

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA FARKLI
AGREGALARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kurtuluş ARTIK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

ŞUBAT 2009

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA FARKLI AGREGALARIN BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

KURTULUŞ ARTIK

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL

YAPI EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

ŞUBAT 2009

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. OSMAN ÜNAL danışmanlığında,
KURTULUŞ ARTIK tarafından hazırlanan
“KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA FARKLI AGREGALARIN BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ”

başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca

18/02/2009

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Yapı Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. İsmail DEMİR	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL	
Üye	Yrd. Doç. Dr. M. Serhat Başpınar	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../2009 tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA FARKLI AGREGALARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Kurtuluş ARTIK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. OSMAN ÜNAL

Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonda farklı agregaların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), akışkanlaştırıcı katkıları ve mineral katkıların beton karışımında kullanılmasıyla üretilen, betonun yerleştirilmesinde kolaylıklar sağlayarak inşaat sektöründe yerini almaya başlamış bir beton türüdür.

Çalışmada, 5 seride kırma taş ve 5 seride çakıl agregaları kullanılarak, her seride 18'er numune olmak üzere 180 adet 150 mm'lik küp numune üretilmiştir. Bağlayıcı miktarı sabit, su miktarı değişken olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelere taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır. Taze beton deneyleri olarak çökmede yayılma, T_{500} yayılma zamanı, V-hunisi, V_{T5} , L-kutusu, Doldurma kutusu, hava içeriği, birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri olarak da birim hacim ağırlık, ultrases, basınç dayanımı, yarmada çekme, donma çözülme ve aşınma deneyi yapılmıştır. Elde edilen verilerle göre çakıl ve kırma taş agreganın KYB'nin dayanım ve dayanıklılık özelliklerine etkisi karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda taze beton özelliklerinin genellikle çakıl serilerinde, sertleşmiş beton özelliklerinin ise kırma taş serilerinde daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür.

2009, 74 sayfa

Anahtar kelimeler: Beton, Akışkanlaştırıcı, Kendiliğinden Yerleşen Beton

ABSTRACT

Ms.Sc.

EFFECT of DIFFERENT TYPE of AGGREGATE on FRESH and HARDENED PROPERTIES of SELF CONSOLIDATING CONCRETE

Kurtulus ARTIK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

Supervisor: Assist Prof. Dr. OSMAN UNAL

In this study, the effect of different types of aggregate on fresh and hardened properties of self consolidating concrete was investigated. Self-consolidating concrete (SCC) is a type of concrete which is produced by the use of mineral and plasticizer admixtures in concrete admixture and it is also a type which is beginning to take place in construction sector by providing convenience in placing concrete.

In the study, by using gravel in five series and limestone in five series totally 180 cubic examples in size 150×150×150 were produced. Restrictive content was determined to be stable but the amount of water was determined to be variable. Newly and hardened concrete tests were applied to the produced examples. Slump flow, T₅₀₀ flow time, V-box, V_{T5}, L-box, Fill-box, air content and unit weight experiments were carried out on fresh concrete. As hardened concrete properties, bulk density, ultrasonic pulse velocity, compressive strength, splitting strength, freezing and ,thawing and abrasion resistance were determined. According to obtained results, it was observed that fresh concrete qualifications provided better results in gravel series and hardened concrete qualifications provided better results in limestone series.

2009, 74 page

Key Words: Concrete, Admixture, Self-Consolidating Concrete

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamda her türlü konuda yardımını esirgemeyen, gösterdiği sabrı, öneri ve eleştirileri ile katkıda bulunan danışman hocam, sayın Yrd. Doç. Dr. OSMAN ÜNAL'a,

Tez çalışmam boyunca her konuda desteğini esirgemeyen, deneylerin yürütülmesi ve akademik yazımdaki geniş tecrübesiyle yaptığı yardımlarından dolayı, sayın Öğr. Gör. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU'na,

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler konusunda sağladıkları destekten ötürü Gen-Han Hazır Beton'a, Chryso Katkı Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş.'ye ve Kolsan Hazır Beton'a,

Yüksek lisans eğitimim boyunca göstermiş olduğu anlayış, katkı ve desteğinden dolayı Afyon Meslek Yüksek Okulu Müdürü, sayın Prof. Dr. İsmail AYDOĞUŞ'a,

Akademik ve sosyal hayatımda göstermiş olduğu değerli katkılardan dolayı sayın Yrd. Doç. Dr. Oktay EMİR'e,

Tez çalışmamdaki katkılarından dolayı Özcan ZORLU, Özen ÖZCAN, Ayşen ÖLMEZ, Olcay MUTLU ve Engin BENLİ'ye,

Tez çalışmamda maddi, manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme, teşekkür ederim.

Kurtuluş ARTIK
AFYONKARAHİSAR, Şubat 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 KYB'nin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	4
2.2 KYB'de Malzeme Seçimi	8
2.2.1 Agregası	9
2.2.2 İnce Malzemeler	9
2.2.3 Çimento	10
2.2.4 Kimyasal Katkı	10
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Kullanılan Malzemeler	11
3.1.1 Agregası	11
3.1.2 Kireç Taşı Tozu	11
3.1.3 Çimento	12
3.1.4 Uçucu Kül	12
3.1.5 Kimyasal Katkı Maddesi	13
3.1.6 Karışım Suyu	13
3.2 Metot	13
3.2.1 Doldurma Yeteneği Ölçen Deneyler	16
3.2.1.1 Çökme Sonrası Yayılma Deneyi	16

3.2.1.2 T ₅₀₀ Yayılma Süresi	17
3.2.1.3 V-Hunisi Akış Süresi	17
3.2.2 Geçiş Yeteneği Ölçen Deneyle	18
3.2.2.1 L-kutusu Deneyi	18
3.2.2.2 Doldurma Kutusu (Kajima) Deneyi	19
3.2.3. Ayırışma Direnci Ölçen Deneyle	20
3.2.3.1 V _{T5} Akış Süresi Deneyi	20
3.2.4 Diğer Taze Beton Deneyle	20
3.2.4.1 Taze Betonda Birim Hacim Ağırlık Tespiti	20
3.2.4.2 Hava İçeriği	21
3.2.5 Taze Betonun Kalıplara Yerleştirilmesi	22
3.2.6 Sertleşmiş Beton Deneyle	22
3.2.6.1 Yarmada Çekme Deneyi	23
3.2.6.2 Basınç Dayanımı Deneyi	24
3.2.6.3 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	24
3.2.6.4 Birim Hacim Ağırlık Deneyi	25
3.2.6.5 Aşınma Deneyi	26
3.2.6.6 Donma Çözülme Deneyi	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	29
4.1 Taze Betonla İlgili Bulgular ve Tartışma	29
4.1.1 Kırma Taş Serilerinin Taze Beton Deney Sonuçları	29
4.1.2 Çakıl Serilerinin Taze Beton Deney Sonuçları	32
4.1.3 Yayılma Deneyi Sonuçları	35
4.1.4 T ₅₀₀ Yayılma Süresi Deneyi Sonuçları	36
4.1.5 V hunisi Akma Süresi Deneyi Sonuçları	37
4.1.6 V _{T5} Süresi Deneyi Sonuçları	38
4.1.7 L Kutusu Deneyi Sonuçları	38
4.1.8 Birim Hacim Ağırlık Sonuçları	39
4.1.9 Doldurma Kutusu Sonuçları	40
4.2 Sertleşmiş Beton Deneyle Sonuçları	41
4.2.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları	43
4.2.2 Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları	44

4.2.3 Basınç dayanımı sonuçları	49
4.2.3.1 KT ve Ç Serilerinin Yaşlarına Göre Basınç Dayanımı Sonuçları	50
4.2.3.2 Serilerin Gün – Basınç Dayanımı İlişkisinin Karşılaştırılması	52
4.2.4 Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları	53
4.2.4.1 Günlere göre Ç ve KT Serilerinin Sonuçları	54
4.2.4.2 Serilerin Gün – Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları	57
4.2.5 Aşınma Deneyi Sonuçları	58
4.2.6 Donma Çözülme Dayanıklılığı Sonuçları	60
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	65
5.1 Taze Beton ile İlgili Sonuçlar	65
5.2 Sertleşmiş Beton ile İlgili sonuçlar	67
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	xi

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler	Açıklama
f_{ck}	Karakteristik Basınç Dayanımı
f_t	Çekme dayanımı
G	Geçebilme oranı
Δ	Kuru birim ağırlık
$\sigma_{yç}$	Yarmada çekme dayanımı
T_{500}	500 mm çapa yayılma süresi
U	Ultrases geçiş hızı
W_0	Etüv kurusu ağırlık
W_1	Suya doymun havadaki ağırlık
W_2	Su içerisindeki asılı ağırlık
V_{T5}	V hunisi 5 dakika beklemiş betonun akış süresi ölçüm deneyi

2. Kısaltma	Açıklama
BHA	Birim Hacim Ağırlık
Ç	Çakıl
KT	Kırma taş
s/b	Su/bağlayıcı
SF	Akıcılık
VS ve VF	Viskozite
PA	Geçebilme Yeteneği
KYB	Kendiliğinde Yerleşen Beton

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>	
Şekil 3.1	Donma-Çözülme deneyi uygulama aşamaları	28
Şekil 4.1	KT ve Ç serilerinin yayılma çapı değerleri	35
Şekil 4.2	KT ve Ç serilerinin T_{500} yayılma çapı değerleri	36
Şekil 4.3	KT ve Ç serilerinin V Hunisi akma süresi değerleri	37
Şekil 4.4	KT ve Ç serileri V_{T5} süresi değerleri	38
Şekil 4.5	KT ve Ç serileri L Kutusu değerleri	38
Şekil 4.6	KT ve Ç serileri birim hacim ağırlık değerleri	39
Şekil 4.7	KT ve Ç serilerinde Doldurma Kutusu değerlerinin tayini	40
Şekil 4.8	KT ve Ç serileri BHA sonuçları	43
Şekil 4.9	KT ve Ç serileri 3. gün ultrases sonuçları	45
Şekil 4.10	KT ve Ç serileri 7. gün ultrases sonuçları	45
Şekil 4.11	KT ve Ç serileri 28. gün ultrases sonuçları	46
Şekil 4.12	KT agregası 3. gün, 7. gün ve 28. gün ultrases sonuçları	46
Şekil 4.13	Çakıl agregası 3. gün, 7. gün ve 28. gün ultrases sonuçları	47
Şekil 4.14	KT ve Ç serileri 3. gün basınç dayanımı sonuçları	50
Şekil 4.15	KT ve Ç serileri 7. gün basınç dayanımı sonuçları	50
Şekil 4.16	KT ve Ç serileri 28. gün basınç dayanımı sonuçları	51
Şekil 4.17	Ç serisi 3.-7.-28. gün basınç dayanımı sonuçları	52
Şekil 4.18	KT serisi 3.-7.-28. gün basınç dayanımı sonuçları	52
Şekil 4.19	Ç ve KT serisi 3. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları	54
Şekil 4.20	Ç ve KT serisi 7. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları	55
Şekil 4.21	Ç ve KT serisi 28. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları	55
Şekil 4.22	Ç serisi 3.-7.-28. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları	56
Şekil 4.23	KT serisi 3.-7.-28. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları	57
Şekil 4.24	Ç ve KT serisi ağırlıkça aşınma kaybı sonuçları	58
Şekil 4.25	Ç ve KT serisi donma çözülme sonrası basınç dayanımı kaybı oranları	61
Şekil 4.26	Donma-çözülme öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı sonuçları	61
Şekil 4.27	Donma çözülme deneyi basınç dayanımı ilişkisi	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1	Tavsiye edilen KYB deneyleri sınır değerleri	5
Çizelge 2.2	EFNARC Komitesi tarafından tavsiye edilen kendiliğinden yerleşebilirlik sınır değerleri (EFNARC 2002)	5
Çizelge 2.13	Taze haldeki KYB'nin ERMCO tarafından sınıflandırılması	6
Çizelge 2.14	Farklı uygulama yerleri için KYB'nin kıvam özellikleri	8
Çizelge 3.1	Agregaların granülmetri değerleri ve fiziksel özellikleri	11
Çizelge 3.2	Kireç taşı tozu kimyasal analiz sonuçları	11
Çizelge 3.3	CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri	12
Çizelge 3.4	CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal özellikleri	12
Çizelge 3.5	Soma uçucu kül kimyasal analiz sonuçları	12
Çizelge 3.6	Süperakışkanlaştırıcı malzemenin teknik özellikleri	13
Çizelge 3.7	1 m ³ KYB'deki malzeme miktarları (kg)	14
Çizelge 4.1	Kırma Taş Serileri Taze Beton Özellikleri	30
Çizelge 4.2	Çakıl Serileri Taze Beton Özellikleri	33
Çizelge 4.3	Ç ve KT serisi 3. gün sertleşmiş beton deneyleri sonuçları	41
Çizelge 4.4	Ç ve KT serisi 7. gün sertleşmiş beton deneyleri sonuçları	42
Çizelge 4.5	Ç ve KT serisi 28. gün sertleşmiş beton deneyleri sonuçları	42
Çizelge 4.6	Ç ve KT serisi 3.-7.-28. gün ultrases geçiş hızı sonuçları	44
Çizelge 4.7	KT ve Ç serilerinin 3., 7. ve 28. gün basınç dayanımı sonuçları	49
Çizelge 4.8	Ç ve KT serisi 3., 7. ve 28. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları	53
Çizelge 4.9	Ç ve KT serisi deney sonrası hacim kayıpları	58
Çizelge 4.10	Ç Serisi Deney Sonuçları ve DÇ Sonrası Değerlerin Oranları	59
Çizelge 4.11	KT serisi Deney Sonuçları ve DÇ Sonrası Değerlerin Oranları	60

RESİMLER DİZİNİ

		<u>Sayfa No</u>
Resim 3.1	Taze betonda yayılma çapı ölçülmesi	16
Resim 3.2	Yayılma ve T ₅₀₀ deney düzeneği	17
Resim 3.3	V-hunisi deney düzeneği	18
Resim 3.4	L-kutusu deneyi ölçümlerinin yapılması	19
Resim 3.5	Doldurma kutusu deney düzeneği	20
Resim 3.6	Birim hacim ağırlık deneyinin yapılışı	21
Resim 3.7	Hava içeriğinde kullanılan kabın taze beton ile doldurulması	21
Resim 3.8	Kalıpların taze beton ile doldurulması	22
Resim 3.9		
(a)	(a) Yarmada çekme deneyinin yapılması,	
(b)	(b) Yarma deneyleri yapılmış numuneler	23
Resim 3.10	Basınç deneyinin yapılması	24
Resim 3.11		
a)	a) Ultrases deneyinin yapılması	
b)	b) Geçiş sürelerinin okunması	25
Resim 3.12	Arşimet terazisi	26
Resim 3.13		
a)	a) Böhme aşınma cihazı,	
b)	b) Numunelerin ölçümü,	
c)	c) Aşındırıcı toz tartılması	27
Resim 3.14	Donma çözülme dolabı	28

1. GİRİŞ

Dayanımı, dayanıklılığı, değişik amaçlarla inşaat yapımı için kullanılabilmesi, kolay şekil verilebilmesi hatta renk ve yüzey dokusuna kadar üzerinde istenilen yönde değişiklik yapılabilmesi betonu günümüzün en yaygın kullanılan yapı malzemesi yapmıştır. Ancak betonun doğa ve çevre koşullarına uzun yıllar karşı koyabilmesi kalite ve dayanımının arttırılmasıyla mümkün olabilir (Erdoğan 2003).

Günümüzde beton kalitesi, yoğun emek ve enerji kullanımı gerektiren mekanik vibrasyon işine bağımlıdır. Bu derece yoğun tüketilen bir malzemenin de teknolojiye paralel gelişme göstermesi kaçınılmazdır. Bileşenleri itibarı ile önceleri sadece su, çimento ve agregadan oluşan beton bünyesine kimyasal ve mineral katkıların girmesiyle pek çok olumlu özellik kazanmıştır. Kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile birlikte üretim ve uygulama safhasında karşılaşılan pek çok sorun çözülebilmıştır (İnt.Kyn.1).

Beton katkı maddeleri beton içerisine karışım öncesi veya karışım sırasında çok düşük miktarlarda ilave edilen organik veya inorganik maddelerdir. Mineral ve kimyasal olarak iki gruba ayrılırlar. Kimyasal katkılar betonun akışkanlığının arttırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşması, geçirimsizliğin ve dona dayanımının sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Topçu 2006).

Hazır beton firmalarının, betonları yerine ulaştırırken karıştırma süresinin uzamasıyla oluşan kıvam kayıplarını yalnızca su ilave edilerek iyileştirilmesi beton dayanımlarını düşürmektedir. Bu nedenle çalışılan ortam sıcaklığında karıştırma süresi boyunca meydana gelen kıvam kayıpları süper akışkanlaştırıcı katkılar ile iyileştirilmelidir (İnt.Kyn.2).

Akışkanlaştırıcılar su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içerisine hava sürükleyerek çimento topaklaşmasını önlemektedirler (Akman 1987).

Bilindiği gibi beton da boşluklu bir malzemedir. Bu boşluklarda ya betonun üretilmesi sırasında kullanılan karma suyu ya da betonun geçirimsizliği nedeniyle dışarıdan içeriye girmiş su bulunmaktadır. Bu nedenle beton donma olayının etkisi altında kalmaya ve bunun sonucu olarak da hasar görmeye elverişli bir malzemedir. En elverişsiz koşullar geceleri donma olayının meydana gelmesi, gündüzleri de sıcaklığın sıfırın üstüne çıkması durumudur. Böyle bir durumda donma ve çözülme olayları yıl içerisinde birçok defa tekrarlanacak ve birkaç yıl sonra beton parçalanacaktır (Postacıoğlu 1987).

Yüksek dayanımlı beton sınıflarından biri de kendiliğinden yerleşen betondur. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), içerden veya dışardan vibrasyon kullanılmadan kalıbına yerleştirilen ve sıkıştırılan betonlar olarak tanımlanmaktadır. KYB'ler konuldukları kabın içerisine yüksek akışkanlıklarından dolayı herhangi bir vibrasyon yapılmaksızın kendi ağırlıklarıyla boşluksuz bir şekilde yerleşir, donatının etrafını sıkıca sarar ve beton içerisinde çok düşük oranda boşluk kalarak kalıbı doldurur (Leemann vd. 2006). KYB'de çok fazla perdahlama gerekmez pürüzsüz ve düzgün bir yüzey elde edilebilir. Bunun olabilmesinde betonun işlenebilirliğinin ve kararlılığının oldukça iyi olması önemli rol oynamaktadır (Uygunoğlu 2008).

Taze betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliği, betonun donatının sık olduğu ve dar kesitli elemanlara, homojen yapısını koruyarak ve sıkıştırma işlemi gerektirmeden kendi ağırlığı ile yerleşebilmesi ve sıkılaşması olarak tanımlanabilir. Kendiliğinden Yerleşen Beton'un bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, su/bağlayıcı oranı, maksimum agrega boyutu, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi değişkenler açısından geleneksel betondan farklılıklar göstermektedir. Süper akışkanlaştırıcı katkıları, akıcılığın artırılması ve su/bağlayıcı oranının minimize edilmesini sağlamak amacıyla kullanılır (Okamura 1997).

Bu çalışmada KYB'nin değişik agrega türleri üzerinde göstereceği dayanım ve dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. KYB'de kırma taş ve çakıl agregaları ile aynı karışımlara sahip, 5 değişik su/bağlayıcı (s/b) oranında, bağlayıcı miktarı sabit su miktarı değişken 10 seri beton üretimi yapılmıştır.

Üretilen KYB'lerin değerlendirilmesi taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri olarak iki başlık altında incelenmiştir. Taze beton deneylerinde KYB'nin taze beton özellikleri olan geçebilme yeteneği, doldurma yeteneği ve ayrışmaya gösterdiği direnç yeteneği olarak üç başlık altında iki agrega numunesinin deney sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sertleşmiş beton deneyleri de mekanik, fiziksel ve dayanıklılık özelliklerinin belirlendiği deneyler olarak üç grupta karşılaştırılmıştır. Mekanik özellikler basınç ve yarmada çekme dayanımı; fiziksel özellikler ultrases geçiş süresi, birim hacim ağırlık; dayanıklılık özellikleri ise aşınmaya ve dona dayanıklılık deneyleri ile incelenmiştir.

Çalışmanın amacı KYB'nin beton özelliklerine agrega türünün etkisinin incelenmesi ve karşılaştırılan agrega türlerinden hangisinin KYB'nin taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde daha olumlu etki yaptığının incelenmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 KYB'nin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Kendiliğinden Yerleşen Beton, ağırlığıyla donatının sık olduğu, kesitlerin dar ve derin olduğu kısımlarda sıkıştırma gerektirmeksizin yerleşebilen ve sıkışabilen bu özellikleri gösterirken de ayrışma ve terleme gibi beton özelliklerine olumsuz etki yapan problemleri yaratmayacak kohezyonu koruyabilen, akışkanlığı yüksek özel bir beton türüdür (Felekoğlu 2003).

Beton üretiminde kalıcılık problemlerinin aşılması, betonun sıkıştırılması işleminde işçilik hatlarının en aza indirilmesi amacıyla Japonya'da 1980 yılının sonlarına doğru çalışmalar başlamıştır. Bu araştırmalar sonucu 1986 yılında araştırmacı Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Okamura'nın çalışmalarını Ozawa, Ouchi ve Maekawa'nın çalışmaları izlemiştir. KYB'nin geliştirilmesinde birincil amaç, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde daha yüksek performansı bulabilmektir (Ouchi 1999). Günümüzde KYB'nin özellikleri üzerine araştırmalar ve standart oluşturma çalışmaları devam etmektedir.

Karışım tasarımı yöntemleri ve kendiliğinden yerleşebilirlik deney yöntemleri araştırmaları sonucu Kendiliğinden Yerleşen Beton'nun test edilebilmesi için EFNARC (The European Federation for Specialist Construction Chemicals) komitesi tarafından deneysel metotlar ve tasarım yöntemi belirlenmiştir (Çizelge 2.2.). EFNARC, 2002 yılında Kendiliğinden Yerleşen Beton ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren "Specification and Guidelines for SCC" (EFNARC 2002) isimli dökümanı yayınlamıştır.

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

- Doldurma Kabiliyeti Ölçen Deneyler: Çökme sonrası yayılma ve çökme sonrası T_{500} yayılma süresi, V-hunisi akış süresi.

- Geçiş Yeteneği Ölçen Deneyler: L-kutusu, U-kutusu, Doldurma kutusu deneyleri.
- Ayırma Direnci Ölçen Deneyler: V_{T5} akış süresi.

Kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özelliklerinin değerlendirilmesinde değişik araştırmacılar tarafından tavsiye edilen sınır değerleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Tavsiye edilen KYB deneyleri sınır değerleri

Araştırmacı Adı	Deneyler		
	Yayılma Çapı (mm)	V-hunisi Deney Süresi (sn)	T_{500} (sn)
(Ouchi 1999)	600 – 720	8 – 12	-
(Tomosawa vd 1998)	500 – 750	7- 20	-
(Skarendal and Rise 1999)	600 – 700	-	-
(Dehn 2000)	> 650	-	-
(Dowson 2002)	650 – 800	-	< 3
(Shoya vd. 1999)	650 – 750	10	-

Çizelge 2.2 EFNARC Komitesi tarafından tavsiye edilen kendiliğinden yerleşebilirlik sınır değerleri (EFNARC 2002)

Metot		Tipik Sınır Değerler	
		Minimum	Maksimum
1	Çökme - Yayılma (mm)	650	800
2	T_{500} yayılma süresi (sn)	2	5
3	V-hunisi (sn)	6	12
4	V_{T5} (sn)	0	+ 3*
5	L-kutusu (h_2/h_1)	0,8	1,0
6	U-kutusu (h_2-h_1) (mm)	0	30
7	Doldurma Kutusu (%)	90	100

*V hunisi süresinden 3 sn daha fazla olabilir.

