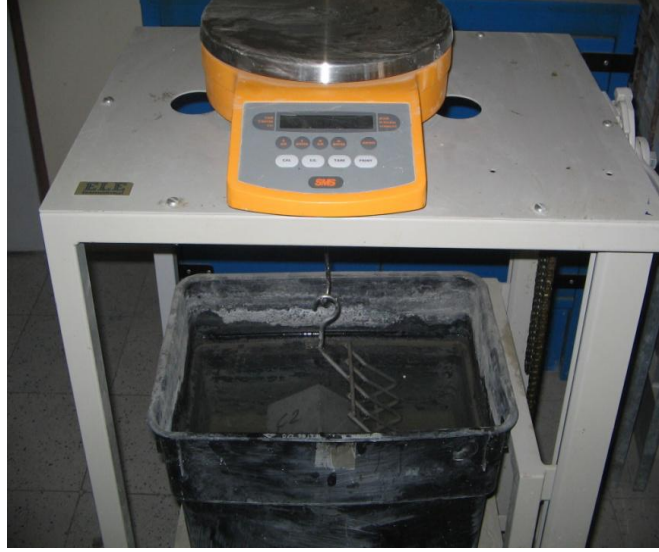
V = Ultrasonik cihazla elde edilen puls hızı, m/saniye



Şekil 5.13. Geri sıçrama sayısı ve pul hızı birlikte kullanılarak elde edilen basınç dayanımı [1].

5.5.7. Su Emme, Porozite, Birim Hacim Ağırlık ve Özgül Ağırlık Deneyi

Bu deneyler için 100 mm’lik küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler değişmez ağırlığa gelene kadar su içinde bekletilmiştir. Su altındaki ağırlıkları Şekil 5.14’deki deney düzeneği ile tartılmıştır. Sudan çıkarılıp doygün yüzey kuru hale getirilip tartılmıştır. Numuneler etüve bırakılarak değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkan numuneler tartılarak etüv kurusu ağırlığı bulunmuştur.



Şekil 5.14. Su altında ölçüm yapabilen terazi [10].

Tartımlar sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki formüllerde yerlerine konularak sonuçlar bulunmuştur;

$$\text{Su emme (\%)} = \left(\frac{W_{dyk} - W_o}{W_o} \right) \times 100 \quad (5.6)$$

$$\text{Görünür porozite (\%)} = \left(\frac{W_{dyk} - W_o}{W_{dyk} - W_1} \right) \times 100 \quad (5.7)$$

$$\text{Özgül ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \left(\frac{W_o}{W_{dyk} - W_1} \right) \quad (5.8)$$

$$\text{Numunenin hacmi (cm}^3\text{)} = \left(\frac{W_{dyk} - W_1}{998} \right) \times 1000 \quad (5.9)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \left(\frac{W_o}{H} \right) \quad (5.10)$$

W_{dyk} = Suyu doymuş kuru yüzey ağırlığı (gr)

W_o = Etüv kurusu ağırlık (gr)

W_1 = Su altındaki ağırlık (gr)

H = Numunenin hacmi (cm³)

5.5.8. Kapiler Su Emme Deneyi

Kapiler su emme deneyi her seri için 3 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numune 28 gün kürden sonra etüvde değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve laboratuvar ortamında soğumaya bırakılmıştır. Değişmez ağırlığa gelen numunelerin yan yüzeyleri parafin ile kaplanarak sadece alt yüzeyinden su emmesi sağlanmıştır [31]. Numuneler suya Şekil 5.15'deki gibi yerleştirilmiştir. Su seviyesi deney süresince beton alt yüzeyinden itibaren 5 mm olarak sabit tutulmuştur. Numuneler 0, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 1080 dk sürelerinde tartılarak kapiler su emme katsayıları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [32].

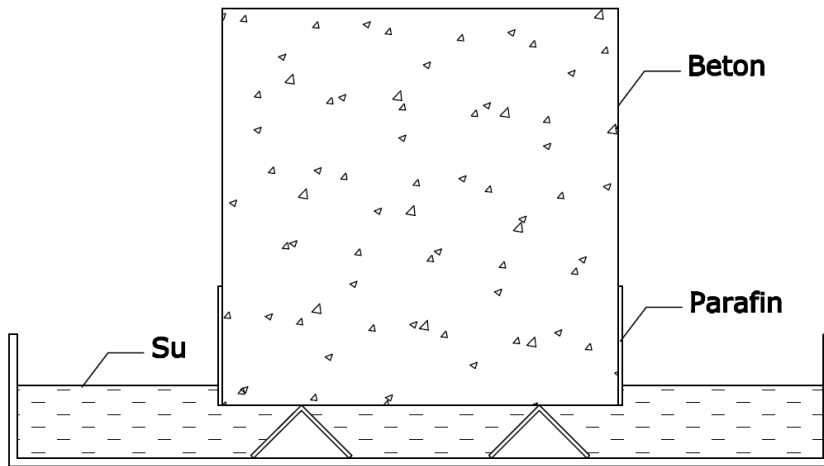
$$k = \frac{Q}{A \cdot \sqrt{t}} \quad (5.11)$$

k = Kılcallık katsayısı (cm/ $\sqrt{sn}$)

Q = Emilen su miktarı (cm³)

A = Suyla temas eden taban alanı (cm²)

t = Suyla temas ettiği süre (sn)



Şekil 5.15. Kapiler su emme deney düzeneği

5.5.9. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Yüksek sıcaklık deneyi ile, 100 mm'lik küp numunelerin sıcaklık etkisindeki ve soğuma sonrasındaki fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimler incelenmiştir. Numuneler 28 günlük kürden çıkarıldıktan sonra etüvde kurutulmuşlardır [33]. Etüvden çıkarılan numunelerin soğuması beklenerek Ultrasonik geçiş hızlarına bakılmıştır. Numuneler Şekil 5.16'deki 1200 °C kapasiteli Protherm HLF laboratuvar tipi fırında 1 saat bekleme süresi ile 100, 300, 500, 700, 900 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Her seri ve her sıcaklık için 3'er adet numune kullanılmıştır. Fırından çıkan numuneler laboratuvar ortamında soğuması beklenerek ultrasonik geçiş hızına bakılmış ve basınç dayanımı için preste kırılmıştır.



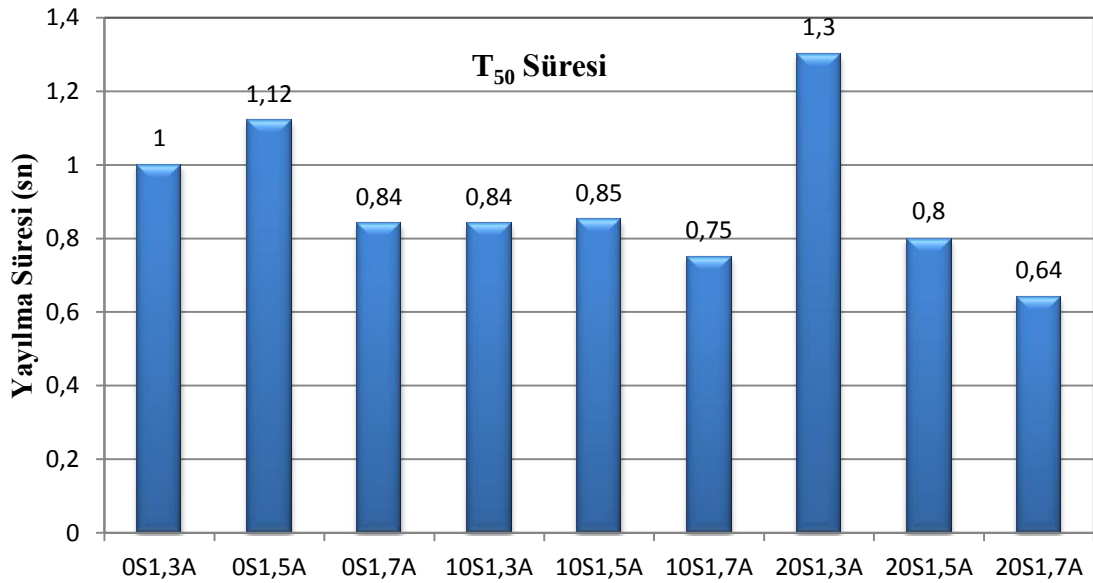
Şekil 5.16. Yüksek sıcaklık deneyleri için kullanılan fırın [10].