KYB’nin taze haldeki deney metotları ve kıstasları ile ilgili bir başka çalışma da Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) tarafından 2005 yılında yayınlanmıştır. ERMCO tarafından belirlenen kıstaslar Çizelge 2.3’te verilmiştir (THBB 2007).

Çizelge 2.13 Taze haldeki KYB'nin ERMCO tarafından sınıflandırılması

Deney Adı	Sınıflandırma	Değer Aralığı
Çökmede Yayılma	SF1	550 mm – 650 mm
	SF2	660 mm – 750 mm
	SF3	760 mm – 850 mm
T₅₀₀ Yayılma Süresi	VS1	≤ 2 sn
	VS2	> 2 sn
V-hunisi Akış Süresi	VF1	≤ 8 sn
	VF2	9 – 25 sn
L-kutusu Deneyi	PA1	≤ 0,8 (2 donatılı)
	PA2	≥ 0,8 (3 donatılı)

Çalışmada, taze beton deneylerinden çökmede yayılma, T₅₀₀ yayılma, V-hunisi ve L-kutusu deneylerinde ERMCO tarafından önerilen kıstaslar; V_{T5} ve doldurma kutusu deneylerinde ise EFNARC tarafından önerilen kıstaslara göre yapılacaktır. ERMCO kıstaslarında sınıflandırma her deney için harflerle yapılmıştır. Bu harflere karşılık gelen sınıflandırma özellikleri ve harfler:

- SF: Akıcılık
- VS ve VF: Viskozite
- PA: Geçebilme Yeteneği'ni ifade etmektedir.

Çökmede yayılma özelliklerine göre yapılan sınıflandırma yapıda kullanılabilecekleri yerlere göre yapılmıştır (THBB 2007):

SF1 Sınıfındaki KYB'lerin Kullanım Yerleri:

- Salınma noktasından serbest yer değiştirmeye üstten dökülen donatısı ya da çok az donatılı beton yapılar (örnek: konut döşemeleri)
- Pompa akıtma sistemi ile dökme (örnek: tünel kaplaması)

- Uzun yatay akışları engelleyecek kadar küçük kesitler (örnek: kazıklar ve bazı derin temeller)

SF2 Sınıfındaki KYB'lerin Kullanım Yerleri:

- Yapıların birçok yerlerinde elemanların dökümünde kullanıma uygun olan KYB sınıfıdır (örnek: duvarlar ve kolonlar)

SF3 Sınıfındaki KYB'lerin Kullanım Yerleri:

- Çok yoğun donatılı yapılarda, karmaşık şekillere sahip yapılarda düşey uygulamalar için ya da kalıp altından doldurmalarında kullanılır. SF3 sınıfında olan KYB'ler için en büyük agrega tane boyutunun 16 mm ile sınırlandırılması önerilmektedir. Üst sınırlarda ise bloklaşma riski vardır.

850 mm üst sınırından daha fazla yayılmaya sahip KYB için ise özel durumlarda ve maksimum agrega çapı 12 mm sınır tutularak kullanılabilmesi ERMCO şartnamesinde belirtilmiştir.

KYB'de VF1 veya VS1 kıvam sınıfına giren taze betonlar, viskozite açısından yoğun donatılı betonlarda da kullanılabilir özelliklere sahiptir. Ancak ayrışma ve terleme yapma ihtimali bulunmaktadır.

L-kutusu deneyiyle belirlenebilen geçme yeteneği sınıfı PA1 olan KYB sargı aralığı 80 ile 100 mm arasında açıklığa sahip yapılarda (konut veya düşey yapılar) uygunken, geçme sınıfı PA2 olan KYB'lerde sargı aralığı 60 ile 80 mm arasında açıklıkta olan yapılarda (inşaat mühendisliği yapıları) kullanılması daha uygundur.

SR1 kıvam sınıfındaki KYB, genel olarak ince döşemeler için ve akma mesafesi 5 m'den az olan ve sargı aralığı 80 mm'den büyük düşey uygulamalar için elverişlidir. Bu şartlara ölçü uzunlukları bu şartlara uymuyorsa yayılma sırasında oluşabilecek ayrışmayı riskini azaltmak için düşey uygulamalarda SR2 kıvam sınıfındaki KYB tercih edilmelidir. Sargı aralığı 80 mm'den az olursa ve akma uzunluğu 5 m'den daha azsa yine SR2 kıvam sınıfı seçilmelidir. Walraven VF, VS ve SF kıvam sınıflarına göre

KYB'nin kullanım yerlerini yapılaraya göre sınıflandırmıştır. Walraven'in yapmış olduğu sınıflandırma Çizelge 2.4'te verilmiştir (THBB 2007).

Çizelge 2.4 Farklı uygulama yerleri için KYB'nin kıvam özellikleri

Viskozite				Ayrışma direnci veya geçme yeteneği
VS2 VF2	Rampalar			SF1 veya SF2 için geçme yeteneğini belirtmek
VS1 veya VS2 VF1 veya VF2 yada hedef değer	Duvar ve kazıklar		Uzun ve narin yapı elemanları	SF3 için SR belirtmek
VS1 VF1	Katlar ve döşemeler			SF2 ve SF3 için SR belirtmek
	SF1	SF2	SF3	
	Çökmede yayılma			

2.2 KYB'de Malzeme Seçimi

KYB'de kullanılacak malzemelerin belirlenmesi, geleneksel betona göre daha fazla deneyim ve bilgi gerektirmektedir. Çünkü KYB'den prizini alıncaya kadar beklenen performans, geleneksel betona göre daha farklılık göstermektedir. Mesela akışkan bir yapıya sahip KYB, priz almaya başlayıncaya kadar terlemeye ve ayrışmaya yeterince dirençli olmalıdır. Su/bağlayıcı oranını arttırmak, şekil değiştirmede kolaylık sağlayabilir, ancak kohezyonu azaltarak betonun akışının tıkanması ile sonuçlanabilecek agrega ayrışmasına (segregasyon) neden olabilir (Karataş 2007).

Kendiliğinden yerleşen betondaki en önemli değişiklik yüksek akışkanlık özelliğidir. Akışkanlığın artırılması yüksek dozajda kimyasal katkı kullanımıyla sağlanmaktadır. Akışkanlaştırıcı dozajının yüksek olması taze betonun viskozitesini düşürür. Dolayısıyla taze betonun karışım suyundaki ve agregada gradasyonundaki değişkenliklere hassasiyeti artmaktadır (Felekoğlu 2003).

2.2.1 Agregada

EFNARC (2002) tarafından en büyük agregada çapı 20 mm'den fazla olmaması öngörülemezse de kesin olarak belirtilmiş bir agregada boyutu bulunmamaktadır. Ancak KYB'nin dar donatı aralıklarından geçebilme ve akışkanlık yeteneklerini gösterebilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda KYB'de en büyük agreganın 16 mm'den büyük seçilmemesi gerektiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra normal betona göre kum oranı artırılmakta ve iri agregada oranı azaltılmaktadır. Buna ilaveten 0.125 mm elek altında kalan agregalar ince malzeme miktarı içerisine katılmaktadır (Demirtas 2001; Sağlam vd 2004).

2.2.2 İnce Malzemeler

İri agregada oranındaki azalma daha fazla miktarda çimento kullanımı gerektirir. Bu da hidratasyon ısısının ve beton birim fiyatının artmasına yol açar. Bu sebepten KYB'de akışkanlık ve kohezifliği arttırmak, bunun yanı sıra üretim sırasındaki hidratasyon ısısı artışını sınırlandırmak için genel olarak çimento yerine yüksek miktarlarda taş unu, kireçtaşı tozu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi toz malzemeler kullanılır (Demirtas 2001).

Kullanılacak toz malzeme ile ilgili olarak araştırmacılar farklı değerler öngörmüştür. Vachon at al., (2002); 80 µm, Carbo at al. (2002); 75 µm, Khurana & Topçu (2000); 100 µm sınırı vermiştir.

2.2.3 Çimento

Çimento tipi seçiminde, EFNARC (2002) tarafından C_3A oranı %10'dan fazla çimentoların kullanılmaması öngörülmektedir. Çünkü C_3A miktarının artmasıyla, hızlı etrenjit oluşumu ve hidratasyon dolayısıyla oluşan ısı etkisiyle, suyun buharlaşmasına bundan dolayı da işlenebilirlikte düşüş olmasına neden olur. Suyun buharlaşması sonucu KYB'nin yerleşebilme, doldurabilme ve sıkışabilme yeteneklerinde kısıtlar oluşur.

KYB ilgili literatürde CEM I 42,5 tipi çimento kullanımı öngörülmektedir. (Sağlam vd., 2004; Özkul, 2002). KYB'de çimento dozajı olarak $350-450 \text{ kg/m}^3$ arasında olması öngörülmektedir. 500 kg/m^3 üzerinde kullanımı rötreyi arttıracığından tavsiye edilmemektedir. Çimento dozajının 350 kg/m^3 'den az olması durumunda ise KYB'nin yerleşebilmesi için gerekli olan ince malzeme miktarı azalacak ve dayanım, dayanıklılık gibi özelliklerde düşüşler olacaktır. Bu nedenle puzolanik bağlayıcılık özelliği olan uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun ince öğütülmüş hali ve bunlara ilave olarak mümkünse silis dumanı ilave edilmelidir (Uygunoğlu 2008).

2.2.4 Kimyasal Katkı

KYB üretiminde kimyasal katkı olarak melamin sülfanat formaldehit polikondanseleri, naftalin sülfonat formaldehit, vinil kopolimerler ve polikarboksilik asit temelli katkıları kullanılabilir. Fakat polikarboksilik asit temelli katkının diğer katkılardan daha az su ihtiyacı olması bu katkıyı tercih sebebi yapmaktadır (Sağlam vd. 2004).

Polikarboksilik esaslı katkı dispersiyon etkisi ile topaklaşmayı önler, hidratasyon reaksiyonuna giren çimento miktarı artırır, topaklar arasına hapsolme gizil yeteneği olan su molekülleri serbest kalarak işlenebilirliği artırır ve hidratasyon reaksiyonuna katılır (Gürol 1999).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Kullanılan Malzemeler

Kullanılacak malzemeler ön deneme çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda, uygun oranlarda belirlenerek özellikleri ve karışım oranları araştırılmıştır.

3.1.1 Agrega

Çalışmada agrega 4/16 mm çakıl, 4/16 mm kırma taş ve 0/4 mm kum kullanılmıştır. Agregaların elek analizi değerleri ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Agregaların granülmetri değerleri ve fiziksel özellikleri

Elek Çapı (mm)	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25	Birim Ağırlık kg/m ³	Özgül Ağırlık	Su Emme %
4/16 Çakıl	100	91	38	2	1,2	0,7	0,4	0,2	1455	2,61	0,75
4/16 Kırma taş	100	100	59	46	39	27	17	9	1519	2,69	1,09
0/4 Kum	100	100	100	99	82	57	36	19	1520	2,59	3,73

3.1.2 Kireç Taşı Tozu

KYB üretimlerinde uçucu küle ilave olarak kireç taşı tozu kullanılmıştır. Kullanılan kireç taşı tozuna ilişkin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kireç taşı tozu kimyasal analiz sonuçları

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (≥ 70)	MgO	Kızdırma Kaybı	Blaine yüzey alanı, cm ² /g	Özgül ağırlık
Kimyasal Özellikler	54,97	0,01	0,17	0,05	0,23	0,64	43,66	-	-
Fiziksel Özellikler	-	-	-	-	-	-	-	856	2,72

3.1.3 Çimento

Beton karışımlarında CEM I 42,5/R tipi TS EN 197-1/tst A3'e uygun çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özgül ağırlığı 3,07'dir. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.3'te, kimyasal özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 CEM I 42,5/R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)			Priz Başlama Süresi (saat)	Priz Sonu Süresi (saat)	Özgül Yüzey	Hacim Genleş. (mm)
	Erken Dayanım		Standart Dayanım				
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük				
42,5	26,5	38,7	46	2,52	4,36	3685	3

Çizelge 3.4 CEM I 42,5/R çimentosunun kimyasal özellikleri

Bileşik Adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃
%	19,3	5,57	3,46	63,56	0,86	0,13	2,91

3.1.4 Uçucu Kül

Beton karışımlarında kullanılan Soma Termik Santraline ait uçucu külün kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Soma uçucu kül kimyasal analiz sonuçları

Bileşik Adı	%	TS EN 450-1+A1	Bileşik Adı	%	TS EN 450-1+A1
SiO ₂	45,71		MgO	1,58	En çok %5
Al ₂ O ₃	23,67		Na ₂ O	0,40	
Fe ₂ O ₃	4,47		K ₂ O	1,26	
S+A+F	73,85	En az %70	SO ₃	4,11	En çok %5
CaO	17,16		KK	0,87	En çok %10
Cl ⁻	0,010				

SiO₂+ Al₂O₃+ Fe₂O₃ miktarı için TS EN 450-1+A1'de puzolanik özellik için istenilen %70 şartını sağlamaktadır. Kullanılan uçucu külün özgül ağırlığı 2,13'dür.

3.1.5 Kimyasal Katkı Maddesi

Deneyleerde güçlendirilmiş polikarboksilat temelli yeni nesil bir süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. KYB için özel olarak üretilmiş olan akışkanlaştırıcı kimyasal katkının firma tarafından verilen özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Süperakışkanlaştırıcı malzemenin teknik özellikleri

Görünüm	Sıvı
Yoğunluk	1,050 ± 0,02 gr/cm ³
Renk	Şeffaf -açık yeşil
pH	4,00 ± 1
Katı madde, (%)	20,50 ± 5
Klorür içeriği (%)	<0,1

3.1.6 Karışım Suyu

Hafif blokların üretiminde karışım suyu olarak Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ahmet Necdet Sezer Yerleşkesi şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun ortalama sıcaklığı 20 ±5 °C’dir.

3.2 Metot

Çalışmada, ön çalışmalar sonucu belirlenen 5 farklı karışım oranı kırma taş ve çakıl agrega türleri için uygulanmıştır. Çalışmada belirlenen su/bağlayıcı oranları 0,37; 0,41; 0,43; 0,46; 0,48’dir. Seri adları çalışmada kullanılan agregaların ilk harfleri ile sırasıyla çakıl için Ç-1, Ç-2, Ç-3, Ç-4, Ç-5 ve kırma taş için KT-1, KT-2, KT-3, KT-4, KT-5 olarak isimlendirilmiştir. Akışkanlaştırıcı katkı oranı ise su miktarı ile ters orantılı olarak azalan oranlarda belirlenmiştir. Üretilen serilerin karışım miktarları Çizelge 3.7’de görülmektedir.

Çalışmada toz miktarı (çimento+ uçucu kül+ kireç taşı tozu) sabit tutularak su/bağlayıcı oranı değiştirilerek her agrega türü için 5'er seri olmak üzere toplam 10 seri beton karışımı hazırlanmıştır.

Agrega olarak 4/16 mm aralığındaki, kırma taş ve çakıl kullanılmıştır. 1 m³ beton karışımında kullanılan toplam agrega miktarının %53 iri agrega, %47'si ince agrega olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.7 1 m³ KYB'deki malzeme miktarları (kg)

Seri	Su / Bağlayıcı	Çimento	Taş Tozu	Uçucu Kül	Katkı	Agregalar	
						4/16	0/4
Ç-1	0,37	450	100	50	15,0	820	722
Ç-2	0,41	450	100	50	13,2	795	700
Ç-3	0,43	450	100	50	10,8	770	678
Ç-4	0,46	450	100	50	9,0	754	664
Ç-5	0,48	450	100	50	7,2	737	649
KT-1	0,37	450	100	50	15,0	806	715
KT-2	0,41	450	100	50	13,2	811	693
KT-3	0,43	450	100	50	10,8	786	671
KT-4	0,46	450	100	50	9,0	760	649
KT-5	0,48	450	100	50	7,2	777	664

Karışıma giren malzemelerin miktarı, karıştırma için kullanılan betonierin kapasitesine ve üretilecek numunelerin hacmine bağlı olarak oranlanarak belirlenmiştir. Agregas, kireç taşı tozu, uçucu kül ve çimento ile betoniyerde 1 dakika kuru karışım yapılmıştır. Kuru karışım işleminden sonra hesaplanan karışım suyundan bir miktar alınarak akışkanlaştırıcının suyla çözülmesi için ayrıldıktan sonra kalan karışım suyu kuru karışımın üzerine bir kap yardımıyla ilave edilmiştir. 3 dakika bu şekilde karışım yapıldıktan sonra karışımın üzerine çözülmüş akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Akışkanlaştırıcının eklenmesinden sonra 3 dakika daha ıslak karışım yapılmıştır. Üretimde şantiye tipi betonier kullanılmıştır.

Tüm karışımların hazırlanması, dökülmesi ve kür edilmesi Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışma laboratuvar ortam sıcaklığında yapılmıştır.

Karışımı tamamlandıktan sonra elde edilen betona, taze beton üzerinde; çökmede yayılma, T_{500} , V hunisi, V_{T5} , L kutusu, doldurma kutusu, hava içeriği, birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deneylerin yapılmasından sonra taze beton 150x150x150 mm'lik küp numunelere sıkıştırma uygulanmaksızın ve kalıptan 50 mm'den fazla yüksekte olmamak şartıyla dökülmüştür. Döküm sırasında sıkışık hava boşluğunu azaltmak ve olası segregasyon durumunda son numunelerde agrega yığılması oluşabileceği göz önünde bulundurularak, döküm üç tabaka halinde yapılmıştır. Numunelerin yüzeyleri tesviye edilerek oda sıcaklığında sertleşmeye bırakılmıştır.

24 saat kalıp içerisinde bekletilen numuneler kalıplardan çıkarılarak kür havuzuna konulmuştur. Kür havuzunun su sıcaklığı ± 20 °C'dir. Kür havuzuna konulan ve 3., 7., 28. gün deneylerinin yapılması planlanan numuneler deneylerden 24 saat önce kür havuzundan çıkarılarak oda koşullarında 24 saat bekletilmiştir. 3., 7. ve 28. gün yaşında olan numunelerden her seri için 6'şar adet numuneye ultrases geçiş süresi deneyi yapıldıktan sonra bu numunelerin 3 tanesine basınç dayanımı ve 3 tanesine de yarmada çekme deneyi uygulanmıştır. Sonuçlar bu numunelerin ortalama değerlerine göre verilmiştir. Ayrıca 28. günde her seri için 3'er adet numuneye donma çözülme deneyi yapılmıştır. Donma-çözülme çevrimi biten numuneler etüv kurusu hale getirilerek donma çözülme sonrası ağırlıkları bulunarak donma-çözülme sonrası ultrases geçiş süresi ve ardından basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Ayrıca böhme deney aletiyle, 70x70x70 mm ölçülerine kesilerek getirilen numunelerin aşınma dayanıklılığı deneyi yapılmıştır.

3.2.1 Doldurma Yeteneği Ölçen Deneyler

3.2.1.1 Çökme Sonrası Yayılma Deneyi

Bu deney çökme (ASTM C143-90a) deneyinin bir modifikasyonudur ve standartlara geçmiş bir deney olmamasına rağmen, akıcı kıvamlı betonlarda araştırmacıların tercih ettiği bir deneydir (Felekoğlu 2003).

Deneyin yapılışı şöyle özetlenebilir: kesik koni şeklindeki standart çökme hunisi yatay yüzeydeki yayılma tablasının merkezine yerleştirilir ve betonla doldurulur. KYB'de sıkıştırma enerjisine ihtiyaç olmadığı için, standart şişleme yapılmaz ve huni bir kap vasıtasıyla, beton serbest düşürülerek doldurulur. Huninin basınç etkisiyle yukarı kalkmasını ve betonun sızmasını engellemek için doldurma sırasında huniyi iyice bastırmak gerekir. Huni, doldurulduktan sonra yukarı kaldırılarak betonun yayılmasını tamamlaması beklenir. Viskozitesi yüksek karışımlarda yayılmanın tamamlanması için birkaç dakika beklemek gerekebilir (Khayat 1995). Yayılma durunca birbirine dik iki çap ölçülerek (Resim 3.1) deney tamamlanır (Ferraris 1999). Bu çaplar arasındaki fark 50 mm'den fazla ise deney tekrarlanmalıdır (Aggoun vd. 2002).



Resim 3.1 Taze betonda yayılma çapı ölçülmesi

Yayılma deneyi sonucu 450–760 mm arasında olan ve herhangi bir ayrışma gözlenmeyen karışımlar farklı amaçlar için KYB olarak kabul edilebilirler (Bury and Bühler 2002).

3.2.1.2 T₅₀₀ Yayılma Süresi

Yayılma çapının yanında 500 mm'ye yayılma süresinin de kendiliğinden yerleşebilirliği kontrol etmekte yararlı olmaktadır. Deneyin yapılışı şu şekildedir; yayılma çapı ilk anda 200 mm (koninin taban çapı) olup bu çap ve 500 mm çapında önceden tablaya çizilir. Resim 3.2'de görülen çökme hunisi taze beton ile doldurulur ve yukarı doğru dikkatlice kaldırılır. Kaldırmanın tamamlanmasından, taze betonun 500 mm çap çizgisine ulaştığı ana kadar geçen zaman ölçülür. Bu değer taze betonun akış hızını belirler ve plastik viskozite ile ilişkilendirilmektedir. Burada ölçülen 500 mm çapa yayılma süresi, T₅₀₀ olarak adlandırılır (Felekoğlu 2003).



Resim 3.2 Yayılma ve T₅₀₀ deney düzeneği

3.2.1.3 V-Hunisi Akış Süresi

V Hunisi deneyi; Resim 3.3'te görülen huni taze beton ile ağzına kadar doldurulur. Doldurma sırasında hiçbir sıkıştırma uygulanmaz ve huni ağzına en kısa mesafeden dolum yapılır. Alt kısımdaki kapak açılır ve aynı anda süreölçer çalıştırılır. Bu deneyde üstten bakıldığında huninin alt kapak kısmında ışığın görüldüğü ana kadar olan süre ölçülmüştür.



Resim 3.3 V hunisi deney düzeneği

3.2.2 Geçiş Yeteneği Ölçen Deneyler

KYB'nin donatılar arasından geçiş yeteneğinin belirlenmesinde L-kutusu ve doldurma kutusu gibi özel deney aparatları kullanılmaktadır. Taze betonun akışı sırasında dar bir bölgeden, örneğin iki donatı arasından geçişi sırasında agrega ve çimento hamuru arasında hız farkı meydana gelir. Dar bölgede agregaların hızı azalmakta, hamur hızı ise artmaktadır. Bu nedenle donatı açıklığı ile maksimum agrega çapı arasında bir ilişki kurulmuştur. Ayrıca karışımdaki iri agrega oranı arttıkça da tıkanma riski artar. Bu nedenle karışımdaki agrega oranının mümkün olduğunca az, hamur hacminin mümkün olduğunca çok olması tercih edilir. Viskozitenin artışı ile betonun geçebilme yeteneği azaltacaktır (Noguchi at al. 1999).