6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, hazırlanan 9 farklı karışımın taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla aralarında karşılaştırma yapılarak değerlendirilmiştir. Serilerin kodlanması şu şekilde yapılmıştır, baştaki rakam ve S harfi SD'nın miktarını, ikinci kısımdaki rakam ve A harfi ise akışkanlaştırıcı miktarını göstermektedir. (Örnek; 10S1,5A kodlu seri; % 10 Silis dumanı (SD), % 1,5 Akışkanlaştırıcı içeren bir karışımdır.)

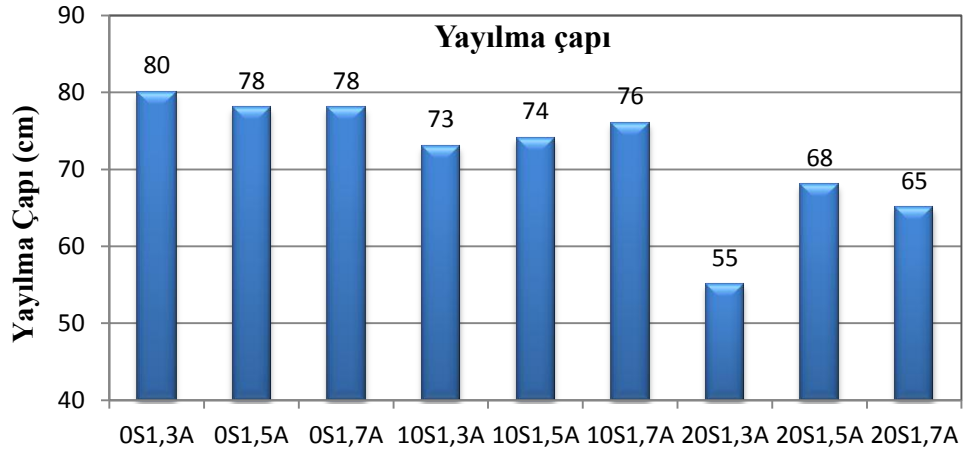
6.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Şekil 6.1'de serilerin T_{50} süreleri karşılaştırılmıştır. Karışım yeterli su ve akışkanlaştırıcı katkı oranına sahip ise, SD oranı arttıkça karışımın işlenebilirliği artacaktır. Akışkanlaştırıcı miktarı yeterli değilse, SD karışımın su ihtiyacını artıracığından yayılma süresi artacak, yayılma çapı azalacaktır. Şekil 6.1'de görüldüğü üzere, % 20 SD ve % 1.3 akışkanlaştırıcı içeren seri diğer serilere oranla yayılmasını geç tamamlamıştır. Bunun nedeni, karışımın akışkanlaştırıcı miktarı yeterli değildir. Diğer karışımlarda ise, akışkanlaştırıcı miktarı yeterli olduğundan SD arttıkça T_{50} süresi azalmıştır.



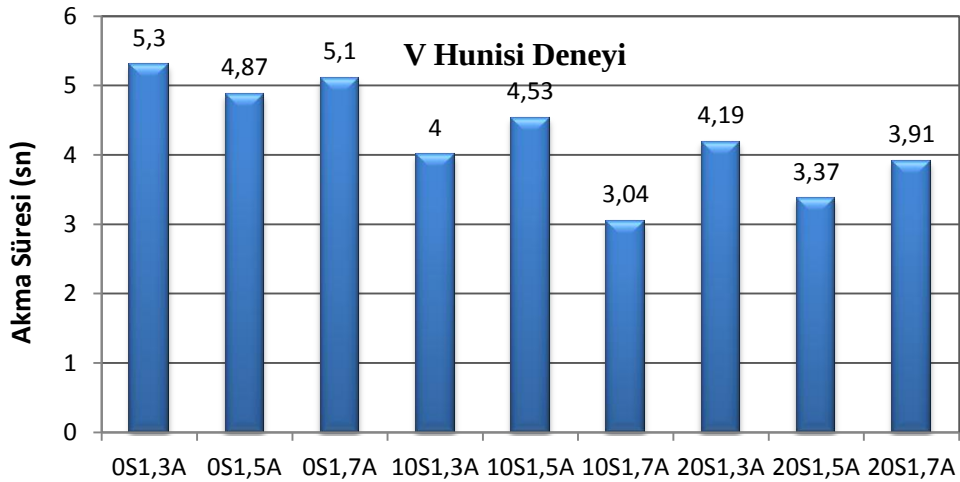
Şekil 6.1. Hazırlanan karışımların T_{50} süreleri

Şekil 6.2’de karışımlara ait yayılma çap ölçüleri verilmiştir. Bu değerler T_{50} süreleri ile ters orantılı olarak azalma göstermiştir. SD bulunmayan seriler yayılırken ayrışma meydana gelmiştir. % 10 SD bulunan karışımlarda optimum değerler elde edilmiş ve % 20 SD bulunan serilerde ise su ihtiyacından dolayı yayılma çapları düşmüştür. En iyi sonuç % 10 SD ve % 1.5 akışkanlaştırıcı içeren serilerde alınmıştır.



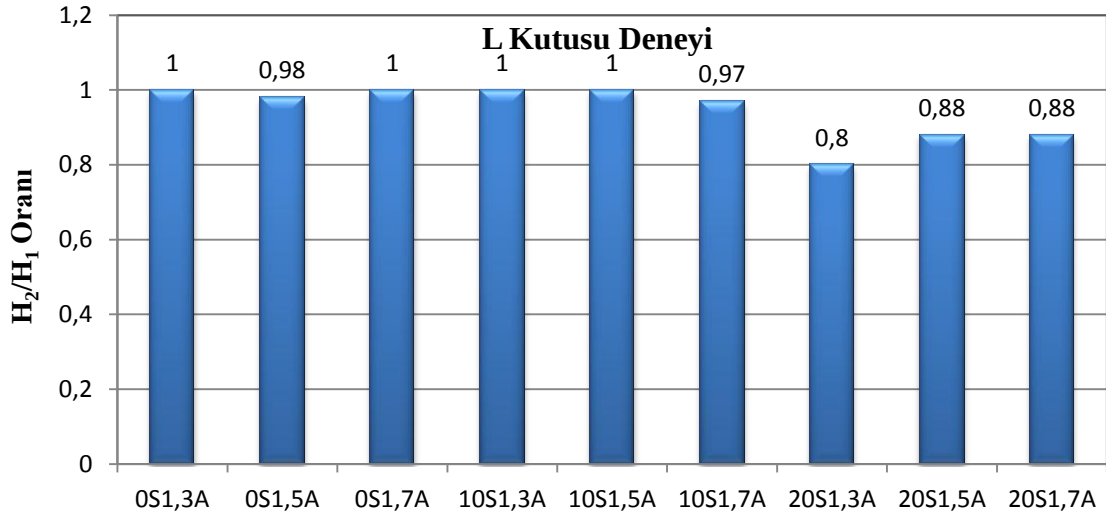
Şekil 6.2. Hazırlanan karışımların yayılma miktarları

V hunisi deneyinde, serilerin viskozite dirençleri arasında karşılaştırma yapabilmek için taze betonun V hunisinden geçiş süreleri ölçülmüştür. Akışkanlaştırıcı miktarı aynı, SD oranları % 10 olan serilerde en düşük akma süreleri ölçülmüştür. SD oranı azaldıkça işlenebilirlik düştüğünden akma süreleri artmıştır. SD artıkça işlenebilirlik artacak fakat su ihtiyacı da artacağından % 20 SD içeren serilerde akma süreleri artış göstermiştir (Şekil 6.3).



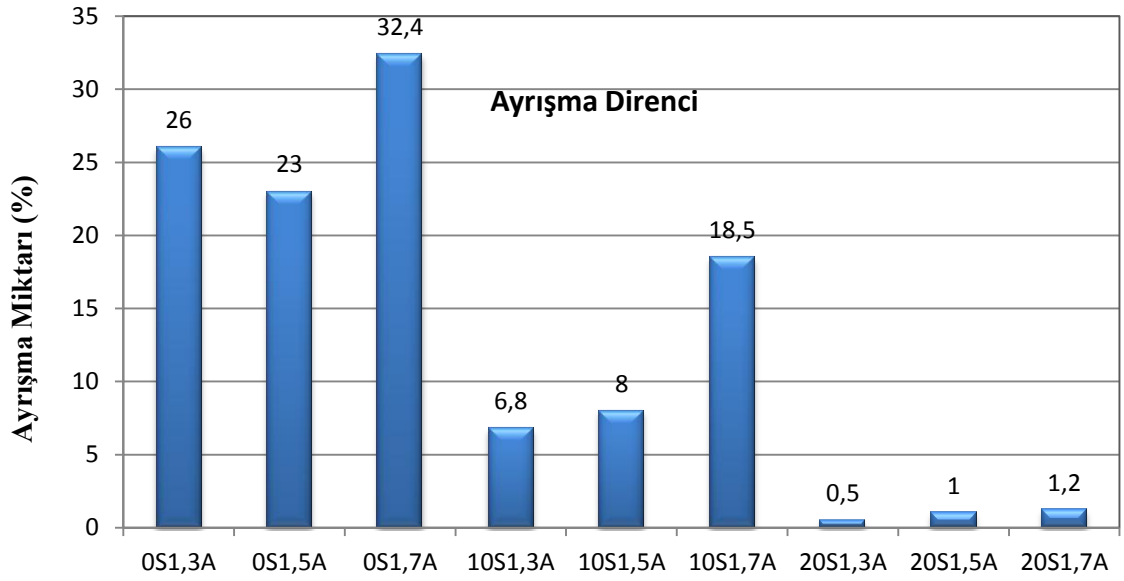
Şekil 6.3. Hazırlanan karışımların V hunisi akma süreleri

L kutusu deneyinde ise serilerin geçme kabiliyetleri karşılaştırılmıştır. % 20 SD içeren serilerin geçme kabiliyetleri yerleşebilirlik standartları içerisinde fakat diğeri serilere göre azdır. Bunun nedeni karışımın su ihtiyaı ve kohezyonunun yüksek olmasıdır. Diğeri serilerde görüldüğü gibi sonuçlar 1'e yakın değeriilerdir. Dolayısıyla, donatılar arası geçme kabiliyetleri yüksektir.



şekil 6.4. L kutusu deneyi için H₂/H₁ oranı

Kohezyonu yüksek olan ve SD oranına göre su miktarı az olan serilerde ayrışma gittikçe düşüş göstermiştir. Bir başka ifadeyle, SD oranı artıkça ayrışma azalmıştır. Akışkanlaştırıcı miktarı artıkça ise ayrışma artmıştır. şekil 6.5'de görüleceği üzere akışkanlaştırıcı miktarı % 1,7 ve SD oranı % 0 olan seride ayrışma miktarı yerleşebilirlik kriterlerinin dışına çıkmıştır. Bunun nedeni SD olmayınca su ihtiyaı düşecektir, su ihtiyaı yeterli olmayan karışımın akışkanlaştırıcı miktarı gereğinden fazla olması durumunda ayrışma olacağı aşıkardır. Akışkanlaştırıcı miktarının artışına bağlı olarak ayrışma miktarlarında artış gözlenmiştir.



Şekil 6.5. Karışımların ayrışma dirençleri

6.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Farklı katkı oranlarına sahip serilerin, sertleşmiş beton özellikleri olarak mekanik, fiziksel ve dayanıklılık özellikleri farklı deney yöntemleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deney sonuçları aralarında karşılaştırmalar yapılarak değerlendirilmiştir.

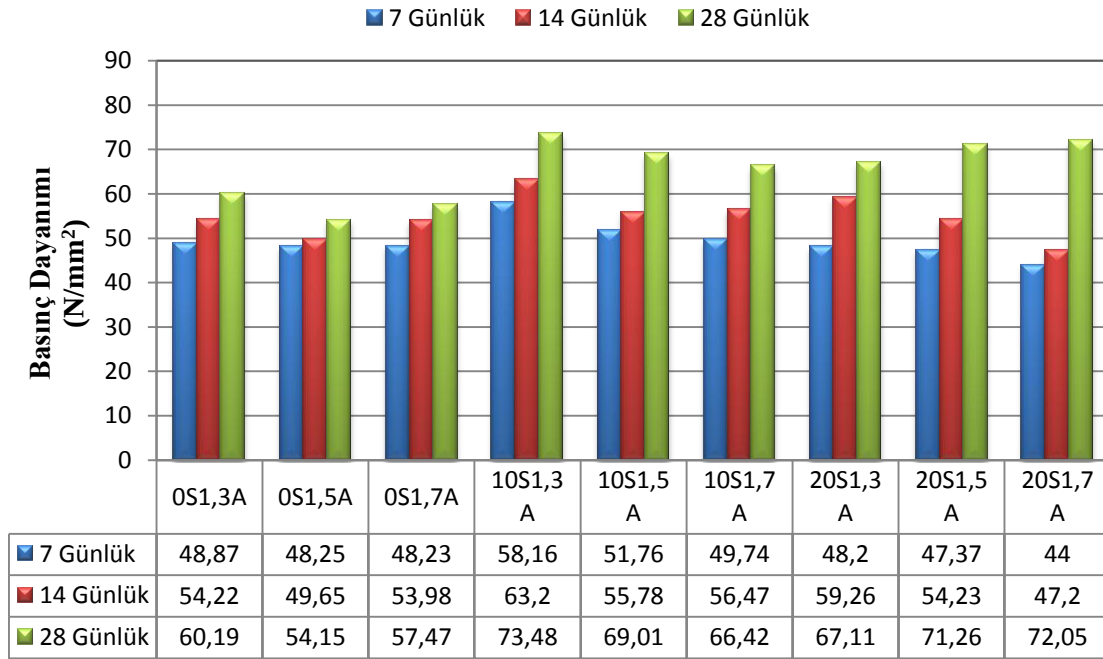
6.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi 7, 14 ve 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Ortalama 7 güne kadar % 70 dayanım, 7-14 gün arası % 8, 14-28 gün arasında ise % 22 dayanım artışıyla 28 günlük dayanımını tamamlamıştır (Şekil 6.6). Dayanımının büyük kısmını ilk günlerde kazanmıştır. Pozolanik reaksiyon hızı yüksek olan SD sulu ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyonu sonucu C-S-H jellerinin oluşmasıyla kristal yapı oluşumuna katkıda bulunarak erken dayanımı dolaylı yoldan artırıcı etkisi vardır [35]. Katkı olarak SD, pozolanik etkinin yanı sıra boşlukları doldurma özelliği ile de basınç dayanımını artıracaktır. Bu nedenle SD oranı fazla olan serilerde basınç dayanımı fazla olacaktır. Basınç dayanımı üzerine, taze beton kriterleri de etkili olacaktır. Eğer yerleşebilirlik sağlanamamışsa veya sınır değerlerde kalmış ise, kalıba tam sıkışma ve yerleşme sağlanamayacağından basınç dayanımı düşecektir. Porozite değeri ve katkı oranı birlikte değerlendirilerek basınç dayanımı hakkında yorum yapılabilir. Şekil 6.12’de porozite

değerlerine göre SD içermeyen serilerin boşluk oranı fazla olduğundan basınç dayanımları, SD katkılı serilere göre düşük çıkacaktır.

SD oranı arttıkça yerleşme miktarı arttığından, akışkanlaştırıcı miktarına bağlı basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Basınç dayanımı için en yüksek değer % 10 SD ve % 1.3 akışkanlaştırıcı katkı içeren seride alınmıştır. Sonuçlar elek ayırışma direncinde çıkan sonuçlarla doğru orantılıdır. Akışkanlaştırıcı miktarının artırılması ayırışmaya sebep olduğundan basınç dayanımı düşüşe geçmiştir. % 20 SD içeren serilerin kohezyonu ve ayırışmaya karşı dirençleri fazla olduğundan ayırışma miktarları düşüktür, dolayısıyla akışkanlaştırıcı miktarının artmasıyla, basınç dayanımları artmıştır.

Serilerde SD'nın artmasıyla, 7 ile 28 günlük dayanımlar arasındaki fark SD içermeyen serilere oranla daha fazladır. SD içeren seriler, SD içermeyen serilere göre basınç dayanımları ileriki yaşlarda artış göstermiştir. Bunun nedeni, SD içeren çimento hamuru ile agregalar arasındaki aderans, sertleşmeye bağlı olarak artmasıyla basınç dayanımlarının artmasıdır.