3.2.2.1 L-kutusu Deneyi

L-kutusu adını aldığı L şeklindedir (Resim 3.4). Düşey kısımda, geçiş kesitinde 3 adet 12 mm çapında düşey çelik çubuk mevcuttur. Düşey kısım hareketli bir kapak yardımıyla kapalıyken taze beton ile doldurulur. Kapak kaldırılır ve taze beton, donatılar arasından geçerek yatay kısımdaki dikdörtgenler prizması şeklindeki kısmı doldurmaya başlar. Akma durduğunda karşılıklı iki uç kısımdan beton yükseklikleri ölçülür. Bu yükseklikler arası L-kutusu oranı (h_2/h_1) hesaplanır.

L-kutusunda yataydaki prizmatik kısmın 200 mm, 400 mm ve 600 mm kısımları işaretlenir ve bu mesafelere betonun ulaşma süresi ölçülür ve T_{200} , T_{400} ve T_{600} süreleri elde edilir.

L-kutusunda geçiş bölgesindeki donatılar arası mesafe en büyük agrega çapının 3 katından az olmamalıdır. Agrega çapına göre donatı aralıkları değiştirilerek aparat modifiye edilebilir (Aggoun at al. 2002).



Resim 3.4 L kutusu deneyi ölçümlerinin yapılması

3.2.2.2 Doldurma Kutusu (Kajima) Deneyi

Doldurma kutusu deney aleti (Resim 3.5) 35 adet 16 mm çapında donatı içeren, doldurma tarafında bir huni bulunan bir kutudur. KYB bu huniden kutu içerisine doldurma yüzeyi tarafındaki donatıların üst seviyesine kadar doldurulur. Kutu içerisindeki KYB'nin donatılar arasından geçişi durduktan sonra kutunun doldurma tarafındaki (arka yüzey) h_1 ve karşı tarafındaki (ön yüzey) h_2 beton seviyesi ölçülmüştür. Elde edilen yükseklik değerleri aşağıda verilen Denklem 3.1'de yerine konularak KYB'nin doldurma kutusunun geçebilme oranı hesaplanmıştır.

$$G = \left[\frac{(h_1 + h_2)}{2 * h_1} \right] * 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte; G , KYB'nin geçebilme oranı; h_1 doldurma yüzeyi yönündeki beton yüksekliği ve h_2 de ön yüzeydeki beton yüksekliğidir (Topçu vd. 2007).



Resim 3.5 Doldurma kutusu deney düzeneği

3.2.3. Ayrışma Direnci Ölçen Deneyler

3.2.3.1 V_{T5} Akış Süresi Deneyi

V-hunisi akış süresi deneyi yapıldıktan hemen sonra V-hunisi yeniden taze betonla doldurularak ve 5 dakika bekletilir, daha sonra kapak açılır ve huninin üst kısmından bakılarak, kapağın açıldığı andan ilk ışık görüldüğü ana kadar olan süre ölçülür. Bu sırada taze beton yeterli stabiliteye sahip değilse, ayrışma meydana gelir. Bu deneyde KYB'nin 5 dakika bekleme sonunda ayrışmaya direnci ölçülmeye çalışılmaktadır.

3.2.4 Diğer Taze Beton Deneyleri

3.2.4.1 Taze Betonda Birim Hacim Ağırlık Tespiti

Birim hacim ağırlığın belirlenmesinde kullanılacak 7 lt hacmindeki kap (Resim 3.6), hiçbir sıkıştırma uygulanmaksızın taze betonla doldurulmuştur. Kabın üst kısmı

düzeltilme cetveli ile düzeltilerek tartılmıştır. Kabın hacmi belirlenen ağırlığa bölünerek taze birim hacim ağırlık değeri elde edilmiştir.



Resim 3.6 Birim hacim ağırlık deneyinin yapılışı

3.2.4.2 Hava İçeriği

Taze haldeki beton deney aletinin 7 lt'lik kabına (Resim 3.7) doldurularak üzeri cetvelle düzlendikten sonra deney aletinin kapağıyla kapatılmıştır. Su girişinden su doldurularak, hava vanası kapatılmıştır. Daha sonra pompa yardımıyla hava ile basınç uygulanmıştır. Hava ölçümü için vananın koluna basılmış ve ibreden hava miktarı belirlenmiştir.



Resim 3.7 Hava içeriğinde kullanılan kabın taze beton ile doldurulması

3.2.5 Taze Betonun Kalıplara Yerleştirilmesi

Deney öncesi 150x150x150 mm ölçülerinde küp kalıplar yağlanmıştır. Deneyleri tamamlanan taze beton, kalıplara (Resim 3.8) hiçbir sıkıştırma uygulanmaksızın doldurulmuştur. Doldurma sırasında insan hatasından kaynaklanabilecek hatalardan olan kalıp üst kısmından yüksekte döküm yapılmamasına da dikkat edilmiştir. Ç-1 ve KT-1’de kalıba yerleşme güçlüğü görülmüştür, bu serilerde kalıba yerleştirmede mala ile en üst tabakadan perdahlama yaparak kalıba yerleşme ve kalıbın şeklini almada müdahalede bulunulmuştur. Dökümleri tamamlanan kalıplanmış taze beton numuneleri 24 saat süre ile 23 ± 3 °C ‘de laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Daha sonra kalıplardan çıkarılan numuneler 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzlarına konularak deney gününe kadar kür edilmiştir.



Resim 3.8 Kalıpların taze beton ile doldurulması

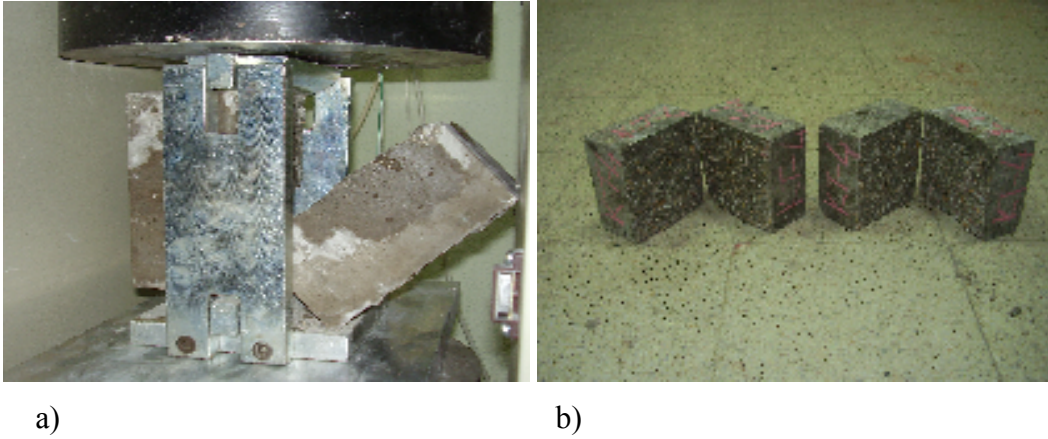
3.2.6 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Kırma taş ve çakıl agregalarının mekanik, fiziksel ve dayanıklılık özelliklerinin incelenmesi için 6 değişik deney yapılmıştır. Bunlar içinde böhme aşınma, birim hacim ağırlık ve donma çözülme deneyleri sadece 28 günlük numunelerde yapılmıştır. Diğer sertleşmiş beton deneyleri olan; ultrases hızı, basınç dayanımı, yarmada çekme deneyleri ise 3., 7. ve 28. gün yaşlarındaki numunelere uygulanmıştır. Her deney için 3 adet numune kullanılmış ve bu numunelerin aritmetik ortalamaları alınarak sonuçlar verilmiştir.

Her seri için 18 adet numune, 10 seride toplam 180 adet numune üretilmiştir. Üretilen numunelerin 3'er tanesi her deney gününde yarmada çekme deneyi için ve 3 tanesi de basınç deneyi için kullanılmıştır. 28. gün yarmada çekme deneyi sonucunda deney sonucu ortadan yarılan numunelerden 70x70x70 mm ölçülerinde kesilerek küpler haline getirilmiş ve her seriden 3 adeti donma çözülme, 3 adeti böhme aşınma ve 3 adeti de donma-çözülme öncesi basınç dayanımı deneyinde kullanılmıştır. Donma çözülme öncesi numunelerin ultrases hızı, birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır.

3.2.6.1 Yarmada Çekme Deneyi

Yarmada çekme deneyinde 150x150x150 mm ölçülerinde küpler kullanılmıştır. Küpler kırma aparatı içerisine yerleştirildikten sonra basınç cihazına yerleştirilmiştir. Aparatın basınç uyguladığı düzlemde çekme gerilmeleri oluşmakta ve numune bu düzlem boyunca yarılmaktadır (Resim 3.9). Daha sonra elde edilen yük değeri Formül 3.2'de yerine konularak dayanım değeri hesaplanmaktadır.



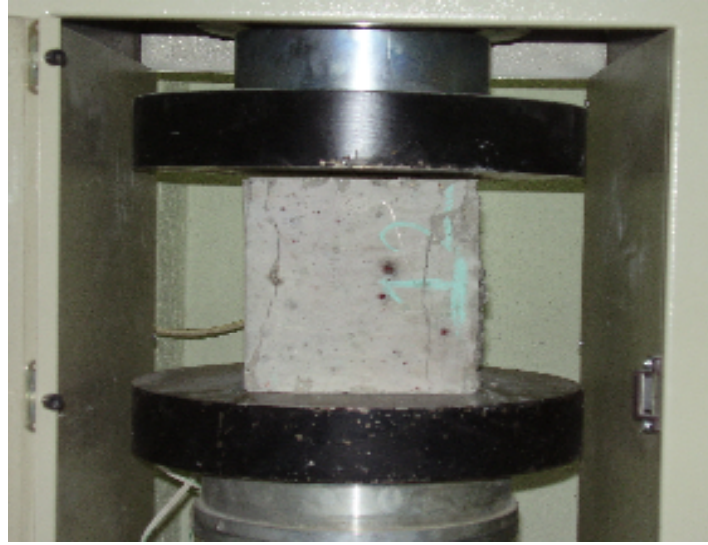
Resim 3.9 (a) Yarmada çekme deneyinin yapılması
(b) Yarma deneyleri yapılmış numuneler

$$\sigma_{y\check{c}} = \frac{2p}{\pi L^2} \quad (3.2)$$

Formülde; $\sigma_{y\check{c}}$, MPa olarak hesaplanan yarmada çekme dayanımı; P, yarıma yükü (N); L, yükün uygulandığı düzlemin uzunluğu (mm) olarak ifade edilmektedir.

3.2.6.2 Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı 3, 7 ve 28 günlük her seriden 3'er adet numuneye uygulanmıştır. Deneyden 24 saat önce kür havuzundan çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra numuneler kırılarak (Resim 3.10) basınç dayanımı değerleri (MPa) cinsinden 3 adet numunenin dayanım sonuçlarının aritmetik ortalaması hesaplanarak belirlenmiştir.



Resim 3.10 Basınç deneyinin yapılması

3.2.6.3 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases geçiş süresi ölçümü 150x150x150 mm ölçülerindeki küp numunelere uygulanmıştır. Numunelerde propların yerleştirileceği beton yüzeyinin karşılıklı iki tarafı, gres yağıyla yağlanarak ses dalgalarının dağılması önlenmeye çalışılmıştır (Resim 3.11). Elde edilen geçiş süreleri Formül 3.3'te yerine konarak geçiş hızı sonuçları bulunmuştur. Ultrases deneyi tahribatsız deneylerden olduğu için basınç ve yarmada çekme deneylerinde kullanılacak numunelere uygulanmıştır.

$$U = \frac{L}{t} \quad (3.3)$$

Burada U, Ultrases geçiş hızını (km/sn); L, ölçüm mesafesi (km); t, geçiş süresini (sn) ifade etmektedir (Erdoğan 2003).



a)



b)

Resim 3.11 a) Ultrases deneyinin yapılması b) Geçiş sürelerinin okunması

3.2.6.4 Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Birim hacim ağırlık deneyi arşimet prensibinden faydalanılarak yapılmıştır. Deneyde Resim 3.12’de görülen Arşimet terazisi kullanılmıştır.

Yarmada çekme deneyinde kullanılan 28. gün numunelerden 70x70x70 mm ölçülerinde kesilmiş olan her seri için 3’er adet numune, birim hacim deneyinde kullanılmıştır.

Numuneler 24 saat, 20 ± 3 °C sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra Arşimet terazisinde sudaki ve havadaki ağırlıkları belirlenmiştir. Bu işlemden sonra etüv fırınında 105 ± 5 °C’de 24 saat bekletilerek etüv kurusu hale gelmeleri sağlanmış ve kuru ağırlıkları bulunmuştur. Elde edilen değerler aşağıda verilen Formül 3.3’te yerine konularak BHA sonuçları bulunmuştur.



Resim 3.12 Arşimet terazisi

$$BHA = \frac{W_0}{(W_1 - W_2)} \quad (3.3)$$

Burada; BHA, birim hacim ağırlık (kg/m^3); W_0 , etüv kuru ağırlık (kg); W_1 , suya doygun havadaki ağırlık (kg); W_2 , su içerisindeki asılı ağırlık (kg) değerlerini ifade etmektedir (Postacıoğlu 1989).

3.2.6.5 Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi, böhme deneyi diye bilinen ve deneyiyle aynı adı taşıyan böhme deney aletiyle yapılmıştır. Deney numuneleri yarmada çekme deneyinden artan numune parçalarının $70 \times 70 \times 70$ mm ölçülerinde kesilmesiyle elde edilmiştir. Deneyleri yapılacak numuneler 24 saat 110 ± 5 °C'de etüv fırınında kurutmaya bırakılmış ve ortam sıcaklığına düşmesi beklendikten sonra ağırlıkları 0,1 g hassasiyetli terazi ile tartılarak belirlenmiştir. Aynı zamanda boy ve alan ölçümü üç boyuttan ve en az 9 noktadan olacak şekilde ölçülmüştür (Resim 3.13 b). Numuneler cihazın numune tutucu bölgesine (Resim 3.13 a) yerleştirildikten sonra disk üzerine 20 g aşındırıcı kuvars tozu (Resim 3.13 c) iz doğrultusu boyunca serilmiştir. Cihazın üstten numuneye yük uygulaması için yapılmış kol kısmı numune üzerine yerleştirilmiştir. Bu kolun diğer

kısımında ise ağırlıklar bulunmaktadır ve deney sırasında numune üzerine 300 N yük uygulamıştır. Disk kendi etrafında 20 tur attığında bir devir tamamlanmış kabul edilmektedir. Her devir sonunda numune bütün yüzeylere eşit aşınma uygulanması amaçlanarak kendi etrafında 90 derece döndürülerek numune tutucuya tekrar yerleştirilmiştir. Bu işlem 20 devir devam ettirilmiştir. 20 devir tamamlandıktan sonra numunenin boy ve ağırlık miktarları deney öncesindeki gibi alınmıştır.



a)



b)



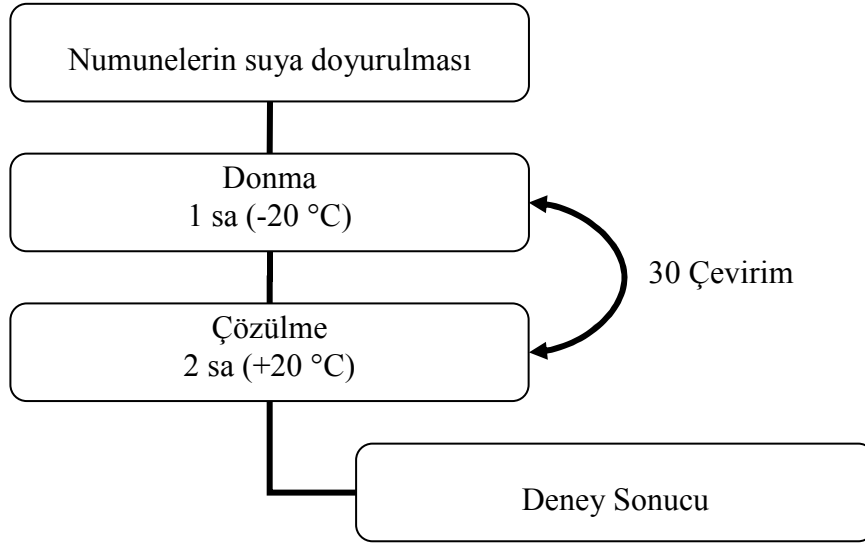
c)

Resim 3.13 a) Böhme aşınma cihazı b) numunelerin ölçümü
c) aşındırıcı toz tartılması

3.2.6.6 Donma Çözülme Deneyi

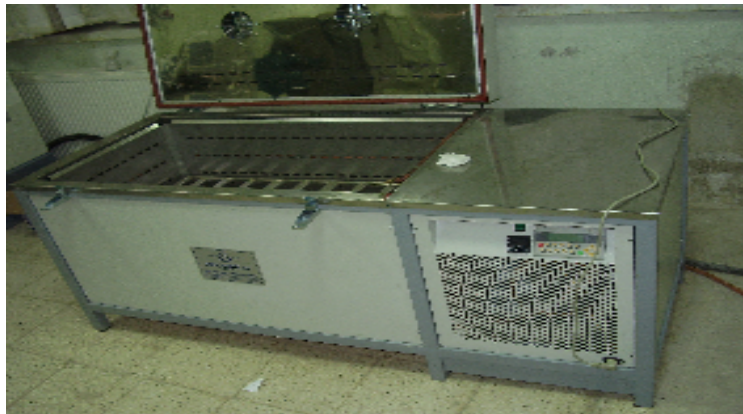
Her seri için 3'er adet numuneye donma çözülme deneyi yapılmıştır. Deney için yarmada çekme deneyinden artan numuneler 70x70x70 mm ölçülerinde kesilmiştir. Daha sonra etüv fırınında 24 saat 105 ± 5 °C'de bekletilmiş ve fırından çıkarılarak oda

sıcaklığına ulaşması beklendikten sonra etüv kurusu ağırlıkları tartılarak bulunmuştur. Etüv kurusu haldeki numunelere ultrases deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin ardından numuneler suya doymun hale getirilmek üzere 24 saat su içerisinde bekletilmiştir. Suya doymun hale getirilen numuneler Resim 3.14'te görülen donma çözülme dolabına konulmuştur. Her çevirim 1 saat $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ donma ve 2 saat $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de çözülmeden oluşmak üzere 30 çevirim donma-çözülme uygulanmıştır. Şematik gösterimi Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Donma-Çözülme deneyi uygulama aşamaları

Dolaptan çıkarılan numuneler etüv kurusu hale getirilerek donma çözülme sonrası ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra donma çözülme sonrası ultrases deneyleri yapılmış ve aynı numunelere basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.



Resim 3.14 Donma çözülme dolabı

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Taze Betonla İlgili Bulgular ve Tartışma

Kendiliğinden yerleşen beton kullanımıyla, normal betonda karşılaşılan akışkanlık ve yerleşebilme gibi taze beton kusurlarından dolayı ortaya çıkan kusurların iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kusurlar taze betonun özelliklerinin iyileştirilmesiyle giderilebilir. Ancak bunların iyileştirilmesi için betonda akışkanlığın artırılması yanı sıra s/b oranının artmasıyla sertleşmiş beton özelliklerinin dayanım ve dayanıklılık kaybı dikkate alınarak, KYB içerisinde akışkanlaştırıcı kimyasallar kullanılması ve s/b oranının düşürülmesi çözümü amaçlanmıştır. Su/bağlayıcı oranının düşürülmesi sadece taze beton özelliklerinin değil aynı zamanda sertleşmiş beton özelliklerinin de daha iyi sonuçlar vermesini sağlamıştır. Dolayısıyla KYB üretimi hem dayanım açısından hem dayanıklılık açısından yararlı sonuçlar vermektedir. Bu önemli durum göz önünde bulundurularak KYB üretiminin inşaat sektörü açısından daha güvenli yapılar inşa edilmesinde önemli bir yeri olacaktır.

Yapılan çalışmada çakıl ve kırma taş olmak üzere iki agrega türü için üretilen her biri için 5'er seride aynı oranlarda su/bağlayıcı oranı değişimi uygulanarak yapılan KYB'lerin taze beton deney sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

4.1.1 Kırma Taş Serilerinin Taze Beton Deney Sonuçları

Çizelge 4.1'deki kırma taş serilerinin taze beton deney sonuçları görülmektedir. KT serilerinde çökmede yayılma deneyinde en küçük değer 0,37 s/b oranına sahip KT-1'de 460,5 mm, en yüksek değer ise s/b oranı 0,48 olan KT-5'te 819,3 mm olarak belirlenmiştir.

ERMCO kıstaslarına göre KT serilerinin sınıflamaları: KT-2 628,6 mm, KT-3 638,9 mm, KT-4 626,5 mm ile SF1 sınıfı; KT-5 ise 819,3 mm ile SF3 sınıfı kategorisine

uygundur. KT-1 ise 460,5 mm yayılma göstermiş ancak sınıflamalar için yeterli kıstası sağlayamamıştır.

Çökmede yayılma T_{500} deneyinde KT-1 en uzun sürede 28,76 sn, KT-5 ise 0,53 sn ile en kısa sürede yayılmayı tamamlamıştır. ERMCO sınır değerleri VS1 için ≤ 2 sn ve VS2 için > 2 sn'dir. Buna göre KT-1 28,76 sn ve KT-2 serisi 4,16 sn ile VS2 sınıfına girmektedir. KT-3 1,84 sn, KT-4 1,34 sn ve KT-5 0,53 sn ile VS1 sınıfına uygun olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.1 Kırma taş serileri taze beton özellikleri

Ölçülen	Deney	Birim	KT-1	KT-2	KT-3	KT-4	KT-5	Sınır Değer	
								Alt	Üst
Doldurma Yeteneği	Çökmede Yayılma	mm	460,5	628,6	638,9	626,5	819,3	550	850
	Çökmede Yayılma T_{500}	sn	-	4,16	1,84	1,34	0,53	≤ 2	> 2
	V Hunisi	sn	-	17,23	11,2	9,86	3,2	≤ 8	9-25
Ayrışmaya Direnç	V_{T5}	sn	-	23	10,52	9,81	5,36	6	15
Geçebilme Yeteneği	L Kutusu h_2/h_1		-	0,56	0,64	0,73	0,93	0,8	1,0
	L Kutusu T_{200}	sn	15,66	2,58	1,72	1,08	53	-	-
	L Kutusu T_{400}	sn	36,42	5,33	3,2	2,67	1,2	-	-
	L Kutusu T_{600}	sn	-	12,63	7,55	5,24	1,36	-	-
	Doldurma Kutusu Oranı	%	50	66	79	82	100	90	100
	Hava İçeriği	%	2,1	1,8	2,0	2,2	1,6	-	-
	Birim Hacim Ağırlık	kg/m ³	2342	2313	2296	2285	2271	-	-
	Beton Sıcaklığı	°C	21,2	20,6	22,3	23,4	20,4	-	-
s/b oranları		0,37	0,41	0,43	0,46	0,48	-	-	

Çökmede yayılma ve T_{500} deneylerine göre şu sonuçlar elde edilebilir:

- Su/bağlayıcı oranının artması akışkanlığın artmasına sebep olduğundan yayılma değerlerinin artışı da buna paralel olmuştur.