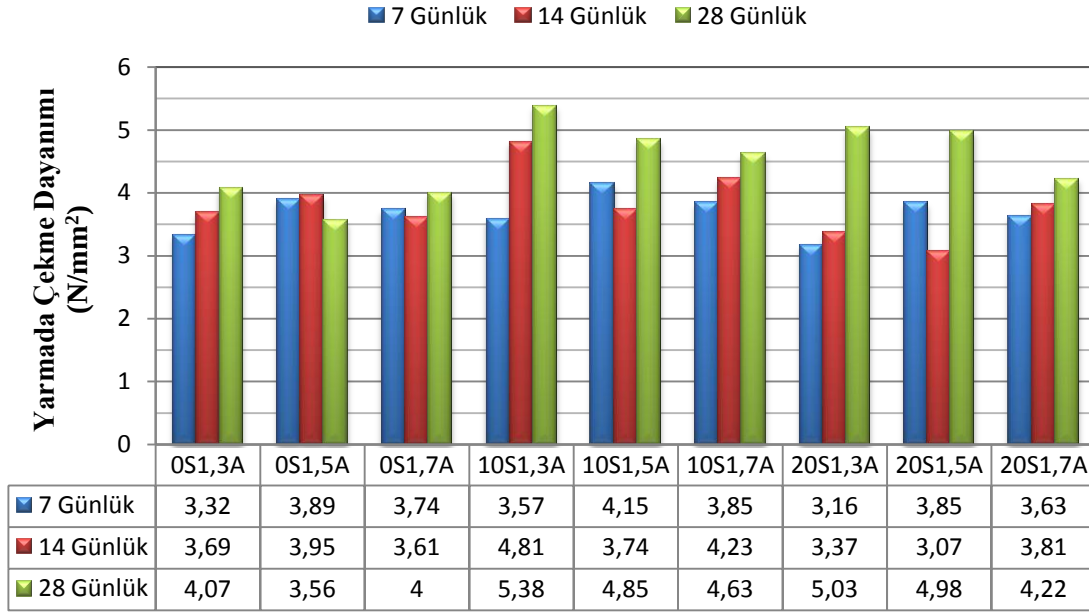


Şekil 6.6. Serilerin 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları

6.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada çekme dayanımı, genel olarak basınç dayanımı grafiğiyle benzerdir. SD çimento hamurundaki mikro düzeydeki boşlukları doldurarak, agregalarla çimento hamuru

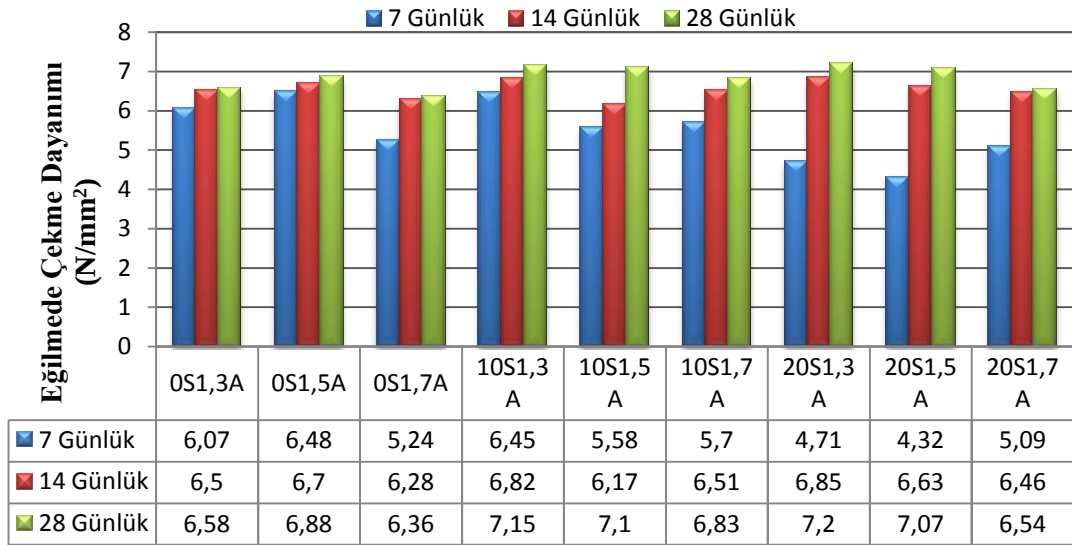
arasındaki aderansı kuvvetlendirir [34]. Beton numunesi sertleştikçe aderans artacağından yarmada çekme dayanımı değerleri yüksek çıkacaktır. Şekil 6.7’de görüldüğü üzere SD miktarı arttıkça yarmada çekme dayanımı artış göstermiştir. Fakat, ayrışma oranı düşük olan numuneler yani, % 10 SD içeren numunelerin yarmada çekme dayanımları en yüksektir. Akışkanlaştırıcı miktarı arttıkça ayrışmanın artmasına bağlı olarak ise dayanımlar düşüşe geçmiştir.



Şekil 6.7. Serilerin 7, 14 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları

6.2.3. Eğilmede Çekme Deneyi

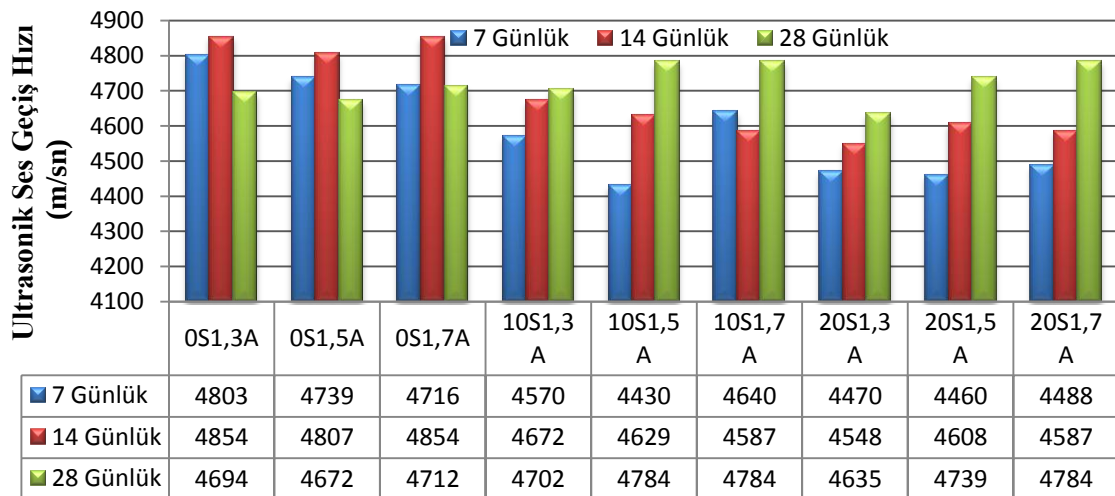
Serilerin, birim ağırlıklarının düşmesi ve porozite değerinin artması eğilmede çekme dayanımının düşmesine sebep olacaktır. Seriler Eğilmede çekme dayanımlarının büyük bir kısmını 7 günde tamamlamışlardır. Yalnız, % 20 SD içeren seriler, diğer serilere oranla 7 günlük dayanımından 14 günlük dayanımına kadar eğilmede çekme dayanımları daha fazla artış göstermiştir. Bunun nedeni ise yerleşebilirlik ile SD’nın agrega ile bağlayıcı hamur arasında aderansı artırmasıdır. SD içeren serilerde, akışkanlaştırıcı miktarının artmasıyla eğilmede çekme dayanımında düşüş görülmektedir (Şekil 6.8). SD oranı fazla olan serilerin sertleşme hızları yavaştır. Schmidt geri sıçrama sayılarında da görüldüğü üzere, 7 gün içinde yüzey sertliği en az olan % 20 SD içeren serilerdir. Yüzey sertliği ile numunenin sertleşip, aderansının artması doğru orantılıdır. % 20 SD içeren serilerin, ilk günlerde eğilmede çekme dayanımının düşük çıkmasının sebebi de budur.



Şekil 6.8. Serilerin 7, 14 ve 28 günlük eğilmede çekme dayanımları

6.2.4. Ultrasonik Geçiş Hızı

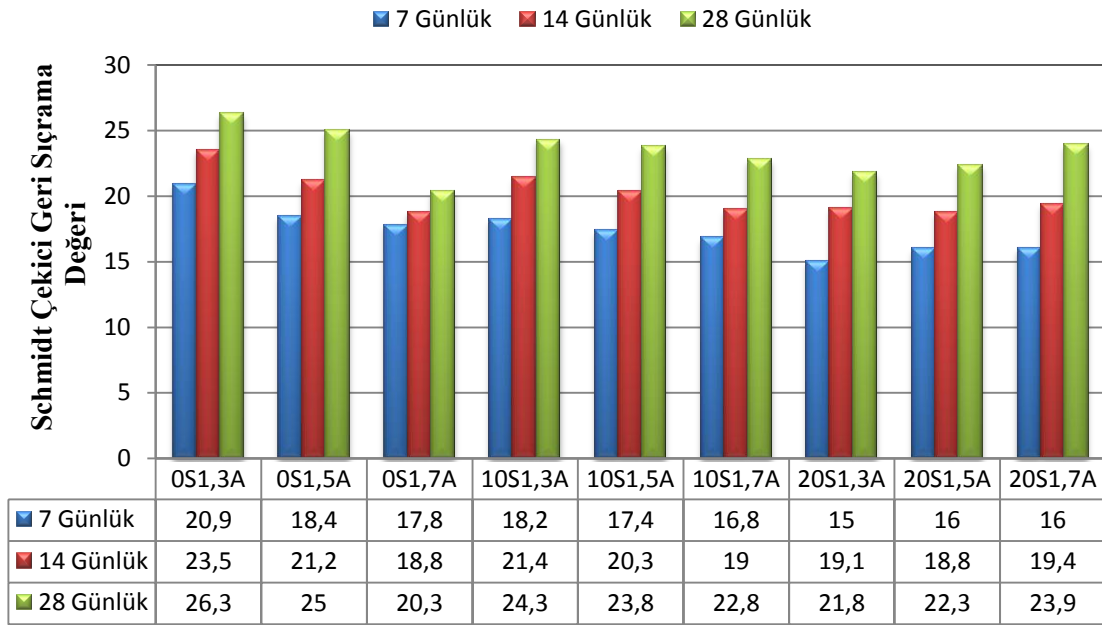
Ultrasonik geçiş hızları 7, 14 ve 28 günlük ölçümler olarak Şekil 6.9’da gösterilmiştir. Ultrasonik geçiş hızı, porozite değeri ile ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Akışkanlaştırıcı miktarının artmasıyla yerleşebilirlik artığından, numune yüzeyleri arasında dalganın geçiş süresi azalarak ses üstü dalga hızı artış göstermiştir. Sonuçlar Tablo 5.4’de yerine konulup karşılaştırılınca, serilerdeki beton kalitesinin “mükemmel” olduğu görülmektedir. Betonun içyapısında oluşabilecek mikro seviyedeki çatlaklar SD kullanımıyla artacağından, serilerin ses üstü dalga hızları düşmüştür. Yani, yüzeyler arasında dalganın geçiş süresi artmıştır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Serilerin 7, 14 ve 28 günlük ultrasonik ses geçiş hızları

6.2.5. Schmidt Çekici Deneyi

Schmidt çekici 7, 14 ve 28 günlük numuneler uygulanmıştır. Schmidt çekici geri sıçrama değeri ayrışma probleminden etkilenmediği görülmüştür. Bazı serilerde işlenebilme ve yerleşmenin azalması sonucu iyi bir sıkışma sağlanamadığında değerlerde düşme görülmektedir. % 20 SD içeren serilerde akışkanlaştırıcı miktarının artmasıyla yerleşme artacağı için schmidt değerleri akışkanlaştırıcı miktarına paralel artış göstermiştir. % 10 SD içeren serilerde ise en yüksek değer 10S1,3A serisinden alınmıştır. Şekil 6.10'da görüldüğü üzere; % 10 SD içeren serilerde ihtiyaçtan fazla akışkanlaştırıcı kullanılması halinde schmidt değerleri düşüş göstermiştir.

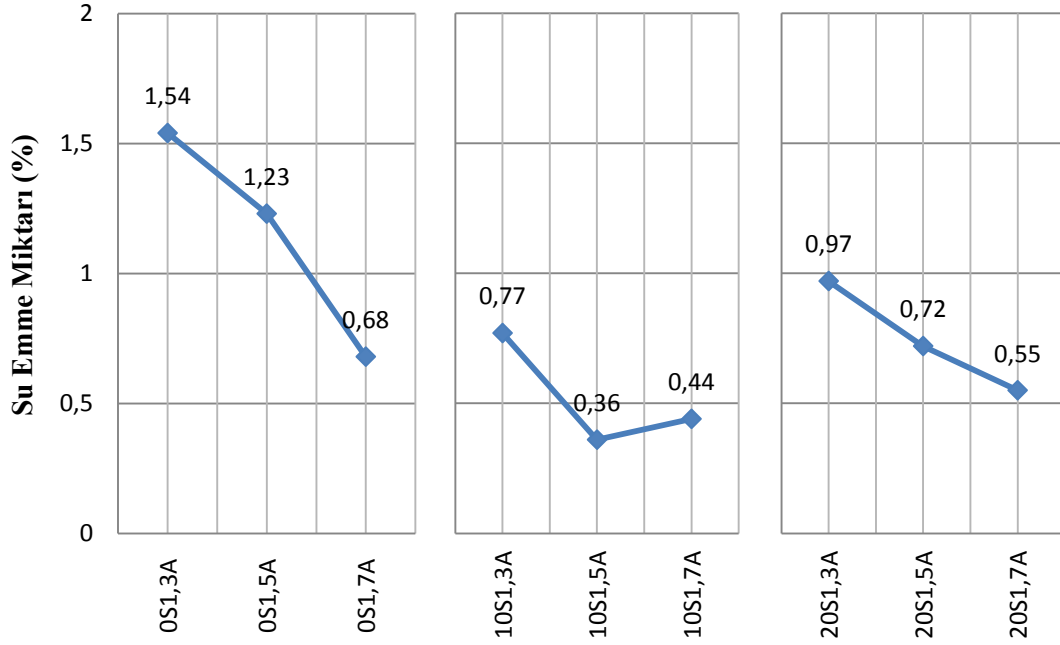


Şekil 6.10. Serilerin 7, 14 ve 28 günlük schmidt değerleri

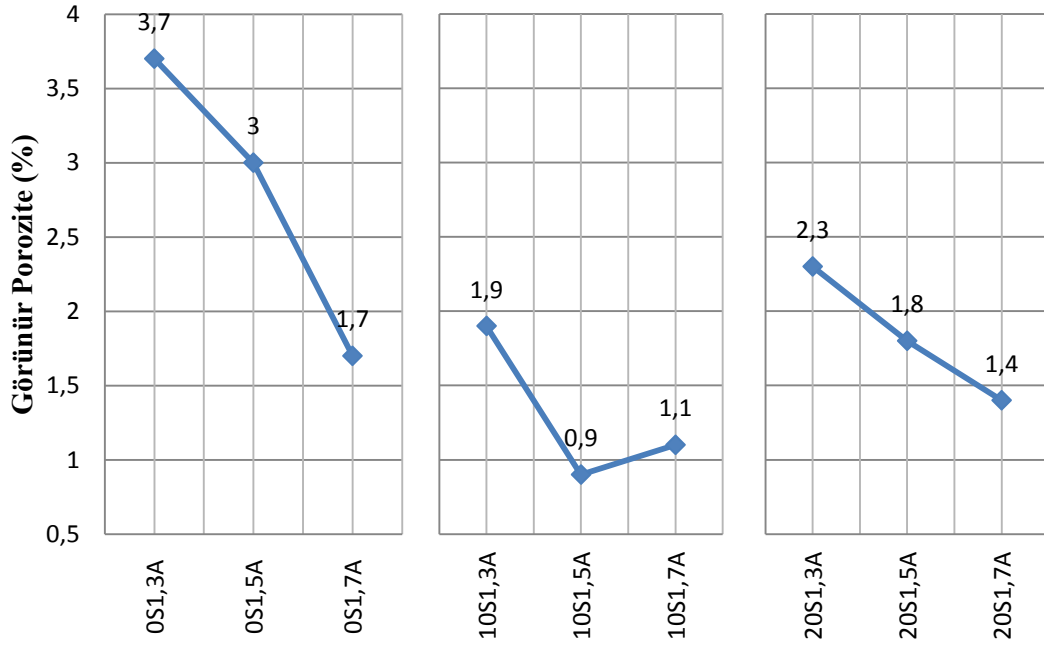
6.2.6. Su Emme Deneyi

Su emme deneyi 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Şekil 6.11'de görüldüğü üzere, en iyi sonuç 0S1,5A olan seride alınmıştır. Beton numunesinin su emme miktarı, boşluk oranıyla doğrudan ilişkilidir. Su emme miktarı, % 10 SD içeren karışımlarda en düşük seviyededir. Bunun nedeni en iyi yerleşebilirliğin sağlandığı ve ayrışma miktarının düşük olmasıdır. SD, çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansı artırıp, filler malzeme olarak etki yaratması, boşluk oranını düşürecektir. Bu bilgiler ışığında % 20 SD içeren serilerin boşluk oranının daha düşük olması beklenmektedir fakat SD kullanımı optimum

miktardan fazla olduğu durumlarda beton bünyesinde kılcal çatlaklar oluşacak ve yerleşebilirlik miktarı düşecektir. Bundan dolayı, % 10 SD kullanımı optimum değerdir. Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de görüldüğü üzere; % 10 SD oranı dışına çıkıldıkça porozite değeri artmasıyla, su emme miktarı da artış göstermiştir.