- Kırma taş agregaların yüzey pürüzlülüğünden dolayı çökmede yayılma daha fazla s/b oranına ihtiyaç duyduğu düşünülmektedir.
- 0,37 su/bağlayıcı oranının agregaların yüzeylerinin su filmiyle tamamen kaplanması ve agregalar arasındaki sürtünmeyi azaltması için yeterli olmadığı söylenebilir.

V hunisi deneyinde KT-1'den sonuç elde edilememiştir, KT-5 ise 3,2 sn ile en kısa sürede deneyi tamamlamıştır. ERMCO sınır sınıflandırmasına göre KT-2 serisi 17,23 sn, KT-3 serisi 11,2 sn ve KT-4 serisi 9,86 sn ile VF2 sınıfına ve KT-5 serisi 3,2 sn ile VF1 sınıfına girmektedir. KT-1 serisi 176 sn ile kıstaslara uygun bir sonuç vermemiştir.

V_{T5} süresi ölçümünde de KT-1'den sonuç elde edilememiştir. KT-5 5,36 sn ile en kısa süreyi vermiştir. Bu deney için EFNARC tipik değerleri 6-15 saniyedir. KT-3 10,52 sn ve KT-4 9,81 sn ile bu aralıkta bulunmaktadır.

V hunisi deneyleri sonucu KT-1 serisi düşük s/b oranı sebebiyle yeterli akışkanlığı sağlayamamış ve KYB için belirlenen kıstaslar arasına girememiştir.

L-kutusu deneyinde KT-2 0,56 ile en düşük, KT-5 ise 0,93 oranı ile en iyi doldurma kabiliyetine sahip beton özelliği vermiştir. L-kutusu T_{200} ve T_{400} 'de s/b oranının artmasıyla betonun istenilen mesafelere ulaşma süresi kısalmıştır. Yalnız T_{600} ölçümünde KT-1'de ölçüm mesafesine kadar taze beton ulaşamadığı için bir sonuç elde edilememiştir. ERMCO sınıflandırmasına göre KT-2 serisi 0,56; KT-3 serisi 0,64; KT-4 0,73 doldurma oranı ile PA1 sınıfına ve KT-5 ise 0,93 doldurma oranı ile PA2 sınıfına girmektedir. KT-1 serisinin ise yeterli doldurma kabiliyeti olmadığından bir sonuç elde edilememiştir.

Doldurma kutusu deneyinde KT-1'in % 50 doldurma oranında olduğu ve KT-5'in % 100 doldurma oranına ulaştığı görülmüştür. Doldurma kutusu için EFNARC komitesinin kıstasları minimum 90 ve maksimum 100'dür. Buna göre doldurma yalnızca KT-5 serisi bu kıstaslar arasında sonuç vermiştir. Bunda kırma taş agregasının pürüzlü yüzeyinden dolayı donatılar arasından geçerken akışkanlığı azalttığı ve

doldurma sırasında agrega yüzeyinin su filmiyle kaplanarak viskoziteyi düşürmeye katkı sağlamadığı söylenebilir.

Hava içeriğinde, s/b oranının artmasıyla düşüş gözlenmiştir. Su miktarı arttıkça yerleşme ve sıkışma özelliği arttığı için hava miktarı düşmüştür.

Birim hacim ağırlıklarda s/b oranının artmasıyla düşüş gözlenmiştir. En düşük değer 2271 kg/m³ ile KT-5'teyken, en yüksek değer 2342 kg/m³ ile KT-1'de elde edilmiştir. Birim hacim ağırlıkların düşmesi s/b oranıyla ters orantılıdır. Çünkü taze beton içerisinde artan su miktarı ile birlikte hava boşlukları artmaktadır. Bunun sonucunda betonun birim hacim ağırlığı düşmektedir.

Yayılmanın daha fazla ölçülere ulaşması, L kutusu süresinin azalması ve L kutusu oranının ile doldurma kutusu oranının artması gibi taze beton özelliklerinin s/b oranının artmasıyla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Kıрма taş agregası için bütün taze beton deneyleri göstermiştir ki 0,37 s/b oranı yeterli akışkanlığı sağlayamamaktadır.

4.1.2 Çakıl Serilerinin Taze Beton Deney Sonuçları

Ç-1 serisi Çökmede Yayılma T₅₀₀, V hunisi, V_{T5} ve L kutusu deneyleri, taze betonun yeterli akışkanlığa sahip olmamasından dolayı, tamamlanamamıştır. Bu deneylerde Ç-1 serisinin akışkanlık seviyesinin yeterli olmadığı gözlenmiştir.

Çökmede yayılma deneyinde Ç-1 serisi 365,5 mm ile en az yayılma değerine ve Ç-5 963 mm ile en yüksek yayılma değerine ulaşmıştır. Çakıl agregası serilerinde ERMCO kıstaslarına göre; Ç-2 serisi 766 mm, Ç-3 serisi 794,2 mm ve Ç-4 serisi 821 mm ile SF3 sınıfına girmektedir. Ç-5 serisi ise maksimum sınır olan 850 mm'yi aştığı için bir sınıfa girememiştir. Çakıl agregasının pürüzsüz yüzeyi ve oval köşeleri ile yayılmada akışkanlık yeteneğinin iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak 0,37 s/b oranının düşük olmasından dolayı su miktarının az oluşundan dolayı akışkanlığı sağlamada yetersiz kalmıştır.

Çizelge 4.2 Çakıl serileri taze beton özellikleri

Ölçülen	Deney	Birim	Ç-1	Ç-2	Ç-3	Ç-4	Ç-5	Sınır Değer	
								Alt	Alt
Doldurma Yeteneği	Çökmede Yayılma	mm	365,5	766,0	794,2	821,0	963,0	550	550
	Çökmede Yayılma T ₅₀₀	sn	-	1,43	1,09	0,73	0,38	≤2	≤2
	V Hunisi	sn	-	9,14	4,04	2,85	2,29	≤8	≤8
Ayrışmaya Direnç	V _{T5}	sn	-	11,6	6,22	4,08	3,21	6	6
Geçebilme Yeteneği	L Kutusu h ₂ /h ₁		-	0,96	1,0	0,96	1,0	0,8	0,8
	L Kutusu T ₂₀₀	sn	-	1,23	0,58	0,87	0,32	-	-
	L Kutusu T ₄₀₀	sn	-	3,65	1,82	4,56	1,07	-	-
	L Kutusu T ₆₀₀	sn	-	8,22	3,72	14,79	1,37	-	-
	Doldurma Kutusu Oranı	%	50	60	59	72	60	90	90
	Hava İçeriği	%	2,8	2,2	1,7	1,1	0,7	-	-
	Birim Hacim Ağırlık	kg/m ³	2320	2300	2280	2270	2190	-	-
	Beton Sıcaklığı	°C	20,6	21,5	20,6	18,8	19,2	-	-
s/b oranları		0,37	0,41	0,43	0,46	0,48	-	-	

Çökmede yayılma T₅₀₀ deneyinde en kısa yayılma süresinin 0,38 saniye ile Ç-5'te, en uzun yayılma süresinin ise 1,43 saniye ile Ç-2'de olduğu görülmüştür. ERMCO kıstaslarına göre Ç-2 serisi 1,43 sn, Ç-3 serisi 1,09 sn, Ç-4 serisi 0,73 sn ve Ç-5 serisi 0,38 sn ile VS1 sınıfına girmektedir. Ç-1 serisi ise s/b oranının düşük olmasından dolayı yeterli yayılmayı gösterememiş ve 500 mm mesafeye kadar yayılması belirlenememiştir.

V hunisi deneyinde Ç-5 serisi 2,29 sn ile en hızlı, Ç-2 serisi ise 9,14 sn ile en geç deneyi tamamlayan seriler olmuştur. ERMCO kıstaslarına göre Ç-2 serisi 9,14 sn ile VF2 sınıfına; Ç-3 serisi 4,04 sn, Ç-4 serisi 2,85 sn ve Ç-5 serisi 2,29 sn ile VF1

sınıfına girmektedir. Ç-1 serisi ise s/b oranının düşük olmasından dolayı, deneyde akma yeteneği gösterememiştir.

V_{T5} deneyi için EFNARC tipik değerleri minimum 6 sn, maksimum 15 sn'dir. Ç-2 serisi 11,6 sn ve Ç-3 serisi 6,22 sn ile bu tipik sınır değerler arasında sonuç vermiştir. Ç-4 ve Ç-5 ise 6 sn olan minimum sınır değerinin altında sonuç vermiştir. Ç-1 serisinde akma tamamlanamadığından sonuç elde edilememiştir.

L-kutusu deneyinde, L-kutusu oranı Ç-2 ve Ç-4 serileri için 0,96 olarak belirlenmiştir. Ç-3 ve Ç-5'te ise 1,00 olarak ölçülmüştür. ERMCO kıstaslarına göre Ç-2, Ç-3, Ç-4, Ç-5 serileri PA2 sınıfına girmektedir. Ç-1 serisi V hunisi deneyinde akma yeteneği gösterememiş ve deney sonucu elde edilememiştir. Bu sonuca göre 0,37 s/b oranı doldurma yeteneği açısından akışkanlığı sağlamaya yeterli değildir.

L-kutusu T₂₀₀ deneyinde Ç-5 serisi 0,32 sn ile en hızlı, Ç-2 ise 1,23 sn ile en düşük geçme yeteneğini göstermiştir. L-kutusu T₄₀₀ deneyinde ise Ç-5 1,07 ile en hızlı, Ç-4 ise 4,56 sn ile en düşük geçebilme yeteneğini göstermiştir. L-kutusu T₆₀₀ deneyinde Ç-5 1,37 sn ile en hızlı ve Ç-4 14,79 sn ile en yavaş doldurma yeteneği gösteren seriler olmuştur. L-kutusu T₄₀₀ ve T₆₀₀ deneylerinde Ç-4 serisinde ayrışma ve bundan dolayı bloklama görülmüştür. Su/bağlayıcı oranının 0,46 olduğu Ç-4 serisinin yüksek su miktarı dolayısıyla kohezyonunun düştüğü ve bundan dolayı agregaların dibe çökmesiyle bloklama olduğu düşünülmektedir. L-kutusu T₂₀₀, T₄₀₀, T₆₀₀ için herhangi bir değerlendirme kıstası bulunmadığından sınıflandırma yapılmamıştır.

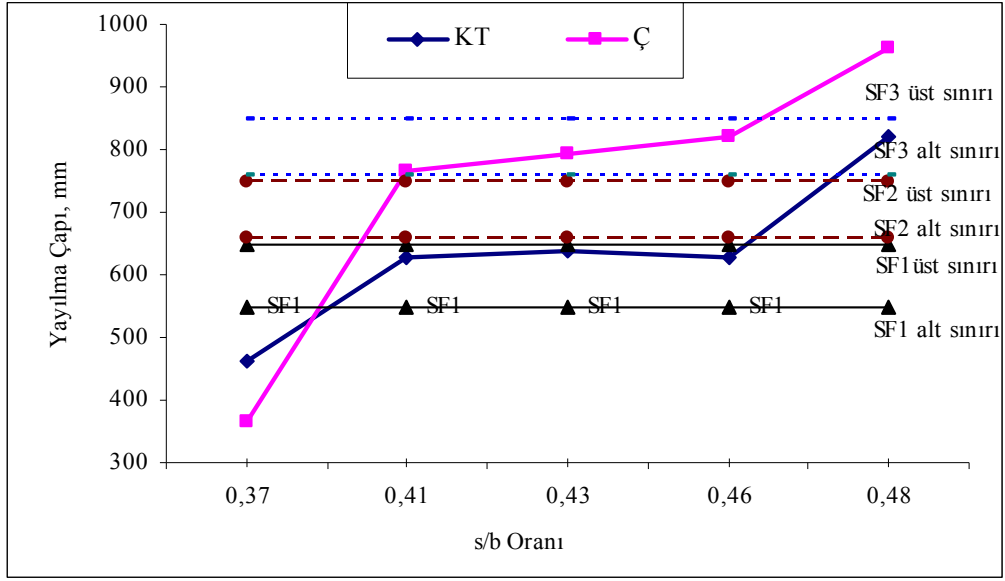
Doldurma kutusu deneyinde, EFNARC komitesinin belirlediği doldurma kutusu oran kıstasları minimum % 90 ve maksimum % 100 olmalıdır. Ç-1 serisi % 50, Ç-2 serisi % 60, Ç-3 serisi % 59, Ç-4 serisi % 72 ve Ç-5 serisi % 60 doldurma oranı olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre EFNARC tarafından önerilen tipik değerler arasında bir sonuç elde edilememiştir. Çakıl serilerinin geçebilme yeteneğinin belirlendiği deneylerden biri olan doldurma kutusu deneyinde KT serilerine göre daha düşük oranlarda doldurma yeteneği göstermiştir. Çakıl serilerinin yüzey pürüzsüzlüğü bakımından daha iyi taze beton özelliği göstermesine rağmen bu deneyde geçebilme

yeteneği bakımından yeterli olamamıştır. Bunun sebebinin yüksek akışkanlık oluştuğu durumlarda donatılar arasından geçerken ayrışmaya karşı gösterilmesi gereken direnci göstermemesi olduğu düşünölmektedir. KT serileri ise pürüzlü yüzeyleri sayesinde harçtan ayrılmamakta ve ince malzeme ile birlikte daha iyi bir geçebilme yeteneği göstermektedir.

Çakıl serilerinde birim hacim ağırlıkların s/b oranının artmasıyla düştüğu görölmektedir. En yüksek BHA Ç-1 serisinde 2320 kg/m^3 , en düşük BHA ise Ç-5 serisinde 2190 kg/m^3 olmuştur. Bu düşüşün sebebi artan s/b oranı ile birlikte suyun diğer malzemelerin yerini daha fazla alarak birim hacim ağırlığı düşürmesidir.

4.1.3 Yayılma Deneyi Sonuçları

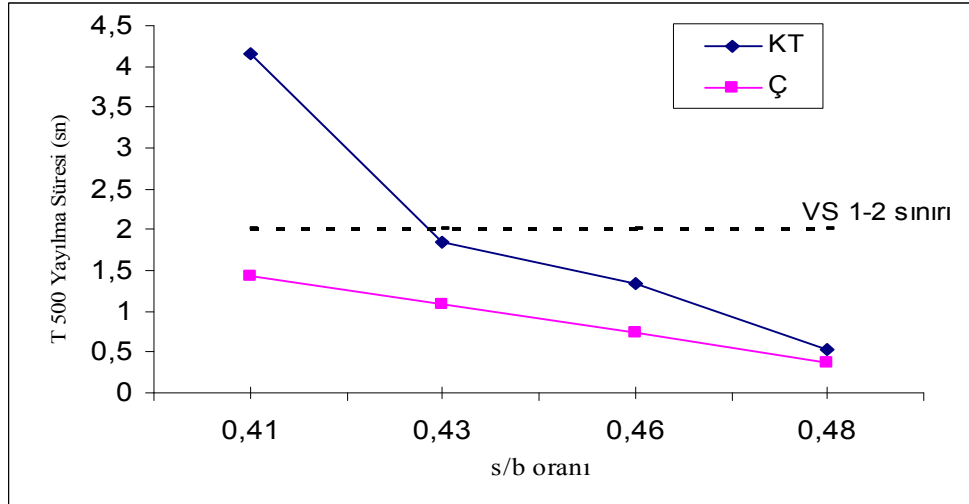
Kırma taş ve çakıl agregaları ile üretilen taze beton serilerinin yayılma deneyi sonuçları Şekil 4.1'de verilmiştir. Su/bağlayıcı (s/b) oranının artmasıyla iki agrega türünün de yayılma çapları artmaktadır. 0,37 s/b oranına sahip ilk serilerde kırma taş serisinin daha fazla yayıldığı, diğer serilerde ise çakıl agregası ile yapılanların daha fazla yayılma gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonucun oluşmasında kırma taşın pürüzlü ve köşeli yüzey yapısı yayılmaya engel teşkil ederken, çakılın yüzey pürüzsüzlüğünün çok daha iyi olmasına ve köşesiz oval bir yapıya sahip olmasına bağlanabilir.



Şekil 4.1 KT ve Ç serilerinin yayılma çapı değerleri

4.1.4 T₅₀₀ Yayılma Süresi Deneyi Sonuçları

Ç ve KT serilerinin T₅₀₀ deneyinde gösterdiği yayılma süresi verileri Şekil 4.2’de görülmektedir. Buna göre çakıl serilerinin daha kısa zamanda T₅₀₀ mesafesine ulaştığı görülmektedir.



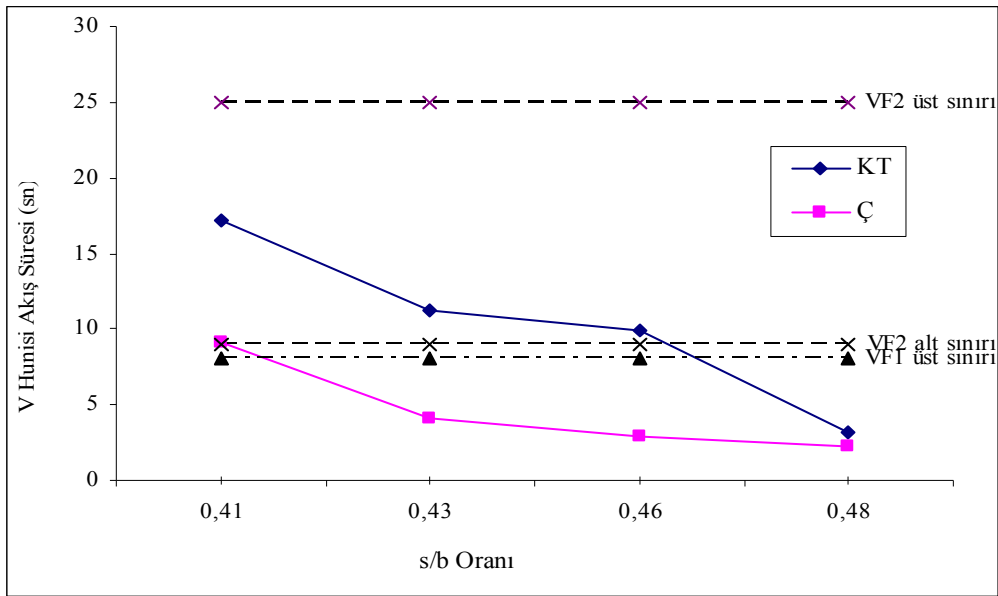
Şekil 4.2 KT ve Ç serilerinin T₅₀₀ yayılma çapı değerleri

Bu sonuç sadece KT-1 ve Ç-1 serilerinde farklılık göstermektedir. KT Seri-1’de diğer serilere kıyasla çok uzun bir sürede T₅₀₀ mesafesine ulaştığı görülmekteyken; Ç-1’de

yayıma T_{500} mesafesine ulaşmadan bitmiştir. İki agrega serisi içinde s/b oranının en düşük olduğu KT-1 ve Ç-1'de beton akışkanlığının yeterli olmamasından dolayı bu sonuçların oluştuğu düşünülmektedir.

4.1.5 V-hunisi Akma Süresi Deneyi Sonuçları

V-hunisi akma süresi Şekil 4.3'de görülmektedir. Grafikten görüleceği üzere çakıl agregalarının huniden akışı daha kısa sürede tamamladıkları görülmektedir. Su/bağlayıcı oranının en düşük olduğu seriler olan Ç-1 ve KT-1'de akışkanlık yetersiz kalmış ve bu serilerde deneyden sonuç elde edilememiştir.

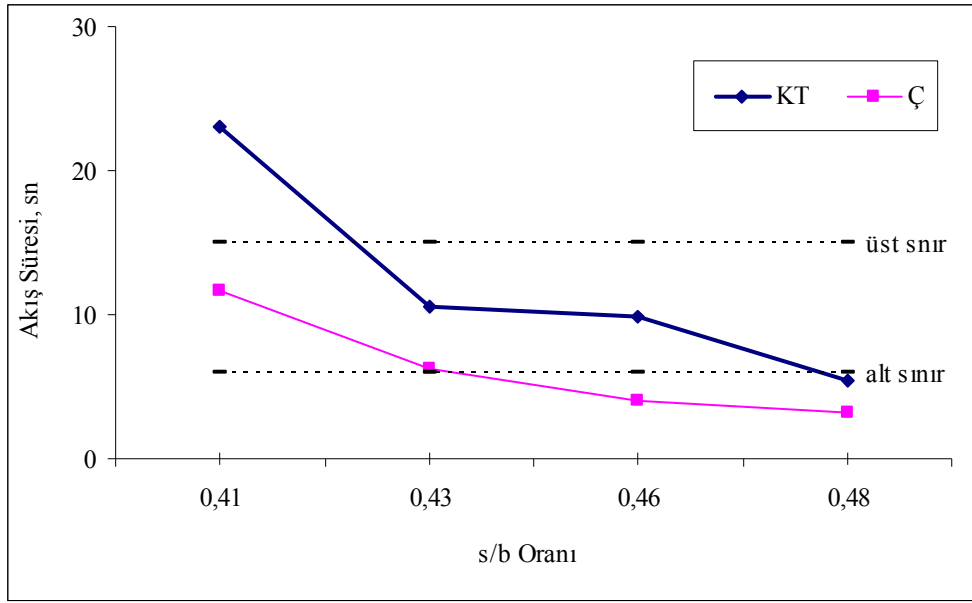


Şekil 4.3 KT ve Ç serilerinin V Hunisi akma süresi değerleri

Bu deneyde iki agrega türü arasında çok büyük farklılıklar gözlenmemiş, deney sonuçlarının verileriyle elde edilen ve Şekil 4.3'te görülen grafik eğrilerinin birbirine paralel ve yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Ancak azda olsa Ç serileri akmayı daha kısa zamanda tamamlamıştır. Bunda agrega şeklinin köşeli olan kırma taşın nazaran daha kolay akmayı sağladığı düşünülmektedir.

4.1.6 V_{T5} Süresi Deneyi Sonuçları

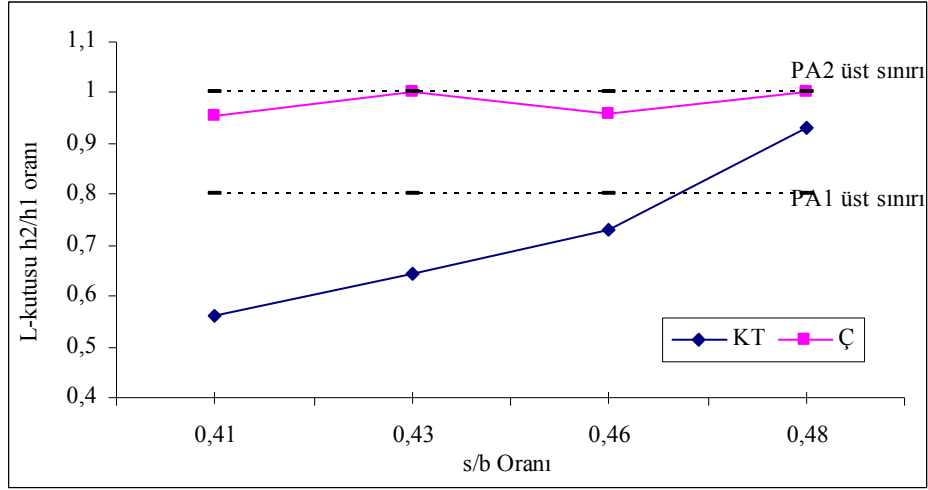
V_{T5} süresi deneyleri sonucu Şekil 4.4'te görüldüğü gibi KT serileri Ç serileriyle paralellik gösteren sonuçlar vermiştir. Ç-1 ise V_{T5} deneyini tamamlayamamıştır. KT seri-1 deneyi tamamladıysa da diğer serilere göre yüksek sürede deneyi tamamlamıştır. Deney sonuçlarına göre, taze beton değerlendirme kıstas sınıflarına girmeyi başaramayan Ç-1 ve KT-1'in yeterli akışkanlıkta olmamasından kaynaklanan sonuçlar olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 KT ve Ç serileri V_{T5} süresi değerleri

4.1.7 L Kutusu Deneyi Sonuçları

0,37 s/b oranına sahip Ç ve KT serilerinde taze beton L-kutusu akma mesafesine akamadığından L-kutusu deneyi tamamlanamamış ve sonuç elde edilememiştir. Bunun su/bağlayıcı oranının düşük olmasıyla, geçebilme yeteneğinin düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer dört seri ile elde edilen veriler Şekil 4.5'te görülmektedir.