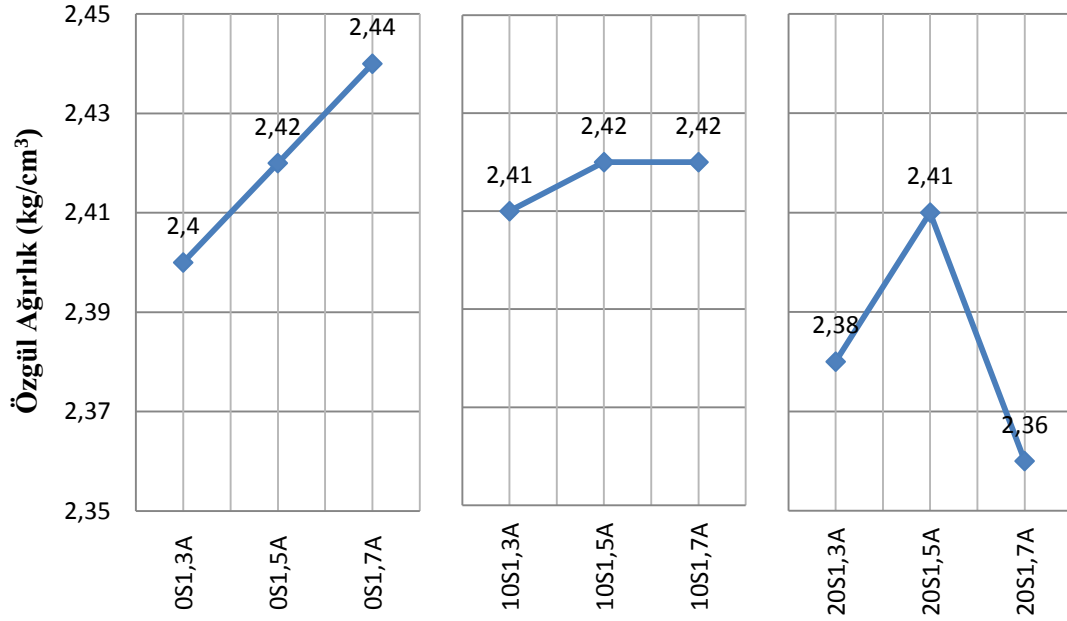


Şekil 6.11. Serilerin su emme miktarları

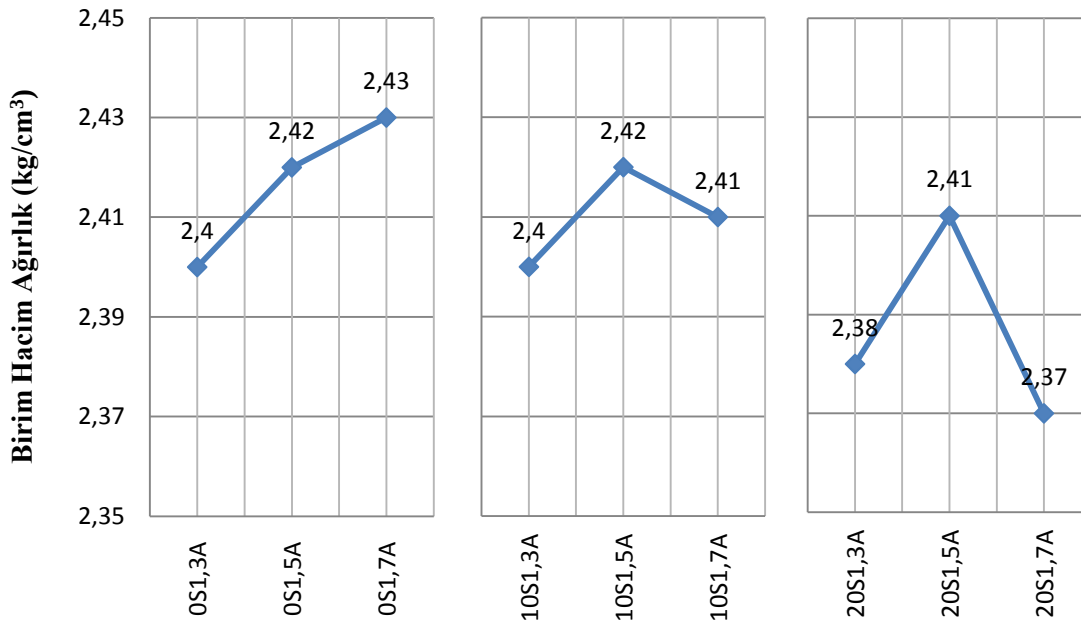


Şekil 6.12. Serilerin görünür porozite değerleri

Numunelerin, özgül ağırlıkları ve birim hacim ağırlıkları birbiriyle ilişkili değerlerdir. Su emme miktarı az olan, yani boşluk miktarı az olan numunelerin özgül ağırlıkları ve birim hacim ağırlıkları fazladır. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te görüldüğü üzere, serilerin özgül ağırlıkları ve birim hacim ağırlıkları, % 20 SD içeren serilerde düşüş göstermiştir.



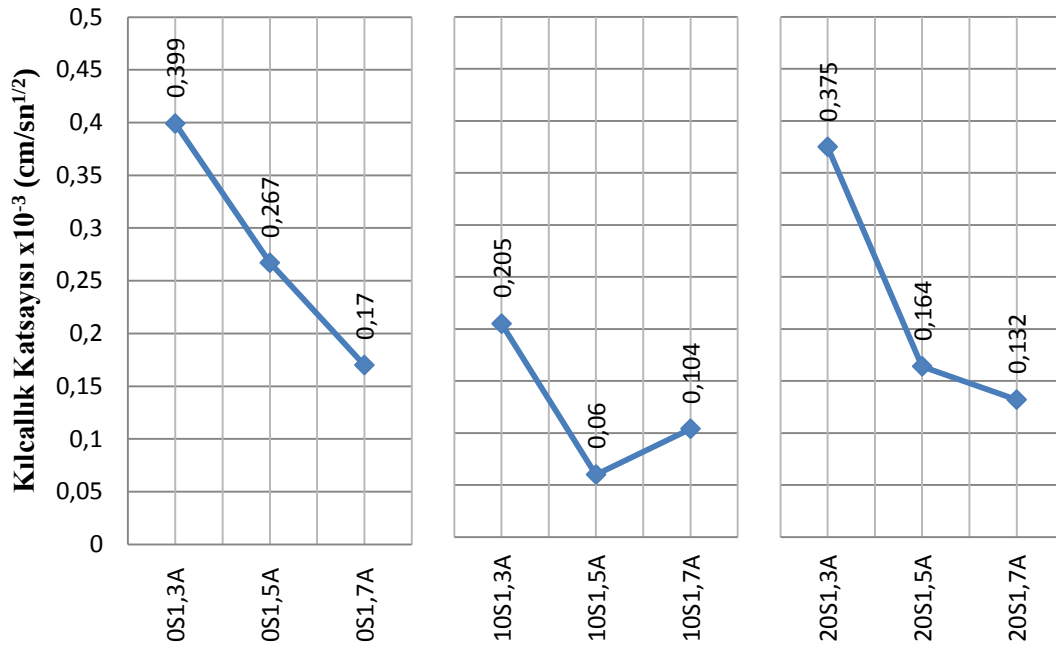
Şekil 6.13. Serilerin özgül ağırlıkları



Şekil 6.14. Serilerin birim hacim ağırlıkları

6.2.7. Kapiler Su Emme Deneyi

Kılcal su emme katsayısı Şekil 6.15'te görüldüğü gibi, bünyesine en az su absorbe eden seri 10S1,5A olan seridir. Bunun nedeni akışkanlaştırıcı oranı ile SD katkısı oranının optimum değerlerde kullanılmasıdır.