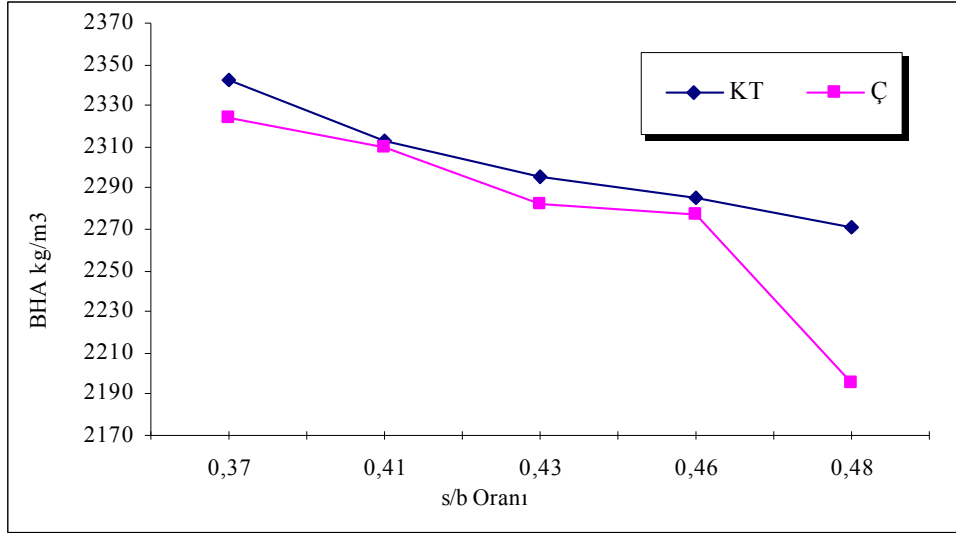
Şekil 4.5 KT ve Ç serileri L-kutusu değerleri

Çakıl serilerinin L kutusu değerinin KT serilerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. L kutusu geçiş yeteneği ölçen deneylerden biridir ve bu deneye bakılarak Ç serilerinin geçebilme yeteneklerinin KT'ye göre daha iyi olduğu söylenebilir.

Ç-4 serisinde segregasyon olduğu görülmüştür. Su/bağlayıcı oranının artmasıyla taze betonda ayrışma olduğu bununda iyi bir geçiş sonucu vermesine rağmen, segregasyon oluşma riski olan bir s/b oranı olduğunu göstermiştir.

4.1.8 Birim Hacim Ağırlık Sonuçları

Birim hacim ağırlıklar olarak kırma taş serilerinin, çakıl agregası serilerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak aradaki farklılık çok az miktardadır. Bu farklılığında kırma taş agregasının özgül ağırlığının, çakıldan daha yüksek olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.



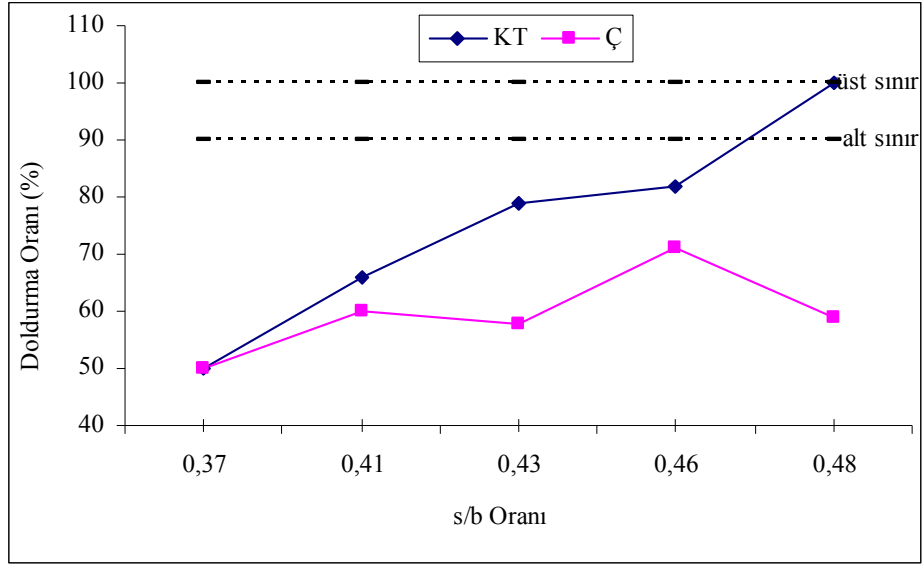
Şekil 4.6 KT ve Ç serileri birim hacim ağırlık değerleri

Ç-5 serisinde görülen düşüşün ise segregasyondan kaynaklı olarak döküm sırasında oluşmuş olabilecek ayrışmalar sonucunda homojen olmayan yapıya sahip numuneler olabileceği düşünülmektedir. Bu sonuç göstermektedir ki diğer taze beton deneylerinde olduğu gibi BHA deneyinde de KT-5 ve Ç-5 serilerinin s/b oranı olan 0,48 ve üstü s/b oranları, KYB'nin taze beton özellikleri için yüksek değerler veren ancak sorun doğurabilecek yükseklikte oranlardır.

4.1.9 Doldurma Kutusu Sonuçları

Doldurma kutusu deneyi sonuçlarına göre KT serilerinin doldurma yüzdesinin daha yüksek olduğu Şekil 4.7'de görülmektedir. S/b oranının artmasıyla doldurma yüzdesinin arttığı görülmektedir. Ç-1 ve KT-1'in doldurma yeteneğinin ise düşük s/b oranından dolayı yetersiz olduğu gözlenmiştir.

KT-5'te ise segregasyon oluşmuştur. Segregasyon olmasına rağmen çimento hamuru ve suyun doldurduğu ölçüm noktasından sonuç okunmuştur. Ancak bu sağlıklı bir doldurma yeteneği ölçümü olmamıştır.



Şekil 4.7 KT ve Ç serilerinde Doldurma Kutusu değerlerinin tayini

Ç-5 serisinde ise segregasyon ve bloklaşma olmuştur. Taze betonun L kutusu yatay düzlemine geçemediği ve demir çubuklar önünde bloklaşma oluşarak taze beton geçişinin homojen olmadığı ve yeterli düzeyde oluşmadığı görülmüştür. KT-5 ve Ç-5 serilerinde su/bağlayıcı oranının artmasının, yüksek akışkanlık sağladığı ancak bunun taze betonda kohezyonu düşürdüğü ve segregasyona sebep olduğu görülmüştür.

4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları

5 değişik su/bağlayıcı (s/b) oranıyla, aynı karışım oranlarına sahip KT ve Ç serilerinin 3. gün, 7. gün ve 28. gün sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde yarmada çekme deneyi için 3 numune ve basınç dayanımı deneyi içinde 3 numune kullanılmıştır. Ultrases deneyi için yeni numune üretilmemiş basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımında kullanılan numunelere bu deney uygulanmıştır. Bu deneyler sonucu elde edilen verilerden 3. gün deney sonuçları Çizelge 4.3'te, 7. gün deney sonuçları 4.4'te ve 28. gün deney sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Ç ve KT serisi 3. gün sertleşmiş beton deneyleri sonuçları

Seri Adı	s/b	Ultrases Geçiş Hızı km/sn	Basınç Dayanımı MPa	Yarma Dayanımı MPa
Ç-1	0,37	4,15	33,25	3,1
Ç-2	0,41	4,04	29,67	3,0
Ç-3	0,43	3,99	26,80	2,5
Ç-4	0,46	3,99	22,63	2,3
Ç-5	0,48	3,79	19,27	2,3
KT-1	0,37	4,25	33,90	4,2
KT-2	0,41	4,45	34,58	3,6
KT-3	0,43	4,23	33,81	3,1
KT-4	0,46	4,21	32,46	2,8
KT-5	0,48	4,17	27,77	2,4

Çizelge 4.4 Ç ve KT serisi 7. gün sertleşmiş beton deneyleri sonuçları

Seri Adı	s/b	Ultrases Geçiş Hızı km/sn	Basınç Dayanımı MPa	Yarma Dayanımı MPa
Ç-1	0,37	4,23	42,82	4,8
Ç-2	0,41	4,17	37,95	3,3
Ç-3	0,43	4,26	36,16	3,2
Ç-4	0,46	4,26	34,50	3,1
Ç-5	0,48	4,14	28,84	2,7
KT-1	0,37	4,47	46,80	3,9
KT-2	0,41	4,48	44,25	3,8
KT-3	0,43	4,45	42,71	3,7
KT-4	0,46	4,33	42,28	3,4
KT-5	0,48	4,36	36,91	3,0

Çizelge 4.5 Ç ve KT serisi 28. gün sertleşmiş beton deneyleri sonuçları

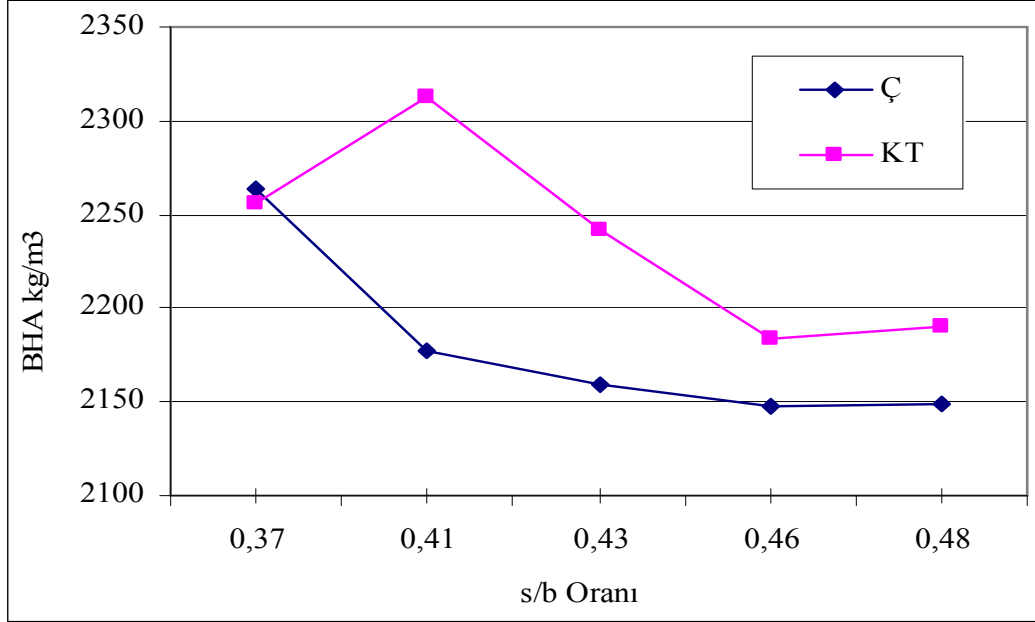
Seri Adı	s/b	BHA kg/m ³	Ultrases Geçiş Hızı km/sn	Basınç Dayanımı MPa	Yarma Dayanımı MPa
Ç-1	0,37	2263,92	4,31	50,14	4,3
Ç-2	0,41	2176,83	4,39	49,75	3,9
Ç-3	0,43	2159,64	4,35	43,27	3,6
Ç-4	0,46	2147,77	4,37	40,12	3,3
Ç-5	0,48	2148,47	4,43	33,18	3,2
KT-1	0,37	2256,09	4,66	49,85	4,9
KT-2	0,41	2312,72	4,64	48,96	4,5
KT-3	0,43	2241,60	4,48	48,30	3,9
KT-4	0,46	2183,64	4,48	43,38	3,6
KT-5	0,48	2190,40	4,51	42,12	3,5

4.2.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları

28. gün Ç ve KT serilerine 3'er numuneyle yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te tablo ve Şekil 4.8'de grafik halinde verilmiştir. BHA deneyi sonucunda KT serilerinin Ç serilerine göre daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Burada en yüksek değer 2312,72 kg/m³ ile KT-2 serisinde, en düşük değer ise 2147,77 kg/m³ ile Ç-3 serisinde olduğu ve Ç-5 serisinin de çok yakın bir değer verdiği görülmüştür. Kırma taş ve çakıl serilerinin BHA değerleri Şekil 4.10'da karşılaştırılmıştır. Su/bağlayıcı oranının artmasıyla BHA'larda düşüşler olduğu gözlenmiştir.

KT-2 serisinde oluşan artışın s/b oranının artmasıyla, kendiliğinden yerleşme özelliğinin ortaya çıkması sonucu olduğu düşünülmektedir. KT-1'de s/b oranının daha düşük olduğu bundan dolayı yeterli yerleşebilme özelliği gösteremediği taze beton deneylerinde de belirtilmiştir. Daha sonraki serilerde ise artan s/b oranı, beton

içerisindeki suyun buharlaşmasıyla hava boşluğu oluşmasına ve bunun da BHA'nın düşmesine sebep olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8 KT ve Ç serileri BHA sonuçları

4.2.2 Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları

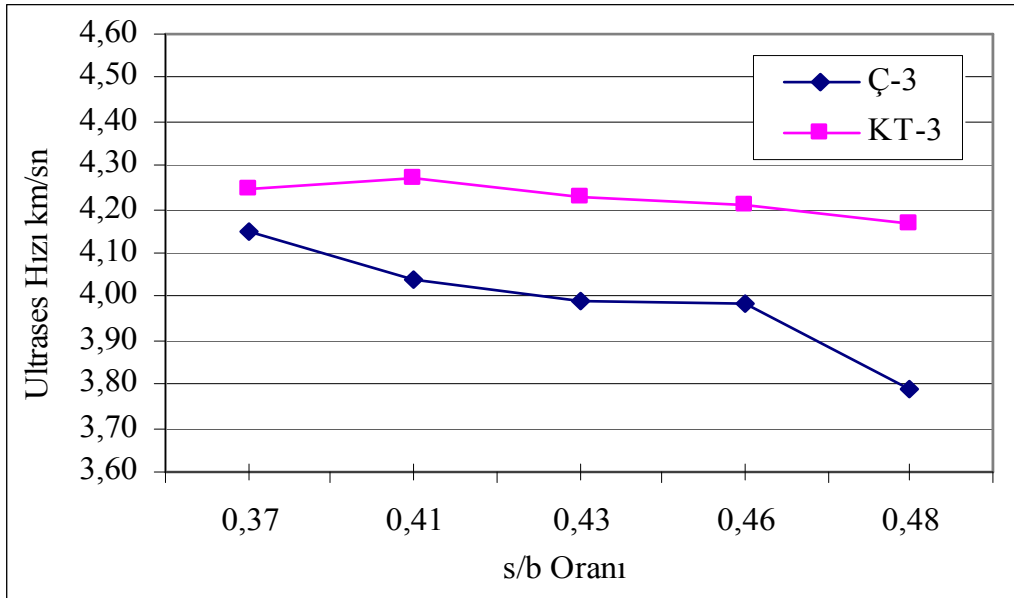
Tahribatsız beton deney yöntemlerinden olan ultrases deneyinde ses dalgalarının beton numune içerisinden geçirilmesiyle sesin geçiş hızı ölçülmektedir. Ölçümler sonucu betonun dayanımı hakkında bilgi edinilmektedir

Bu deneyde, basınç deneyinde kullanılacak olan 3 numune ve yarma deneyinde kullanılacak olan 3 numune kullanılmıştır. Ultrases deneyi tahribatsız beton deneyi olduğundan kullanılan numunelere, bu deneyler öncesi ultrases deneyi yapılmış daha sonra tahribatlı deneylere geçilmiştir. 3., 7. ve 28. gün yaşındaki 6'şar adet 150 mm'lik küp numunenin deney sonuç ortalamaları Çizelge 4.6'da görülmektedir.

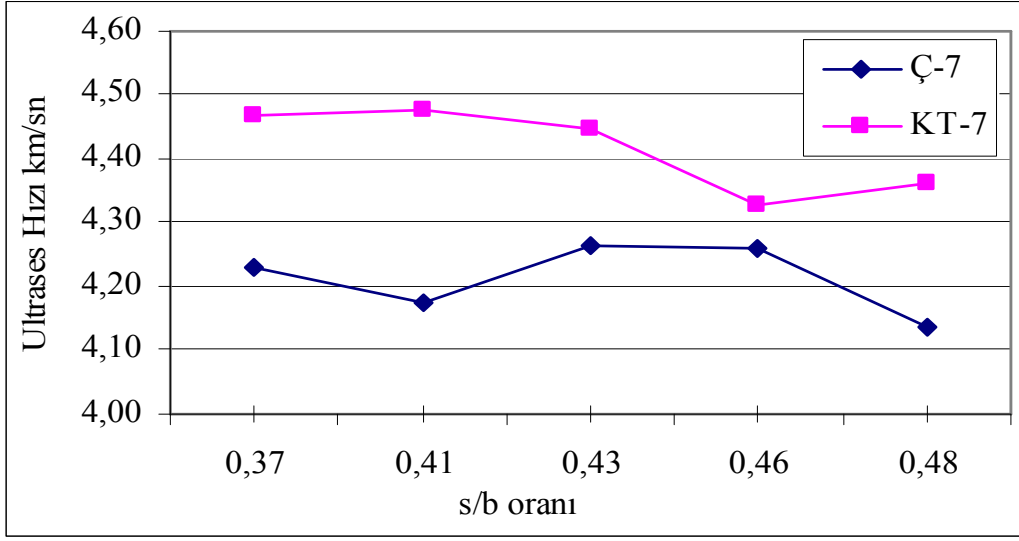
Çizelge 4.6 Ç ve KT serisi 3.-7.-28. gün ultrases geçiş hızı sonuçları

Seri Adı	s/b	3. gün km/sn	7. gün km/sn	28. gün km/sn
Ç	0,37	4,15	4,23	4,56
	0,41	4,04	4,17	4,44
	0,43	3,99	4,26	4,42
	0,46	3,99	4,26	4,37
	0,48	3,79	4,14	4,37
KT	0,37	4,25	4,47	4,66
	0,41	4,27	4,48	4,64
	0,43	4,23	4,45	4,48
	0,46	4,21	4,33	4,48
	0,48	4,17	4,36	4,51

KT ve Ç serilerinin 3. günlük numunelerine yapılan ultrases deneyinde, KT sonuçlarının Ç serisi sonuçlarından daha yüksek çıktığı Şekil 4.9'da görülmektedir. En yüksek değeri KT-2 serisinin 4,27 km/sn ile verdiği, en düşük sonucuysa Ç-5 serisinin 3,79 km/sn ile verdiği görülmektedir.



Şekil 4.9 KT ve Ç serileri 3. gün ultrases sonuçları

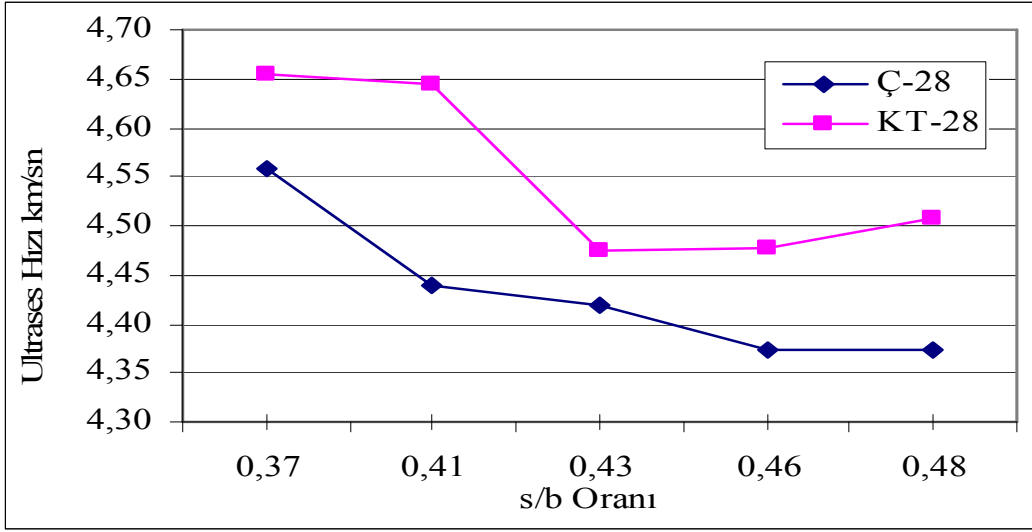


Şekil 4.10 KT ve Ç serileri 7. gün ultrases sonuçları

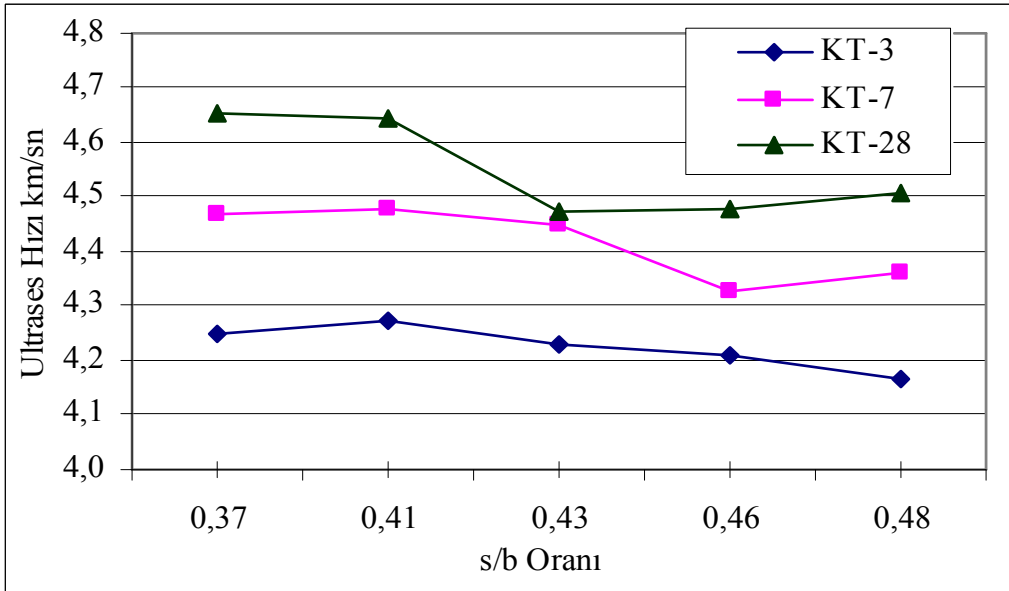
7. gün KT ve Ç serisi numunelerine uygulanan ultrases geçiş hızı deneyinde 4,48 km/sn ile KT-2 serisinde en yüksek değer ve Ç-5 serisinde 4,14 km/sn ile en düşük değer elde edilmiştir. Ultrases hızı değerlerinin serilere göre sonuçları Şekil 4.10'da görülmektedir.

3. ve 7. gün deneylerinde en yüksek sonucu veren, KT-2 serisi taze betonunun yerleşebilme ve sıkışabilme özelliklerinin iyi olması sonucu olduğu düşünülmektedir. KT-1 serisinde ise yerleşebilme ve sıkışabilme özelliklerinde zorluklar yaşandığı taze beton deneyleri kısmında belirtilmiştir.

KT ve Ç serisi numunelerinin 28. gün yaşında ultrases deneyi sonucu ses geçiş hızları Şekil 4.11'de görülmektedir. Buna göre KT serisi numuneler 3. ve 7. gün yaşındaki Ç serilerine göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu serilerde en yüksek değer 4,66 km/sn ile KT-1 serisinde, en düşük değer ise 4,37 km/sn ile Ç-5 serisinde olmuştur.

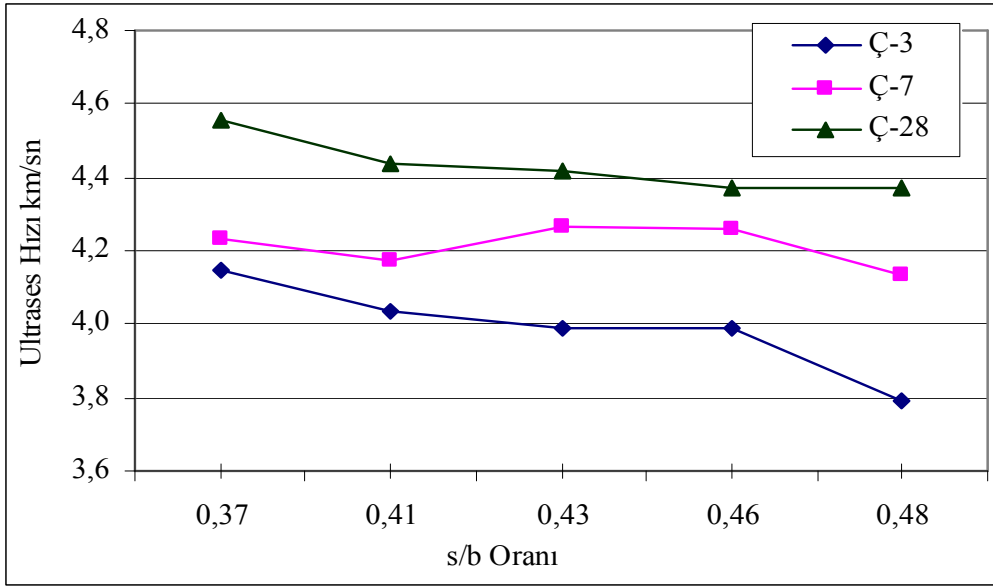


Şekil 4.11 KT ve Ç serileri 28. gün ultrases sonuçları



Şekil 4.12 KT agregası 3. gün, 7. gün ve 28. gün ultrases sonuçları

KT serileri arasında ultrases sonuçları karşılaştırıldığında Şekil 4.12'de görüldüğü gibi 28. gün serilerinin sonuçları daha yüksek çıkmıştır. 7. gün serilerinin 3. gün serilerine oranla daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda beton yaşı arttıkça içyapının daha kararlı hale gelerek katılaşmasıyla boşlukların azalması ve bunun sonucunda ultrases geçiş hızının arttığı söylenebilir. Bir diğer sonuçsa s/b oranının artmasıyla ultrases geçiş hızının azaldığıdır.



Şekil 4.13 Çakıl agregası 3. gün, 7. gün ve 28. gün ultrases sonuçları

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi Ç serilerinde de sonuçlar KT serilerinin gösterdiği eğilimdedir. Ç serilerinde de beton numunesinin yaşı arttıkça ultrases geçiş hızı artmaktadır.

3., 7. ve 28. gün ultrases deney sonuçlarının ortak eğilimi su/bağlayıcı oranının artmasıyla ultrases deney sonuçlarının azalmasıdır. Bunun sebebi, beton numunesi içerisinde su miktarının artması sonucu boşluk oranının artmasıyla ses geçiş hızının düşmesidir. Boşluk oranı ile ses geçiş hızı ters orantılıdır boşluklu yapılar sesin geçmesini engellediği literatürden bilinmektedir. Dolayısıyla s/b arttıkça boşluk oranı artmakta ve buda ultrases geçiş hızını azaltmaktadır.

Yapılan bütün ultrases deneylerinde KT serisinin deney sonuçları, Ç serisinin deney sonuçlarından yüksek çıkmıştır. Bunun BHA artmasıyla orantılı olduğu düşünülmektedir. Su/bağlayıcı oranının artmasıyla BHA ağırlıkların azaldığı verilen deney sonuçlarında görülmüştür. Azalmanın sebebinin beton içerisinde oluşan hava boşluklarına bağlanabilir. Bir başka destekleyici deney ise basınç dayanımı deneyidir. Bu deneyde de s/b oranının artmasıyla basınç dayanımında düşüşler görülmüştür. Boşluklu beton yapısının beton basınç dayanımını düşürdüğü de yine literatürden

bilinmektedir. Bu çalışmada da s/b oranının artması ile ultrases hızının azalması sonuçlarının uygunluğunu göstermektedir.

Her iki agrega türünde de beton yaşı arttıkça ultrases hızı da artmıştır. Bu artışta, en önemli neden olarak beton yoğunluğunun zamanla hidrate olan ürünler sayesinde artmasına bağlanabilir. Yani BHA artmasıyla ses dalgaları daha hızlı geçerken, yoğunluğu az olanlarda daha yavaş ses geçişi olmaktadır. Ultrases deneyinin beton dayanımında kullanımı bu prensiple açıklanabilir

4.2.3 Basınç dayanımı sonuçları

KT ve Ç serisi numunelerin 3. gün, 7. gün ve 28. gün basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen değerler MPa (N/mm²) olarak Çizelge 4.7’de verilmiştir. Deney sonuçları her yaş dayanımı için ve her serinin zaman içerisinde kazandığı dayanım artışı olarak değerlendirilmiştir.

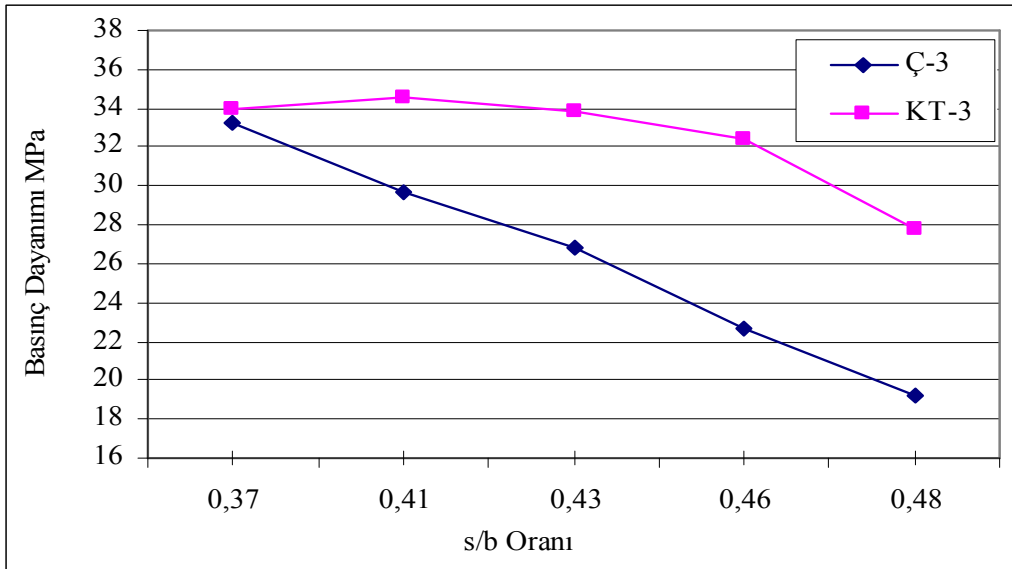
Çizelge 4.7 KT ve Ç serilerinin 3., 7. ve 28. gün basınç dayanımı sonuçları

Seri Adı	s/b Oranı	Basınç Dayanımı MPa		
		(3. gün)	(7. gün)	(28. gün)
KT-1	0,37	33,90	46,80	49,85
KT-2	0,41	34,58	44,25	48,96
KT-3	0,43	33,81	42,71	48,30
KT-4	0,46	32,46	42,28	43,38
KT-5	0,48	27,77	36,91	42,12
Ç-1	0,37	33,25	42,82	50,14
Ç-2	0,41	29,67	37,95	49,75
Ç-3	0,43	26,80	36,16	43,27
Ç-4	0,46	22,63	34,50	40,12
Ç-5	0,48	19,27	28,84	33,18

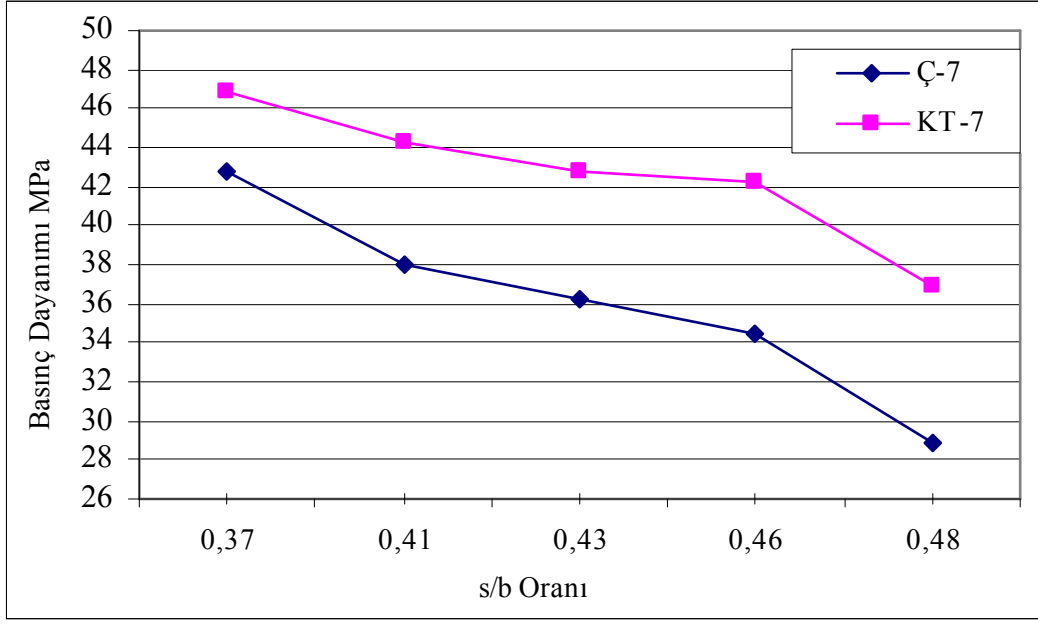
4.2.3.1 KT ve Ç Serilerinin Yaşlarına Göre Basınç Dayanımı Sonuçları

Çakıl ve kırma taş serilerinin 3. gün, 7. gün ve 28. gün karşılaştırmaları sırasıyla Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere kırma taş serileri basınç dayanımı bakımından çakıl serilerine göre daha yüksek mukavemet göstermiştir. Ancak s/b oranının artmasıyla basınç dayanımlarında önemli miktarda düşme olduğu gözlenmiştir.

3. gün basınç dayanımı sonuçlarında KT'nin 5 seride de yüksek değerler verdiği görülmektedir. KT-2 serisinin en yüksek basınç değerine ulaştığı görülmektedir. Bunun KT-1 serisinde yaşanan akışkanlık sorununun s/b oranının artmasıyla KT-2'de yeterli düzeye gelmesiyle daha iyi bir yerleşme sonucu iyileştiği düşünülmektedir. Aynı zamanda BHA deneyinde artan s/b oranının BHA değerlerinde düşüşe sebep olduğu belirtilmişti. BHA'nın düşmesi betonda boşluk oranının artması anlamına gelmektedir. Bunun sonucunda boşluk oranı yüksek beton numunelerinin basınç dayanım sonuçlarının da düşmesi normal karşılanmaktadır.

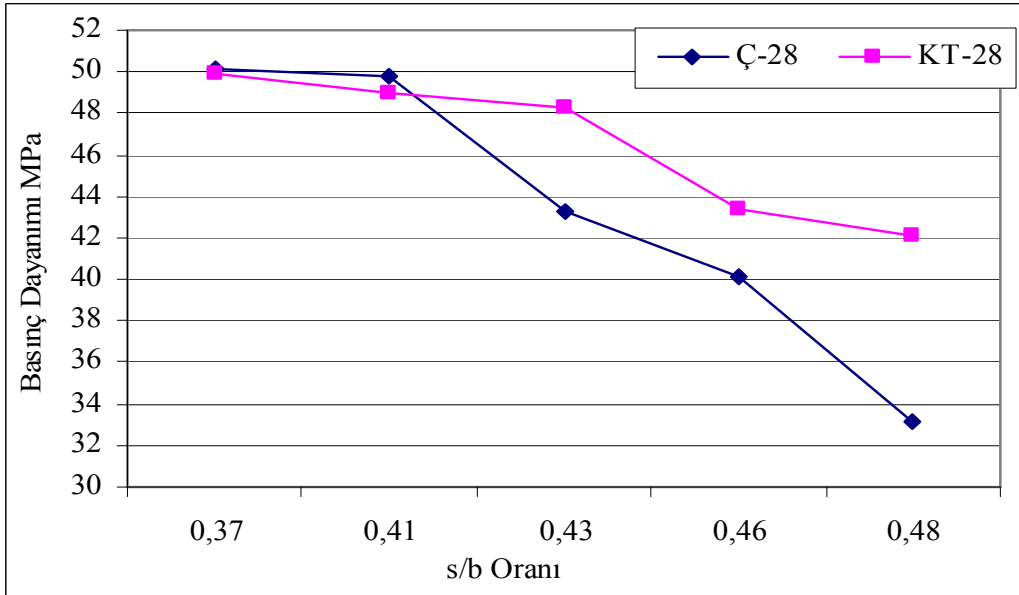


Şekil 4.14 KT ve Ç serileri 3. gün basınç dayanımı sonuçları



Şekil 4.15 KT ve Ç serileri 7. gün basınç dayanımı sonuçları

7. gün deney sonuçlarında iki agrega içinde serilerin aynı doğrultuda bir sonuç verdiği görülmektedir. Ancak KT sonuçlarının Ç serisi sonuçlarından yüksek olduğu görülmektedir. KT serilerinin yüksek sonuç vermesi KYB’de kırma taşın dayanımının çakıl agregasının dayanımından daha yüksek olduğu sonucunu vermiş bulunmaktadır.

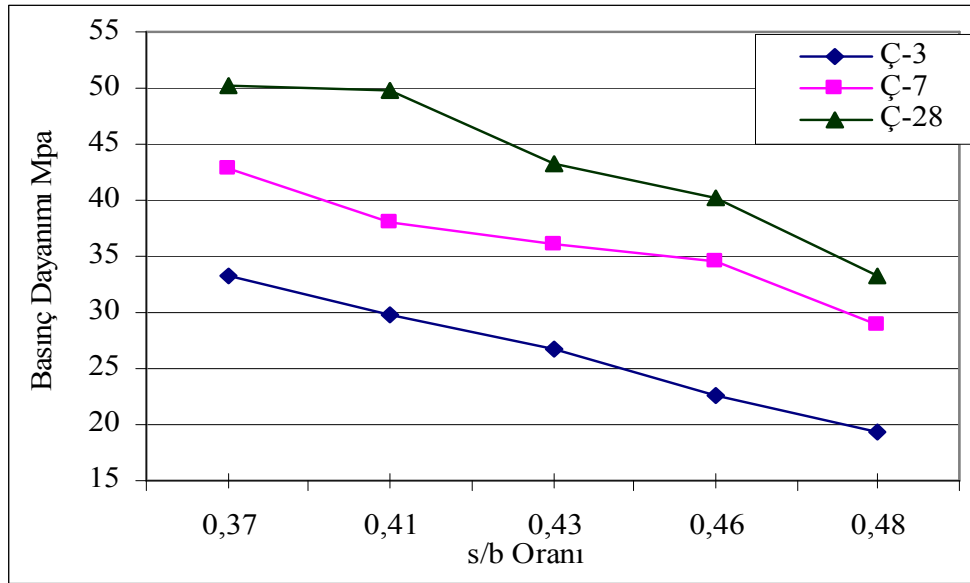


Şekil 4.16 KT ve Ç serileri 28. gün basınç dayanımı sonuçları

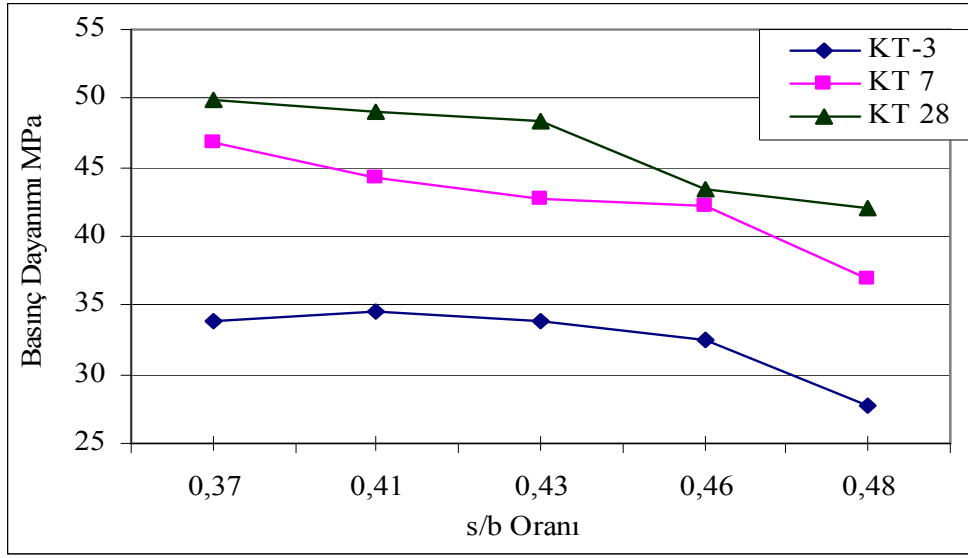
Şekil 4.19’da 28. gün deney sonuçlarında da 3. ve 7. gün deneylerinde görülen s/b oranı-basınç dayanımı eğrisi görülmektedir. Ancak Ç-1’in 3. gün deneylerinde olduğu gibi KT-1’le hemen hemen aynı değeri verdiği görülmektedir. Bunda s/b oranı en düşük seri olmalarından dolayı yerleşme kabiliyetlerini yeterli düzeyde gösterememeleri sonucu olduğu düşünülmektedir.

4.2.3.2 Serilerin Gün – Basınç Dayanımı İlişkisinin Karşılaştırılması

KT ve Ç serilerinin 3., 7. ve 28. günlük basınç dayanımının s/b oranlarına göre değişimleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir. Ç ve KT serilerinde s/b oranının artmasıyla basınç dayanımının da düşüşler görülmektedir.



Şekil 4.17 Ç serisi 3.-7.-28. gün basınç dayanımı sonuçları



Şekil 4.18 KT serisi 3.–7.–28. gün basınç dayanımı sonuçları

Her iki agrega türü için yapılan basınç dayanımı deneyinde beton yaşı arttıkça dayanım artmaktadır. Ancak s/b oranı arttıkça beton basınç dayanımı azalmaktadır. Bu azalma şöyle açıklanabilir; su/bağlayıcı oranının artmasıyla beton içerisinde oluşan boşluk oranı da artmaktadır. Boşluk oranının artmasıyla beton basınç dayanımında düşüşe sebep olmaktadır. Ultrases deneylerinde de s/b oranının artmasıyla ultrases hızının da düşüş göstermesi iki deneyin birbirini destekler şekilde sonuçlar veriğine bağlanabilir. Bir başka bulguda yoğunluğun azalmasının basınç dayanımının azalmasına sebep olmasıdır. Bu sebeplerin daha çok içyapıya bağlı kursulardan kaynaklandığı söylenebilir.

4.2.4 Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

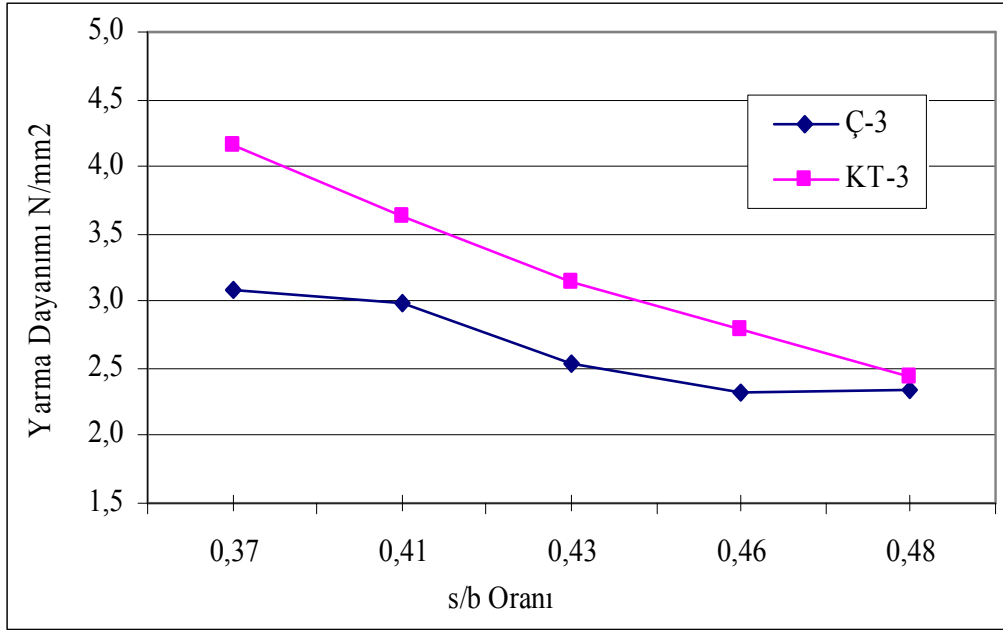
KYB mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yapılan deneylerden birisi de yarmada çekme deneyidir. Aşağıda verilen Çizelge 4.8'de agrega serilerinin 3., 7. ve 28. gün yarmada çekme deneyi sonuçları (MPa) verilmiştir. Yarma çekme dayanımı sonuçları KT ve Ç serileri arasında karşılaştırarak ve serilerin zaman içinde dayanım artışı olarak ele alınmıştır.