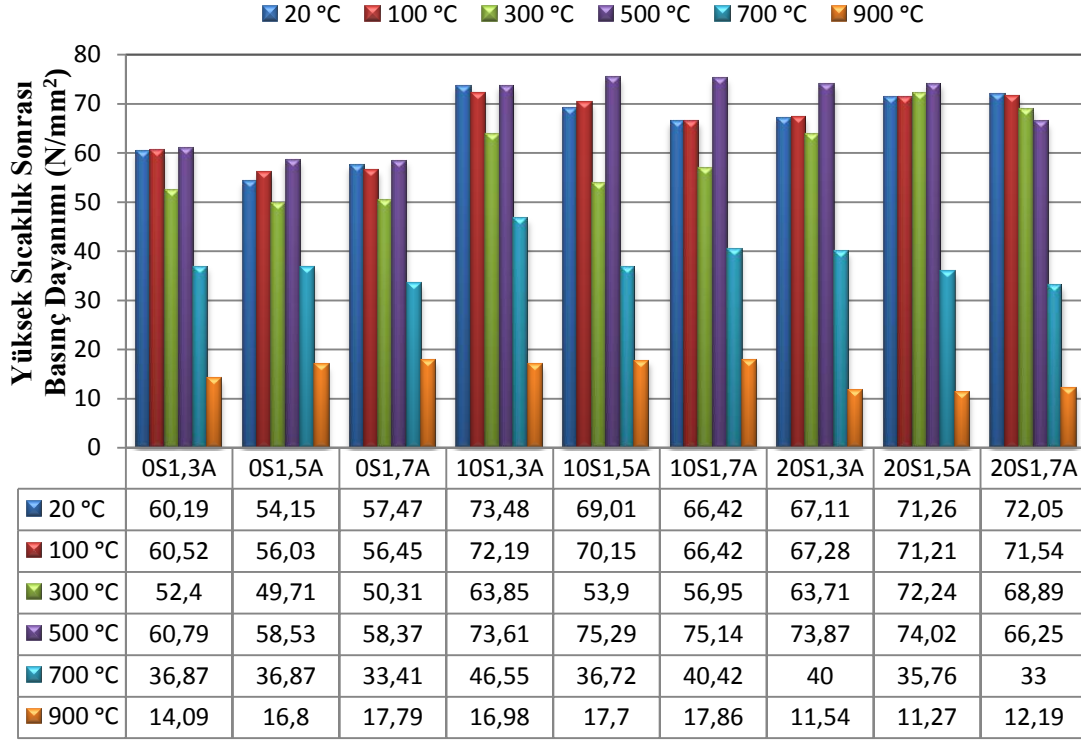


Şekil 6.15. Serilerin kapiler su emme miktarları

6.2.8. Yüksek Sıcaklık Deneyi

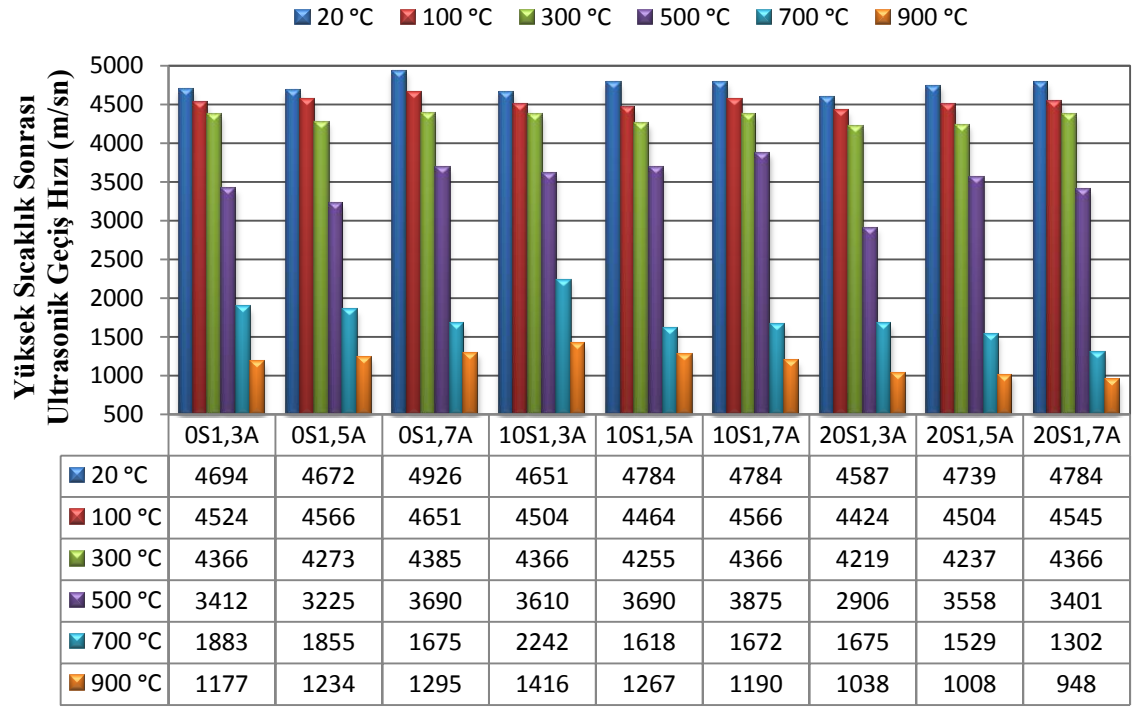
SD, çimento hidratasyonu süresince serbest kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek betonun basınç dayanımının gelişiminde etkili olur [36]. Şekil 6.16'da görüldüğü üzere SD katkısı içeren serilerin basınç dayanımları daha yüksektir. 20°C ve 100°C sıcaklıkta numunelerin basınç dayanımları aynıdır. 300°C sıcaklıkta numunelerin basınç dayanımında önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. Tüm numunelere eşit ortam ve koşullar sağlandı fakat 300°C sıcaklığa maruz kalacak numunelerin içerisindeki nem oranının fazla olmasından dolayı basınç dayanımında düşüş olduğu tahmin edilmektedir. 500°C sıcaklıkta, numunelerin basınç dayanımlarında artış görülmektedir. Bunun nedeni SD'ndan kaynaklanan malzemenin iç yapısıyla alakalı olduğu görülmektedir. 700°C sıcaklıkta, numuneler basınç dayanımlarının % 40 ila 50'si kadarını kaybetmiştir. 900 °C'de ise dayanımlarının % 70'ini kaybetmişlerdir. 900°C sıcaklıktan en çok etkilenen seri % 20 SD

içeren seridir. Burada akışkanlaştırıcı miktarına bağlı olarak basınç dayanımlarında düşüş görülmektedir. SD katkılı seriler, katkısız serilere oranla sıcaklığa daha fazla dayanıklılık göstermiştir. En yüksek basınç dayanımı % 10 SD, % 1,5 akışkanlaştırıcı katkı içeren seriye aittir.



Şekil 6.16. Serilerin yüksek sıcaklık sonrası kalan basınç dayanımları

Yüksek sıcaklık sonrası, ultrasonik geçiş hızının belirlenmesi ile numunelerde oluşan tahribat miktarı ölçülmüştür. Şekil 6.17’de görüldüğü gibi, sıcaklık artışı ile ultrasonik geçiş hızında azalma olmuştur. Bunun nedeni betonun içyapısında su buharlaşması sonucu oluşan boşluklarda ses üstü dalga hızının, dalganın verildiği ile alındığı yüzeyler arasında yavaş geçiş yapmasıdır. 500 °C sıcaklıktan sonra ultrasonik geçiş hızı ani olarak azalmıştır. Bunun nedeni, 700 °C ve 900 °C de CSH jellerinin yapısı hasar gördüğünden geçiş hızı ani olarak azalma göstermiştir. Betonun kapiler boşluklarındaki suyun, sıcaklığa bağlı olarak buharlaşması sonucu betonun bünyesinde birtakım çatlakların oluşması nedeniyle de ultrasonik geçiş hızları düşüşe uğramıştır.



Şekil 6.17. Serilerin Yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik geçiş hızları

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KYB'lerde akışkanlaştırıcı katkı miktarı ve filler malzeme olarak SD'nın, betonun, taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılan deneyler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Taze beton deneyleri için en uygun değerlerin % 10 SD içeren serilere ait olduğu görülmüştür. % 20 SD içeren serilerin işlenebilmesinin artması beklenirken, su ihtiyacından dolayı donatılar arası geçiş değeri, yayılma çapı düşük çıkmıştır. SD olmayan serilerde ise ayrışma olduğu için önerilmemektedir. SD'nın optimum kullanım değeri, dozajın % 10'u kadardır.

Akışkanlaştırıcı kullanımı ise, % 1,3 kullanım oranı karışımlar için yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. % 10 SD içeren serilerde değerler biraz daha iyi olmasına karşılık % 20 SD içeren serilerde % 1,3 akışkanlaştırıcı kullanımı karışım için yeterli olmamaktadır. % 1,7 kullanımı ise, karışımın akışkanlaştırıcı ihtiyacının üstündedir. Karışımın doyum noktası % 1,5 akışkanlaştırıcı miktarı ile sağlanmıştır. Doyum noktası üstündeki değerlerde ayrışma olduğu görülmüş, altındaki değerlerde ise kıvam problemleri ortaya çıktığı görülmüştür.

SD kullanımı basınç dayanımlarını artırmıştır. Yüksek değerlere % 10 SD oranıyla ulaşılmıştır. % 10 SD ve akışkanlaştırıcı miktarı % 1,3 olan serinin basınç dayanımının yüksek olduğu görülmektedir. Akışkanlaştırıcı miktarının artmasına paralel olarak basınç dayanımında düşüş olmuştur. % 20 SD kullanımında da basınç dayanımları yüksektir, fakat % 10 SD içeren serilerin basınç dayanımlarını pek geçememişlerdir. % 20 SD kullanımında akışkanlaştırıcı miktarının artmasıyla yerleşme arttığı için basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Burada % 10 SD oranından daha fazla SD kullanımının basınç dayanımına ek bir katkısı olmadığı gözlenmiştir.

Su emme miktarları taze beton özelliklerine paralellik göstermektedir. Bunun nedeni, yerleşebilirlik özellikleri yüksek olan serilerde boşluk oranının az olmasıdır. Boşluk oranına bağlı olarak numunelerin geçirimsizlik miktarları artmıştır. Geçirimsizlik oranı, % 10 SD kullanımı ile minimize edilmiştir.

Yarmada çekme dayanımı, SD kullanımıyla artış göstermiştir. C-S-H jellerini oluşturarak aderansı ve dayanımı artırdığı görülmektedir. En Yüksek değerler % 1,3

akışkanlaştırıcı kullanımı ile elde edilmiştir. Tüm serilerde akışkanlaştırıcı katkı oranının artışı ile yarmada çekme dayanımında düşüş olduğu görülmektedir.

KYB iyi bir sıkışmış beton olduğu için yüksek sıcaklığa karşı dayanım göstermiştir. Yüksek sıcaklık dayanımı sonuçlarına göre, SD içeren serilerde 500 °C’de basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Bu dayanım boşluk oranının az olmasıyla sağlanmıştır.

KYB’larda akışkanlaştırıcı katkı ve mineral katkı oranları iyi dizayn edilirse yüksek performanslı betonlar elde edilebilir. Bu betonlar üstün dayanım ve dayanıklılığa sahip olur. KYB ile yüksek dayanımlı betonlar elde etmenin en önemli avantajı, ekonomik ve enerji ihtiyacının az olmasıdır.

Sonuç olarak, akışkanlaştırıcı ve mineral katkı oranı değişiminin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisinin büyük olduğu görülmüştür. Sertleşmiş beton özelliklerinin çoğu, taze beton özelliği olan yerleşebilirlik ile doğrudan orantılı olduğu görülmüştür. Taze beton özellikleri olarak en iyi sonuçlar 10S1,5A kodlu seride alınmıştır. Dolayısıyla yerleşme, sıkışma, ayrışma ve yayılma miktarına bağlı olarak sertleşmiş beton deneylerinde en iyi sonuçlar bu seride alınmıştır. Akışkanlaştırıcı miktarının fazla olması durumu ise su ihtiyacının arttığı karışımlarda olumlu etki göstermiştir. Onun haricinde akışkanlaştırıcı oranının, % 1,5’ten fazla olması karışımın doyum noktası üzerinde olduğu için olumsuz etkileri görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalarda kendiliğinden yerleşen betonlardaki katkı çeşidi ve kullanım oranları değiştirilmek kaydıyla elde edilen karışımlar arasında karşılaştırma yapılabilir. Sonucunda ise katkı oranları değişiminin etkisi yanında katkı çeşidi değişiminin betondaki etkileri incelenebilir. Katkı çeşidi olarak ise atıl durumdaki malzemelerden elde edilen filler malzemeler kullanılabilir. KYB içerisindeki silis dumanının yüksek sıcaklık deneyi sonucu gösterdiği etki tek konu başlığı altında incelenebilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan, T.E., 2003. Beton, Metu Press, Ankara.
- [2] Felekoğlu, B., 2003. Kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [3] Artık, K., 2009. Kendiliğinden yerleşen betonda farklı agregaların beton özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [4] Günaydın, M., 2006. Nevşehir bims agregasından kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [5] Akarsu, M., 2009. Kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki temel özellikleri ve sülfat direnci üzerine iri agrega çeşidi ve çimento tipinin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [6] Ozawa, K. Mackawa, K. And Okumura, H., 1989. High performance concrete based on the durability of concrete, Proceedings of the 2nd East Asia Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 1, ss. 445-456.
- [7] Sarıdemir, H., 2006. Mineral ve süper akışkanlaştırıcı katkılarının kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilme ve basınç dayanımına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [8] Duyar, O., 2007. Kendiliğinden yerleşen beton; tanımlar, dizayn yöntemi, deney metotları, International Earthquake Symposium, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 22-26 Ekim, ss. 432.
- [9] Collepardi, M., Olagot, O.J., Skarp, U., Troli, 2002. Influence of amorphous colloidal silica on the properties of self compacting concretes, Proceedings of the International Conference, University of Dundee, Scotland, 9-11 September, pp. 473-483.
- [10] Gönen, T., 2009. Kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif betonun mekaniksel ve durabilite özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [11] Özgüler, A.T., 2007. Kendiliğinden yerleşen betonların mekaniksel özelliklerine agrega tipinin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [12] Efnarc 2005. The Europea guidelines for self compacting concrete, SCC European Project Group, May 2005.
- [13] Ovarlez, G. Roussel, N., 2006. A physical model for the prediction of lateral stress exerted by self compacting concrete on formwork, Rilem Technical Committees, France, 3 August, 39, pp. 269-279.
- [14] Türkiye Hazır Beton Birliği., 2007. Kendiliğinden yerleşen beton klavuzu, Nisan 2007.
- [15] Uygunoğlu, T., 2008. Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [16] Topçu, İ.B., Canbaz, M., 2001. Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, XIV (2), ss. 11-23.
- [17] Gürses, O., 2008. Kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri ve uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [18] Yanar, M.T., 2007. Effects of mineral admixtures on the properties of self compacting concretes, M. Sc. Thesis, Gaziantep University Graduate School of Natural & Applied Sciences, Gaziantep.
- [19] Su, J.K., Cho, S.W., Yang, C.C., Huang, R., 2002. Effect of sand ratio on the elastic modulus of self compacting concrete, Journal of Marine Science and Technology, 10 (1), pp. 8-13.
- [20] Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, U.A., Özkul, M.H., 2004. Kendiliğinden yerleşen beton ve katkı çimento uyumu, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 10-12 Haziran, ss. 213-224.
- [21] Türkel, S., Felekoğlu, B., 2004. Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir, Ocak 2004, 6 (1), ss. 77-89.
- [22] Kocataşkın, F., 1995. Permeability of Concrete, Bülten of Technical University of İstanbul, 8, ss. 50-56.

- [23] Alyamaç, K.E., 2008. Kendiliğinden yerleşen betonun lineer olmayan kırılma mekanığı prensipleriyle incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [24] Bozkurt, N., 2009. Fiber takviyeli kendiliğinden yerleşen betonun mekanik ve durabilite özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [25] Walraven, J., 2003, Stuctural Aspects of self compacting concrete, Proceeding of 3rd International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland.
- [26] TS EN 1008, 2003, Beton - Karma Suyu - Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [27] TS EN 12390-3, 2003. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- [28] Tanyıldızı, H., 2006, Beton tipi ve donatı boyutlarının beton ve çelik yüzeyler arası dayanıma etkisinin kür şartları altında incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [29] TS EN 12390-6, 2003. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinde Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- [30] TS EN 12390-5, 2003. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- [31] Koçak, Y., Subaşı, S., Emiroğlu, M., 2011. Uçucu külün betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (1), ss. 14-27.
- [32] Nusret, B., 2010. Strength and capillary water absorption of lightweight concrete undr different curing conditions, Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, April 2010, 17, pp. 145-151.
- [33] Demirel, B., Keleştemur, O., 2011. Yüksek sıcaklığa maruz pomza ve silis dumanı katkılı betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine kür yaşının etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1), pp. 1-13.
- [34] Topçu, İ.B., Canbaz, M., 2007. Silis dumanının betonda mekanik çatlak oluşumlarına etkisi, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, XXI (2), ss. 17-26.

- [35] Türk, K., Karataş, M., Ulucan, Z.U., 2008. Farklı oranlarda silis dumanı ikameli kendiliğinden sıkışan betonun mühendislik özellikleri, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (1), ss. 165-174.
- [36] Coşkun, A., Tanyıldızı, H., Yazıcıoğlu, S., 2007. Mineral katkılı betonun aderans dayanımına 800 °C'nin etkisi, , Pamukkale Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13 (3), ss. 347-351

9. ÖZGEÇMİŞ

Eyyüp ORHAN 1987 Elazığ doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamlamıştır. 2005-2009 yılları arasında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi, Yapı Ressamlığı Öğretmenliği bölümünden mezun olmuştur. Şuan Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaktadır.

Eyyüp ORHAN
e.orhan_23@hotmail.com