Çizelge 4.8 Ç ve KT serisi 3., 7. ve 28. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları

KYB Türü	s/b	MPa		
		3. Gün	7. Gün	28. Gün
Ç	0,37	3,1	4,8	4,3
	0,41	3,0	3,3	3,9
	0,43	2,5	3,2	3,6
	0,46	2,3	3,1	3,3
	0,48	2,3	2,7	3,2
KT	0,37	4,2	3,9	4,9
	0,41	3,6	3,8	4,5
	0,43	3,1	3,7	3,9
	0,46	2,8	3,4	3,6
	0,48	2,4	3,0	3,5

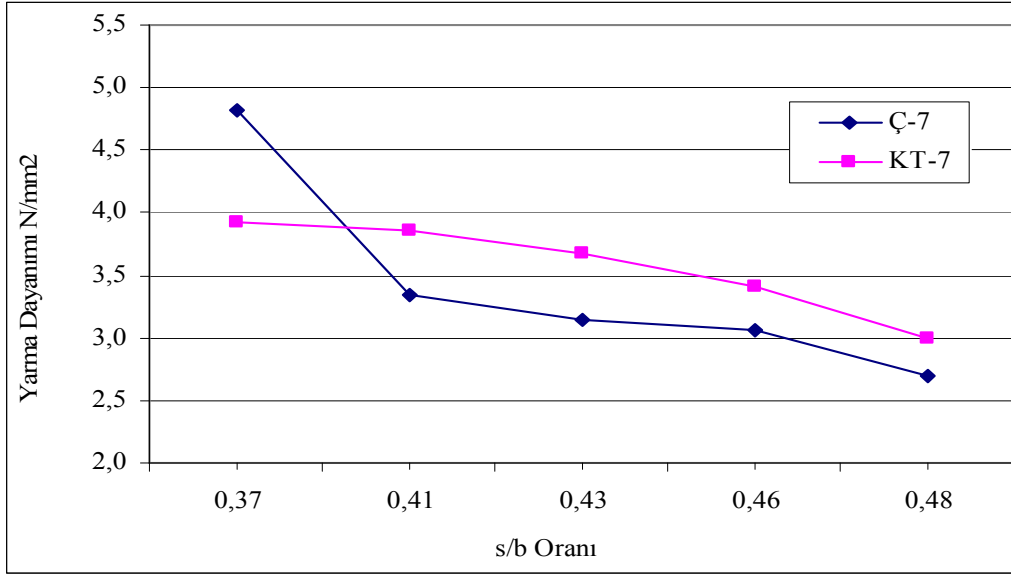
4.2.4.1 Günlere göre Ç ve KT Serilerinin Sonuçları

3. gün dayanımı sonuçlarında KT serisinin daha yüksek değerler verdiği Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de görülmektedir. İki agreganın serileri içinde s/b oranının artmasıyla dayanımda düşüler olmuştur.



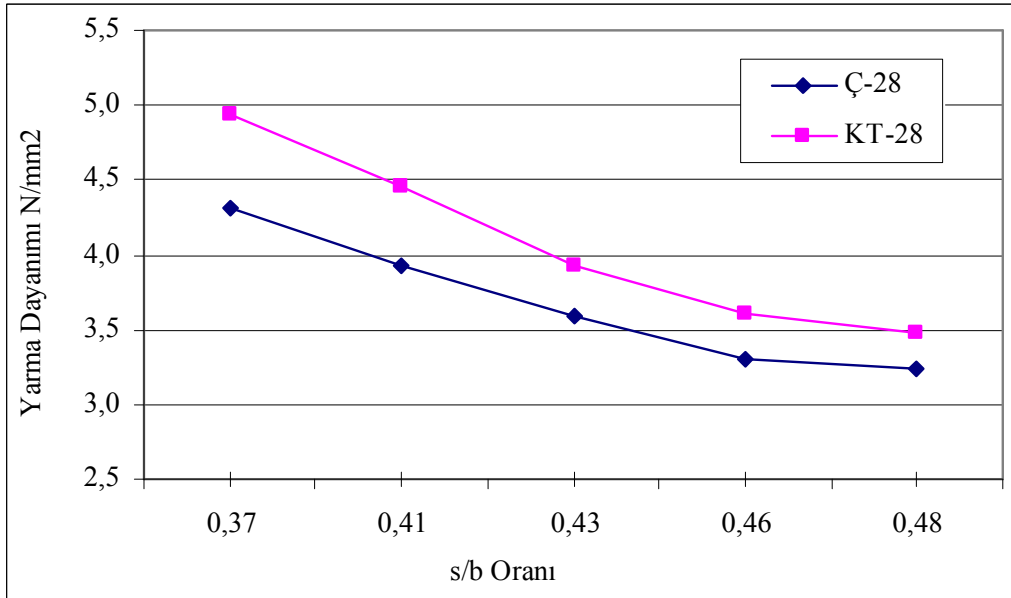
Şekil 4.19 Ç ve KT serisi 3. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları

7. gün serilerde Ç-1 serisi KT-1 serisinden daha yüksek sonuç vermiştir. Ancak diğer serilerden yine KT serilerinin daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Ç-1 serisinin daha yüksek sonuç vermesi yerleşme sırasında çakıl agregasının yüzey şekillerinin daha oval olmasından dolayı gösterdiği yerleşme yeteneğinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra işçilik hatası olduğu da düşünülmektedir. Taze beton deneylerinde Ç-1 ve KT-1 serilerinde yerleşme problemi yaşandığı ve tesviye yapıldığı belirtilmiştir. Bu oluşan sonucunda bu yerleştirmede işçilik etkeninin olmasından olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.20 Ç ve KT serisi 7. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları

Şekil 4.21 incelendiğinde KT serilerinin Ç serilerine göre daha yüksek yarmada çekme dayanımlarına sahip olduğu görülmektedir. Bu anlamda her iki deney de birbirini desteklemektedir.



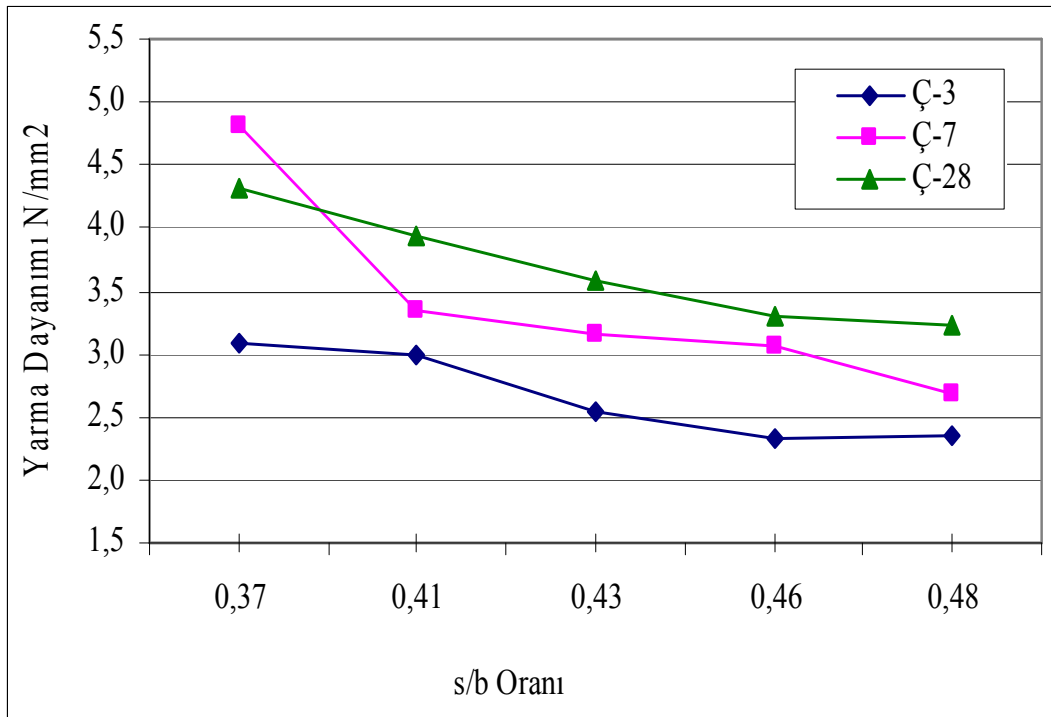
Şekil 4.21 Ç ve KT serisi 28. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları

Aynı zamanda s/b oranının artmasıyla yarmada çekme dayanımında düşüş olduğu görülmektedir. Bu sonuçta yine beton basınç dayanımı sonuçlarıyla uyumaktadır. Yani

s/b oranının artmasıyla boşluk oranında artış oluşmuş ve bunun sonucunda boşlukların dayanım düşüşüne neden olduğu söylenebilir.

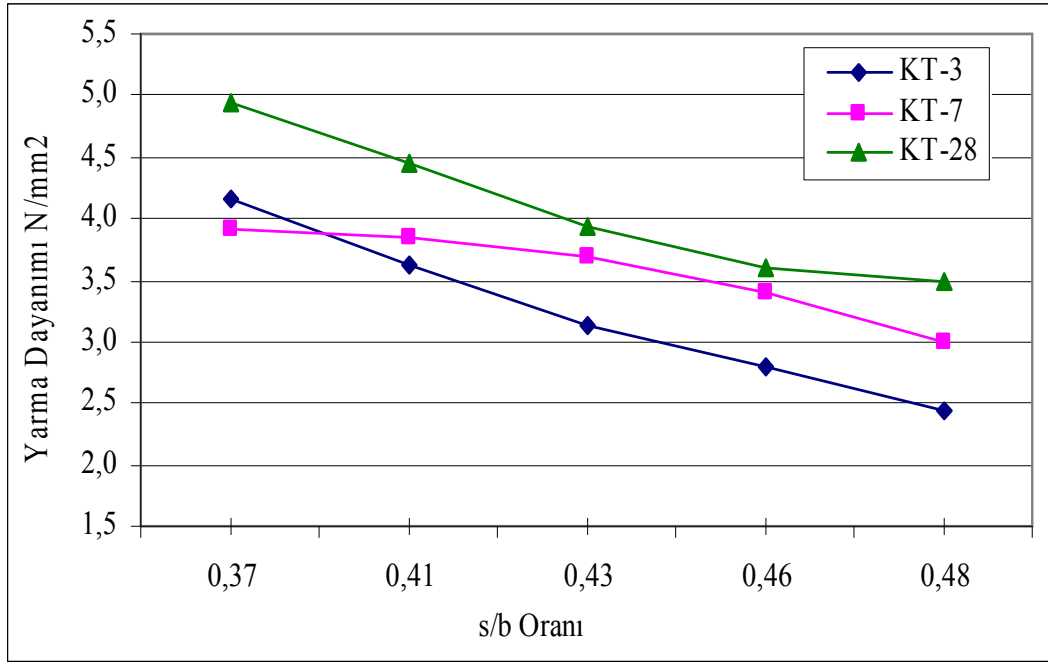
4.2.4.2 Serilerin Gün – Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

KT ve Ç serilerinin yarmada çekme dayanımı sonuçları bulunduğu yaşa göre yarma dayanımı-s/b oranı arasında değerlendirmesinin yanında yaş-yarmada çekme dayanımı ilişkisi de değerlendirilmelidir. Buna göre elde edilen veriler KT ve Ç serisi için 3., 7. ve 28. gün sonuçları verilerek değerlendirilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te görülmektedir.



Şekil 4.22 Ç serisi 3.-7.-28. güne yarmada çekme dayanımı sonuçları

Ç serilerinin gün-yarmada çekme dayanımı karşılaştırmasının yapıldığı Şekil 4.22'de görüldüğü üzere zamanla dayanım doğru orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 4.23 KT serisi 3.-7.-28. gün yarmada çekme dayanımı sonuçları

KT serisi zaman-yarmada çekme dayanımı karşılaştırmasının gösterildiği Şekil 4.23'te zaman içerisinde yarmada çekme dayanımının arttığı görülmektedir.

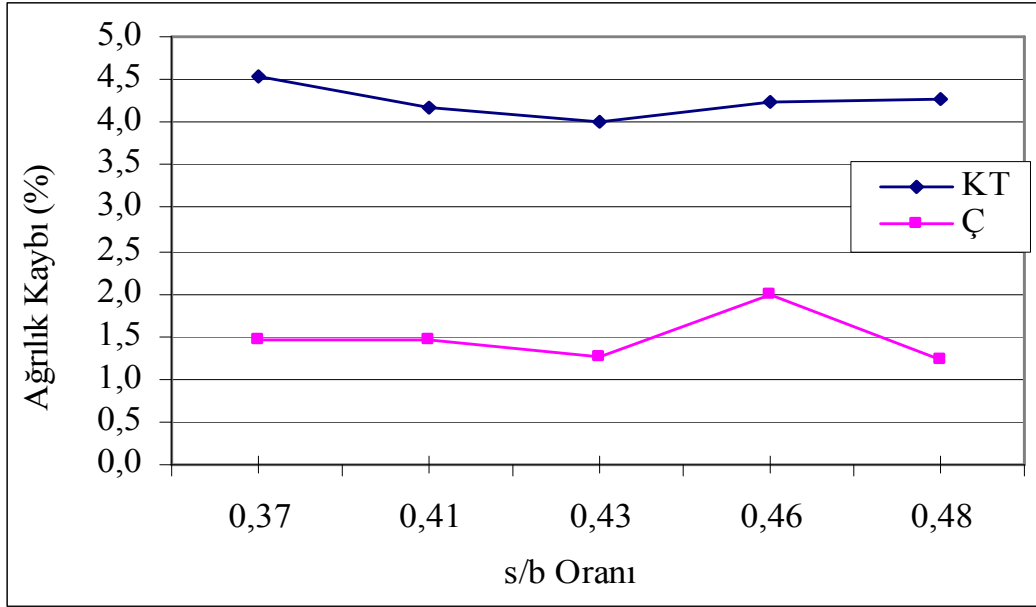
Her iki agrega serileri içinde zamanla oluşan dayanım artışının, beton yaşının artmasıyla hidrate olan ürünlerin betona kazandırdığı dayanımdan ileri geldiği düşünülmektedir. Ancak s/b oranının artmasıyla dayanımın düştüğü her iki agrega serilerinde de görülmektedir. Bunun s/b oranının artmasıyla beton karma suyu miktarının artması ve bu suyun buharlaşmasıyla beton içerisinde geride bıraktığı hava boşluk miktarının artışı sonucunda dayanımın düştüğü söylenebilir.

4.2.5 Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşınma deneyi yöntemi olarak böhme aşınma cihazıyla deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9'da ağırlık kaybı oranı olarak her iki agrega türü için % olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9 Ç ve KT serisi deney sonrası hacim kayıpları

SERİ	s/b	Ç Ağırlık Kaybı %	KT Ağırlık Kaybı %
1	0,37	1,46	4,54
2	0,41	1,46	4,16
3	0,43	1,25	4,02
4	0,46	1,97	4,24
5	0,48	1,24	4,27



Şekil 4.24 Ç ve KT serisi ağırlıkça aşınma kaybı sonuçları

Kırma taş ve çakıl agregalarının 28. gün yaşındaki numunelerine uygulanan böhme aşınma deneyi sonucu grafikteki veriler elde edilmiştir. Bu verilere göre KT serisi betonların aşınmaya karşı daha fazla kayba uğradığı görülmektedir. Bunun dayanım olarak daha iyi sonuçlar veren KT serilerinin agregalarının köşeli yüzeylerinin sürtünme sırasında kırılarak daha büyük parçalar halinde aşınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çakıl agregaları ise yuvarlak ve daha pürüzsüz yüzeyleri sonucu aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğu düşünülmektedir.

4.2.6 Donma Çözülme Dayanıklılığı Sonuçları

KYB’de farklı agrega türlerinin dayanım ve dayanıklılığa etkisinin araştırıldığı kırma taş ve çakıl serileri üzerinde yapılan donma-çözülme deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de verilmiştir. Donma-çözülme deneyi 28. gün her iki seriden 70x70x70 mm ölçülerinde küplerden oluşan 3’er adet numuneye uygulanmıştır.

Döküm sırasında özellikle 0,37 s/b oranına sahip serilerde kendiliğinden yerleşme güçlüğü gösterdiği gözlenmiştir. Ancak su/toz oranının düşük olmasından dolayı taze betonun içerisinde bulunan suyun buharlaşması sonucu oluşan hava boşluklarının da az olduğu düşünülmektedir. DÇ sonrası yaşanan ağırlık kaybının kapiler boşluklara giren suyun donarak hacminin genişmesi sonucu, beton numunede parçalanma, çatlama ve ayrışmalara sebep olduğu görülmüştür. Bununla bağlantılı olarak DÇ deneyinden daha az etkilendiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.10 Ç Serisi Deney Sonuçları ve DÇ Sonrası Değerlerin Oranları

Seri Adı	Donma Çözülme Öncesi			Donma Çözülme Sonrası						
	Kuru Ağır. gr	U.ses Hızı km/sn	Basınç Day. MPa	Kuru Ağırlık gr	U.ses Hızı km/sn	Basınç Day. MPa	Ağırlık Kaybı gr	Basınç Day. Kaybı %	Ağırlık Kaybı Oranı %	Ultrases Hızı Düşüş Oranı %
Ç-1	905,3	4,42	51,29	867,7	3,66	34,2	37,60	33,30	4,1	17,0
Ç-2	879,4	4,39	49,30	862,3	3,82	17,7	17,03	64,00	1,9	13,1
Ç-3	837,2	4,39	42,00	812,0	2,99	35,9	25,17	14,43	3,0	32,0
Ç-4	805,2	4,36	38,43	792,0	2,39	24,0	13,17	37,52	1,6	45,2
Ç-5	877,9	4,41	33,54	861,0	2,20	24,6	16,87	26,57	1,9	50,2
Ort	860,9	4,40	42,91	839,0	3,01	27,3	21,97	35,16	2,55	31,5

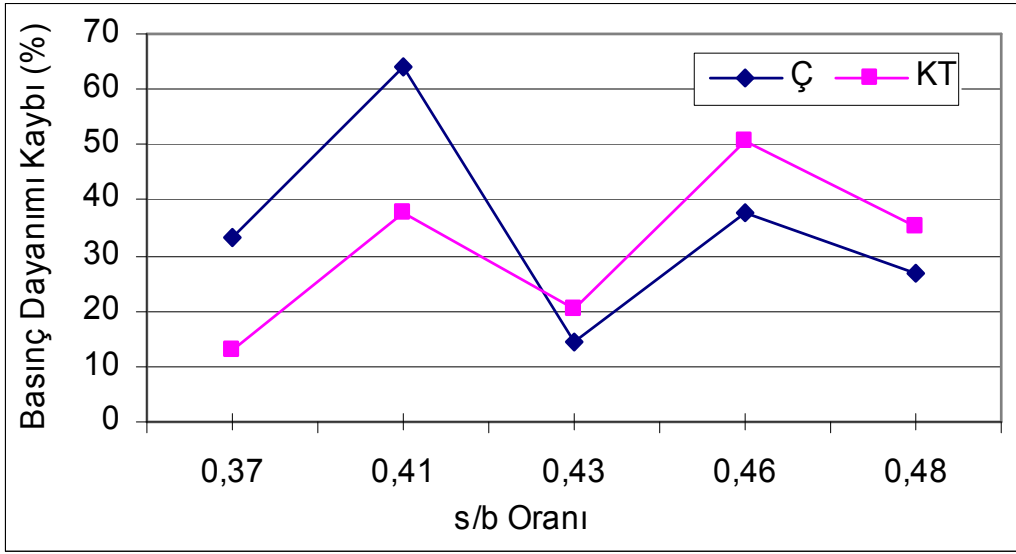
Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi kırma taş kullanılarak üretilen KT-1 ve KT-2’nin basınç dayanımı değerleri ile Çizelge 4.10’da verilen çakıl agregası Ç-1 ve Ç-2 serileri basınç dayanımı değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. KT-3, KT-4 ve KT-5

serilerde ise basınç değerlerinin, çakıl agregalı Ç-3, Ç-4, Ç-5 serilerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.11 KT serisi Deney Sonuçları ve DÇ Sonrası Değerlerin Oranları

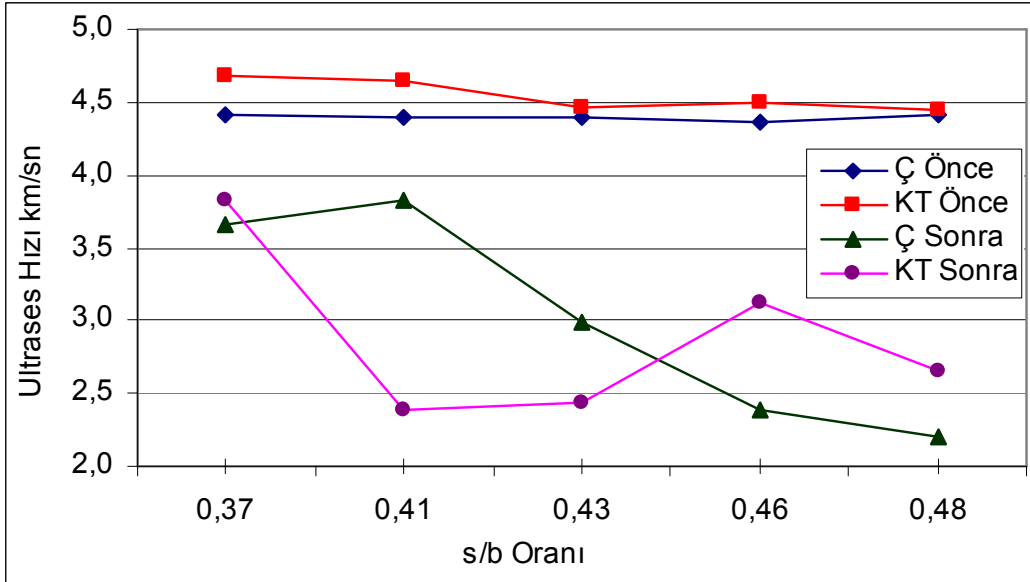
Seri Adı	Donma Çözülme Öncesi			Donma Çözülme Sonrası						
	Kuru Ağır. gr	U.ses Hızı km/sn	Basınç Day. MPa	Kuru Ağırlık gr	U.ses Hızı km/sn	Basınç Day. MPa	Ağırlık Kaybı gr	Basınç Day. Kaybı %	Ağırlık Kaybı Oranı %	Ultrases Hızı Düşüş Oranı %
KT-1	863,9	4,68	49,60	855,3	3,82	43,3	8,60	12,73	1,00	18,5
KT-2	992,5	4,65	49,00	935,0	2,39	30,4	57,47	38,05	5,79	48,5
KT-3	925,6	4,46	48,53	903,0	2,44	38,6	22,63	20,36	2,45	45,4
KT-4	857,9	4,50	45,48	769,3	3,12	22,4	88,53	50,73	10,32	30,8
KT-5	944,1	4,44	42,26	920,3	2,65	27,4	23,80	35,27	2,52	40,3
Ort	916,8	4,55	46,97	876,6	2,88	32,4	40,21	31,43	4,39	36,6

İlk iki seride çakıl serisinin basınç değerleri az da olsa yüksek çıkmıştır. Bunun sebebinin kırma taş serilerinde akışkanlığın düşük olduğu şartlarda, kalıba yerleşmede çakıl serilerine oranla daha az sıkışma yeteneğine sahip olması olarak açıklanabilir. Keza doldurma yeteneği ölçen çökmede yayılma deneyinde Ç serilerinin genel olarak daha yetenekli oldukları, taze beton deneyleri bölümünde grafiklerle verilmiştir. Kırma taş agreganın yüzey pürüzlülüğü ve köşeli yapısı sebebiyle yerleşme yeteneğinin, s/b oranının artarak akışkanlığın arttığı serilerde, çakıl serilerine göre daha yüksek olduğu ve bunun neticesinde donma-çözülme öncesi daha yüksek basınç dayanımı neticelerine ulaşıldığı Şekil 4.25'deki KT-3, KT-4 ve KT-5 eğrilerinde görülmektedir.



Şekil 4.25 Ç ve KT serisi donma çözülme sonrası basınç dayanımı kaybı oranları

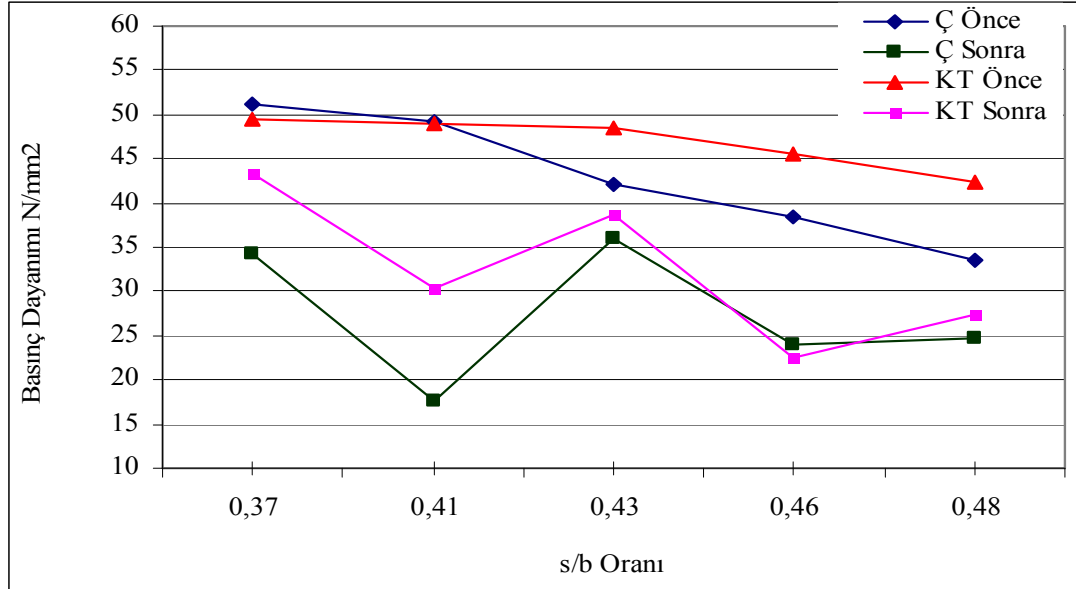
Donma çözülme sonrası basınç dayanımının düştüğü (Şekil 4.25) ve bununla doğru orantılı olarak ultrases hızının da düştüğü (Şekil 4.26) görülmektedir. Literatürden de ultrases hızıyla basınç dayanımı arasındaki bu orantı bilinmektedir.



Şekil 4.26 Donma-çözülme öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı sonuçları

Şekil 4.26'da su/toz oranının artmasıyla ultrases hızının düştüğü görülmektedir. Bu sonucun su oranının artmasıyla doğru orantılı olarak boşluk oranının arttığı, dolayısıyla

ultrases geçiş süresinin yükselmesine yol açtığı, bunun da ultrases hızını düşürdüğü görülmüştür.



Şekil 4.27. Donma çözülme deneyi basınç dayanımı ilişkisi

Donma-çözülme deneyinde Ç ve KT serilerinin basınç dayanımlarında düşüşler görülmüştür (Şekil 4.27). Ç ve KT serilerinde donma çözülme deneyi öncesinde basınç dayanımı ilişkisi ile donma-çözülme deneyi sonucunda basınç dayanımı ilişkisi benzerdir. Donma-çözülme öncesinde KT serilerinin basınç dayanımı daha yüksek sonuçlar vermişti bu donma-çözülme sonunda da yaklaşık aynı şekilde devam etmiştir.

Donma-çözülme deneyi öncesinde elde edilen ultrases hızlarının su-bağlayıcı oranının artmasıyla birlikte artan boşluk oranı nedeniyle daha düşük değerler aldığı görülmekteyse de bu azalma önemli derecede değildir. Hatta çakılla üretilen serilerdeki ultrases hızlarında çok az düşüş gözlenmiştir. Donma-çözülme deneyi sonrası serilerdeki ultrases hızı değişimleri incelendiğinde, çakılla üretilen serilerde düzenli bir azalma gözlenmektedir. Bunun sebebi de artan su-bağlayıcı oranıyla serilerin boşluk oranlarının artması ve ultrases dalgalarının yolunu uzatarak geçiş sürelerini arttırmalarıdır. Diğer yandan KT serilerinde de bir azalma görülmekteyse de, bu azalma düzenli değildir. Bunun sebebi de kırma taş agregalarının köşeli yapıları nedeniyle boşluk oranlarının düzenli olmaması olarak belirtilebilir.

Genel itibariyle incelendiğinde hem ağırlık kaybı hem de dayanım kaybı değişimleri incelendiğinde, yine kırma taş agregalarının köşeli yapılarından dolayı kalıba yerleştirilmeleri sırasında çakıl agregaları kadar düzenli bir şekilde yerleşmemiş olmasından dolayı serilerdeki boşluk dağılımları da düzensiz olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü kırma taşla üretilen serilerde donma-çözülme sonrasında elde edilen dayanım ve ağırlık kayıpları incelendiğinde su-bağlayıcı oranının azalmasıyla düzenli bir artış veya azalma elde edilememiştir. Çakıl agregaları yuvarlak şekilleri sayesinde betonun akışkanlığını arttırmışlar ve kalıp içerisinde kırma taş agregalarına göre çok daha düzenli dağılarak doluluğu sağladıkları belirtilebilir.

Bununla birlikte şunu da belirtmek gerekir ki; su-bağlayıcı oranının artmasıyla birlikte serilerdeki boşluk miktarı da artmaktadır. Artan boşlukların su ile dolarak, suyun donması sonucunda oluşturduğu iç basınç nedeniyle bu boşluklar içerisinde daha dolu yapıya sahip olan serilere göre daha fazla iç gerilmeler oluşturur. Oluşan iç gerilmeler nedeniyle betondaki boşluk yapısı artar, donma-çözülme periyotlarının devam etmesiyle bu boşluklar daha fazla suyla dolarak iç gerilmelerin artmasına neden olur. Artan iç gerilmeler nedeniyle özellikle betonun dış yüzeylerine yakın bölgelerde parça kopmaları ve ayrışmalar başlar. Sonuç olarak su-bağlayıcı oranının artmasıyla serilerin donma-çözülme sonrasında dayanım ve ağırlık kayıplarının artması beklenir.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

5.1 Taze Beton ile İlgili Sonuçlar

- Yayılma deneyleri sonucu çakıl agregası kullanılan serilerin daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Bu sonucun kırma taşın pürüzlü ve köşeli yapısının yayılmaya engel teşkil ettiği, çakıl agregasının ise oval yapısı ve pürüzlerinin daha az olması sebebiyle yayılma değerini arttırdığı söylenebilir.
- Doldurma yeteneğinin ölçüldüğü çökmede yayılma T_{500} ve V hunisi deneylerinde 0,37 olan s/b oranının taze betonda yeterli akışkanlığı sağlayamadığı görülmüştür.
- V hunisi T_5 deneyinde EFNARC sınır değerleri arasına Ç-2, Ç-3 ile KT-3, KT-4 serileri girebilmiştir. Ç serilerinin daha düşük s/b oranı ile sınır değerler arasına girdiği, ancak s/b oranının artmasıyla alt sınır değerinin altında sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Çökmede yayılma deneyinde KT serilerinde KT-2 , KT-3 ve KT-4 serisi SF1 sınıfına, KT-5 ise SF3 sınıfına girmektedir. Aynı deneyde Ç serilerinden Ç-2, Ç-3 ve Ç-4 serileri SF3 sınıfına girmektedir. Ç-1 serisi yeterli akışkanlığı göstermediğinden en alt sınır değerden düşük ve Ç-5 serisi yüksek akışkanlıktan dolayı üst sınır değerinin üzerinde sonuç elde edilmiştir. Buna göre uygun s/b oranları 0,41; 0,43 ve 0,46 aralığında uygun olmaktadır.
- Çökmede yayılma T_{500} deneyinin için Ç serilerinde EFNARC sınır değerleri olan 2-5 sn arasında sonuç alınamamıştır. KT serilerinde ise KT-2 serisi 4,16 sn ile sınır değerler arasında sonuç veren tek seri olmuştur.
- Ayrışmaya direnç yeteneğinin ölçüldüğü V_{T5} deneyinde Ç-2 766 mm; Ç-3 794,2 mm ve KT-3 10,52 mm; KT-4 9,81 mm ile EFNARC sınır değerleri

arasında sonuç vermiştir. 0,37 s/b oranı istenen düzeyden düşük bir sonuç verirken 0,48 s/b oranı istenen sınır değerden yüksek sonuç vermiştir.

- Geçebilme yeteneğinin ölçüldüğü doldurma kutusu deneyinde Ç serileri içerisinde EFNARC sınır değerleri olan % 90 ile % 100 arasında sonuç vermemiştir. KT serilerinde KT-5 % 100 doldurma oranıyla sınır değerler arasında sonuç vermiştir. Ç serilerinin bu geçebilme yeteneğinin, s/b oranının düşük olduğu serilerde yeterli akışkanlığın olmamasından diğer serilerde ise s/b oranının artmasıyla tane ayrışması ve bloklaşma olmasından olumlu sonuç alınamamıştır.
- L-kutusu deneyinde ERMCO sınıflandırmasına göre KT-2, KT-3 ve KT-4 serileri PA1 sınıfına ve KT-5 ise PA2 sınıfına girmektedir. KT-1 serisinin ise yeterli doldurma kabiliyeti olmadığından bir sonuç elde edilememiştir. Çakıl agregası serilerinde ise Ç-2, Ç-3, Ç-4, Ç-5 serileri PA2 sınıfına girmektedir. Ç-1 serisi V hunisi deneyinde akma yeteneği gösterememiş ve deney sonucu elde edilememiştir. Bu sonuca göre 0,37 s/b oranı her iki agrega türü içinde doldurma yeteneği açısından, akışkanlığı sağlamaya yeterli değildir.
- BHA olarak KT serileri, Ç serilerinden daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bunun kırma taş agregasının özgül ağırlığının çakıl agregasının özgül ağırlığından yüksek oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Taze beton deneylerinde s/b oranı olarak 0,37'nin düşük bir oran olduğu ve taze beton deneylerinde ve numunelerin kalıba yerleşebilmelerinde zorluklar yaşandığı görülmüştür. Sonuç olarak 0,37 s/b oranının KYB sınır değerlerini sağlayamayacağı belirlenmiştir. 0,46 ve 0,48 s/b oranının ise ayrışmaya ve bunun sonucunda bloklaşmaya sebep olabileceği görülmüştür. Bu s/b oranının kullanılması düşünüldüğü durumlarda toz madde oranının arttırılarak agrega ayrışmasının önüne geçilmesi önlemi alınmalıdır.

- Deneyleer sonucunda kırma taş ve çakıl agregası karşılaştırılarak sonuca varılmaya çalışılmıştır. Ancak her iki agreganın da yeterli olmayan yetenekleri vardır. Bunların giderilmesi için her iki agreganın birlikte kullanılması daha uygundur. Çünkü akıl agregası i sürtünmeyi azaltarak işlenebilirliği arttırırken, kırma taş agregası dayanım özellikleri yönünden KYB'nin daha iyi sonuçlar vermesini sağlayabilir.

5.2 Sertleşmiş Beton ile İlgili sonuçlar

- BHA ağırlık deneyi sonuçlarında s/b oranının artmasıyla birim ağırlıkta düşüşler görülmüştür. Bunun artan su miktarının zaman içerisinde suyun buharlaşmasıyla oluşan hava boşluklarının etkisiyle olduğu düşünülmektedir.
- KT serileri,  serilerinden daha yüksek BHA değerlerine sahiptir. Bunda kırma taş agregasının özgül ağırlığının çakıl agregasından yüksek olması sonucu olduğu düşünülmektedir.
- Ultrases değerlerinde KT serileri,  serilerinden 3., 7. ve 28. gün deneylerinde daha yüksek sonuçlar vermiştir. Artan BHA ile ultrases değerleri arasında doğru orantılı olarak artış görülmüştür. Dolayısıyla KT serilerinin BHA değerlerinin yüksek olması sonucunun, ultrases hızı değerlerinin de  serilerine göre yüksek olması sonucunu doğurduğu düşünülmektedir.
- Ultrases deneyinde beton yaşının artmasıyla doğru orantılı artış görülmüştür. Aynı artış diğer sertleşmiş beton deneyleri olan BHA, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneylerinde de görülmüştür. Bunda zamanla hidrate olan ürünlerin beton yoğunluğunu arttırması ile kazandırdığı dayanım olduğu düşünülmektedir.
- Ultrases deneyinin yapıldığı 3., 7. ve 28. gün yaşındaki hem KT hem  serilerinin ortak sonucu s/b oranının artmasıyla ultrases geçiş hızı sürelerinin

düşmesidir. Su/bağlayıcı oranı arttıkça beton içerisinde oluşan hava boşluğu miktarı artmaktadır. Artan boşlukların ultrases geçiş süresini uzattığı bunun da ultrases geçiş hızını düşürdüğü düşünülmektedir.

- Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneylerinde KT serileri, Ç serilerinden daha yüksek dayanımlara ulaşmıştır. Bunda kırma taş agregasının dayanım yüksekliğinin ve KT serilerinin BHA'larının yüksek olmasının sonucu olduğu düşünülmektedir.
- Basınç dayanımı-gün, yarmada çekme dayanımı-gün ilişkisi aynı doğrultudadır. Beton yaşı arttıkça basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı artmaktadır. Bunun sebebi olarak hidrate ürünlerinin zamanla arttırdığı yoğunluğun basınç dayanımına etkisi olduğu düşünülmektedir.
- Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı s/b oranının artmasıyla düşmektedir. Bunun artan hava boşluğu miktarının dayanıma olan negatif etkisinin yol açtığı düşünülmektedir.
- Böhme aşınma deneyi sonucu KT serileri Ç serilerine göre daha yüksek miktarda ağırlık kaybına uğramıştır. KT serilerinde % 4'ün üzerinde ağırlık kaybı olurken, Ç serilerinde % 2'nin altında ağırlık kaybı olmuştur. Çakıl agregasının oval ve daha az pürüzlü yüzeyine nazaran, kırma taş agregasının köşeli yüzeylerinin aşınma sırasında kırılma ve kopma gibi deformasyonlara uğramasının fazla kayba sebep olduğu görülmüştür.
- Su/bağlayıcı oranı ile betonun aşınma miktarı arasında belirgin bir sonuca varılamamıştır.
- DÇ deneyi sonucu Ç serilerinde ortalama % 2,55; KT serilerinde ortalama % 4,39 ağırlık kaybı oranı görülmüştür. KT serilerinde, Ç serilerine göre fazla ağırlık kaybı oranı olmasının kalıba yerleşirken köşeli yapıları sonucu hava

boşluklarına sebep olmaları ve köşelerinden kolay deforme olmaları sonucu olduğu düşünülmektedir.

- DÇ sonrası. KT serilerinde ortalama olarak % 36,6; Ç serilerinde ise % 31,5 ultrases hızı düşüşü gözlenmiştir. Ultrases hızındaki bu düşüş beton içerisinde oluşan boşlukların sonucunda olmuştur. Beton içerisine giren suyun donduğunda oluşturduğu iç basınç sonucu deformasyonlar olur ve her çevrim sonucunda bu boşluklar artar. Bu boşlukların artması sırasında beton içerisinde özellikle mukavemetin zayıf olduğu bölgelerden kopmalar ve ayrışmalar olur. KT'nin köşeleri en zayıf bölgeleridir ve DÇ sırasında KT agregalarının bu köşelerde oluşan deformasyonlarının fazla olması sonucu daha fazla kayba uğradığı düşünülmektedir.
- Basınç dayanımı kaybı KT serilerinde ortalama % 35,16; Ç serilerinde ortalama % 31,14 olarak bulunmuştur. KT serilerinin basınç dayanımında yaşadıkları bu kaybın fazla olması ultrases hızı düşüşü ve ağırlık kaybı oranı düşüşünde açıklandığı gibi fiziksel yapılarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Donma-çözülme çevrimleri sırasında KT agregasının daha fazla deformasyona uğraması beraberinde basınç dayanımı düşüşünü de getirmiştir.
- Kıрма taş ile çakıl agregasının KYB'nin taze beton özellikleri karşılaştırıldığında çakıl agregasının daha yetenekli olduğu görülmüştür. Ancak artan s/b oranı ile birlikte çakıl serilerinde ayrışma ve bloklaşma görülmüştür. Bu çakıl agregası ile yapılan serilerin yüksek akışkanlık istenen betonlarda kullanılırken s/b oranının dikkatli ayarlanması gerektiğini göstermektedir. Kıрма taş serilerinde ise çakıl serilerine göre yeterli akışkanlık daha yüksek s/b oranında sağlanmaktadır. Ancak KT serileri daha yüksek dayanım sonuçlarına ulaşmıştır. Bu bağlamda optimum s/b oranı ile çakıl agregasının taze beton özelliklerinin, kırma taş agregasının ise sertleşmiş betonda dayanım özelliklerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç itibarı ile hem taze beton hem sertleşmiş beton özellikleri iyi bir beton üretmek için iki agrega türünün uygun oranlarda karıştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aggoun, S., Kheirbek, A., Kadri, E.H., Duval, R., 2002, "Study of the Flow of Self-Compacting Concretes", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 259–266 p.
- Akman, M.S., 1987, "Beton Katkı Maddelerinin Ana İşlevleri ve Yan Etkileri", İTÜ İnşaat Fakültesi, Malzeme seminerleri, İstanbul, 11 Mayıs.
- Bury, M.A., Bühler, E., 2002, "Methods and Techniques for Placing Self-Consolidating Concrete – An overview of Field Experiences in North American Applications" First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 281–286 p.
- Carbo, C., Luco, F., Moreno, S., Torrent, R., 2002, "Self-Consolidating Concrete: Design and Performance", First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 99–104 p.
- Dehn, F., Holschemacher, K., Weibe, D., 2000, "Self-Compacting Concrete Time Development of the Material Properties and the Bond Behavior", Leipzig Universtr Annual Civil Engineering Report, Bo.5, 115–124 p.
- Demirtaş, M., 2001, "Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlar) Bileşimin Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 s.
- Dowson, A.J., 2002, "The application, self-compacting concrete (SCC) in precast products", BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry, Istanbul, Turkey, 8 p.
- The European Federation for Specialist Construction Chemicals, 2002, "Specification and Guidelines of SCC".

- Erdoğan, T.Y., 2003, “Beton”, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayın ve İletişim Şti, Ankara, Mayıs, 741 s.
- Ferraris, C.F., 1999, “Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report”, Journal of the National Institute of Standards and Technology, Volume 104, 461–478 p.
- Gürol, G., 1999, “Ekonomik beton için beton bileşenleri çimento/su/ince ve kaba agrega/kimyasal ve mineral katkıları”, Dizeyn ve Konstrüksiyon Dergisi, 1999/164 Haziran, 66–74 s.
- Karataş, M., 2007, “Mineral Katkı Dozajının ve Türünün Kendiliğinden Sıkışan Betondaki Donatı Aderansına Etkisi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Khayat, K.H., 1995, “Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties”, ACI Materials Journal, March-April, 164–171 p.
- Khurana, R., Topçu, O., 2000, “Role of Superplasticizers in the development of self compacting concrete”, Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume I, İstanbul, Turkey, 473–482 p.
- Leemann, A., Müh, B., Gasser, P., Holzer, L., 2006, “Influence of Compaction on the Interfacial Transition Zone and the Permeability of Concrete” Cement and Concrete Research, 36, 1425–1433 p.
- Noguchi, T., Oh, S.G., Tomosawa F., 1999, “Rheological Approach to Passing ability between Reinforcing Bars of Self-Compacting Concrete”, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A. Skarendahl and Ö. Petersson, 12 p.

- Okamura, H., 1997, Self-compacting highperformance concrete, Concrete International, 19, 7, 50–54 p.
- Ouchi, M., 1999, “Self-compacting concrete – Development, applications and investigations”, Nordic Concrete Research Committee Publications, 5 p.
- Özkul, M.H., 2002, “Beton teknolojisinde bir devrim: kendiliğinden yerleşen-sıkışan beton”, Türkiye Hazır Beton Birliği, Hazır Beton Dergisi, Temmuz Ağustos, 64–71 s.
- Postacıoğlu, B., 1987, "Beton". Cilt 2. Matbaa Teknisyenleri Basımevi İstanbul, 333–337 s.
- Postacıoğlu, B., 1989, “Beton: Cilt 2, Agregalar, Beton”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 404 sayfa.
- Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, Ü.A., Özkul, M.H., 2004, “Kendiliğinden yerleşen beton ve katkı-çimento uyumu”, Beton 2004 Kongresi, 10–12 Haziran, İstanbul, 213–224 s.
- Shoya, M., Aba, M., Sugita, S., Tsukinaga, Y., Tokuhashi, K., 1999, “Self compactibility of fresh concrete with non-ferrous metal slag fine aggregates”, Proceedings of the Fisrt International RILEM Symposium, Edited by A. Skarendahl and Ö. Petersson, 579–590 p.
- Skarendal, A., Rise. G., 1999, “Self-compacting concrete for increased productivity and improved performance”, BIBM 16th International Congress of the Precast Concrete Industry, Venice, 101–106 p.
- THBB, 2007, “Kendiliğinden Yerleşen Beton İçin Avrupa Kılavuzu”, Türkiye Hazır Beton Birliği, Nisan, 10–63 s.

- Tomasawa, F., Masuda, Y., Izumi I., Haykawa M., 1999, “AIJ recommend practice for high-fluidity concrete for building construction”, Proceedings of the First International RILEM Symposium, Edited by A. Skarendahl and Ç. Petersson, 775–786 p.
- Topçu, İ.B., 1996, “Akışkanlaştırıcı ve Dona Dayanım Katkılarının Beton Özelliklerine Etkisi”, 4. Ulusal Beton Kongresi, 30–31 Ekim- 1 Kasım, İstanbul, 45–53 s.
- Topçu, İ.B., 2006, “Akışkanlaştırıcı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Taze Beton Özelliklerine Etkisi” Türkiye Mühendislik Haberleri, /4, Sayı:34, 38- 40 s.
- Topçu, İ.B., Ünal, O., Uygunoğlu, T., 2007, “Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mineral Katkıların Taze Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması”, 2. Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 12–13 Nisan, Ankara, 181–193 s.
- TS EN 1008, 2003, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dâhil, Suyun Beton Karma suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197–1, 2002, Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
- TS EN 450–1+A1, 2008, Uçucu kül - Betonda kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
- Uygunoğlu, T., 2008, “Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Vachon, M., Daczko, J., 2002, “U.S. Regulatory Work on SCC”, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, 423–428 p.

İnternet Kaynakları**Erişim Tarihi**

<http://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/dosyalar/22.pdf>,

12.01.2009

<http://e-mo.imo.org.tr/DosyaDizin/WPX/Portal/Yayin/tmh/2004/434-BTopcu.pdf>

11.01.2009

<http://www.efca.info/pdf/SCC%20Guidelines%20May%202005.pdf>

24.01.2009

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Kurtuluş ARTIK
Doğum Yeri ADANA
Doğum Tarihi 10.10.1979
Medeni Hali Bekâr
Yabancı Dili İngilizce

Eğitim Durumu

(Kurum ve Bitirme Yılı)

Lise: Adana/İsmet İnönü Endüstri Meslek Lisesi, Yapı Bölümü, 1996.

Lisans: Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 2006.

Yüksek Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı.

Çalıştığı Kurumlar

Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnşaat Teknisyeni, 2005–2007
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Öğretim Görevlisi, 2007 - Halen

Yayınlar

Dal, M., Artık, K., 2008, “Geleneksel Mimaride Taş Alterasyonu”,
MERSEM 2008, Afyonkarahisar