



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAVA SÜRÜKLEYİCİ ve LİF KATKILARIN BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Berrak KIZILIRMAK

**DANIŞMAN
Prof. Dr.Fahriye KILINÇKALE**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

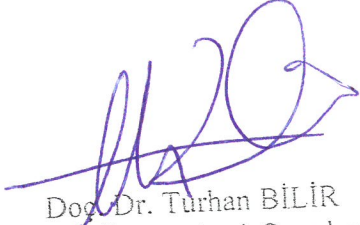
İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 18.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

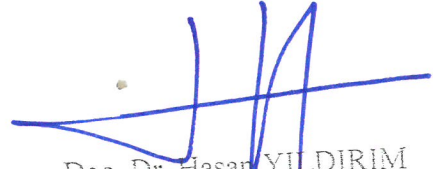
Tez Jürisi



Prof. Dr. Fahriye Mazlum KILINÇKALE (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Fakülte



Doç. Dr. Turhan BİLİR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Hasan YILDIRIM
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca benden desteğini esirgemeyen ve daima yanımda olan tez danışmanım Prof. Dr. Fahriye MAZLUM KILINÇKALE'ye bilgisi, özenle verdiği desteği ve değerli yönlendirmeleri için teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarımda olağanüstü sabırla zamanını ayırarak destek veren T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Hasan YILDIRIM'a ve değerli laboratuvar çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında ve kararımda yanımda olan, elimi hiç bırakmayan canım annem Dilara KIZILIRMAK ve canım babam İsmail KIZILIRMAK'a, her zaman ve her koşulda bana destek olan canım kardeşim İrmak KIZILIRMAK'a çok teşekkür ederim.

Tarih girmek için burayı tıklatın.

Berrak KIZILIRMAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. NORMAL BETONLAR	3
2.1.1. Taze Beton Deneyleri	3
2.1.1.1. Çökme Deneyi	3
2.1.1.2. Vebe Deneyi.....	4
2.1.1.3. Yoğunluk Deneyi	4
2.1.1.4. Hava İçeriği Deneyi	4
2.1.1.5. Sıkıştırma Faktörü Deneyi	5
2.1.1.6. Yayılma Tablası Deneyi	5
2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	5
2.2.2.1. Basınç Dayanım Deneyi	5
2.2.2.2. Yarmada Çekme Dayanım Deneyi.....	6
2.2.2.3. Eğilme Dayanım Deneyi	6
2.2.2.4. Basınç Altında Su İşleme Derinliği Deneyi	6
2.2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR	7
2.2.1. KYB’de Kullanılan Malzemeler.....	8
2.2.1.1. Çimento ve Karışım Suyu	8
2.2.1.2. Agrega	8
2.2.1.3. Katkı Maddeleri.....	8
2.2.2. KYB’de Uygulanan Deney Yöntemleri	9
2.2.2.1. Çökme-Yayılma Deneyi	9
2.2.2.2. V Hunisi Deneyi	10

2.2.2.3.	<i>U Kutusu Deneyi</i>	10
2.2.2.4.	<i>L Kutusu Deneyi</i>	11
2.2.2.5.	<i>J Halkası Deneyi</i>	12
2.2.3.	Kendiliğinden Yerleşen Beton Özellikleri	12
2.2.3.1.	<i>Doldurma Yeteneği</i>	12
2.2.3.2.	<i>Geçiş Yeteneği</i>	13
2.2.3.3.	<i>Ayrışmaya Karşı Direnç</i>	13
2.3.	LİFLİ BETON	14
2.3.1.	<i>Çelik Lif</i>	16
2.3.2.	<i>Polipropilen Lif</i>	19
2.4.	KİMYASAL KATKILAR	22
2.4.1.	Süper akışkanlaştırıcı.....	24
2.4.2.	Hava Sürükleyici Kimyasal Katkı (HSKK).....	25
3.	MALZEME VE YÖNTEM	27
3.1.	DENEY MALZEMELERİ.....	27
3.1.1.	Çimento	27
3.1.2.	Agrega	27
3.1.3.	Su.....	29
3.1.4.	Kimyasal Katkılar.....	29
3.1.4.1.	<i>Hava Sürükleyici Kimyasal Katkı</i>	29
3.1.4.2.	<i>Süperakışkanlaştırıcı</i>	29
3.1.5.	Lifler.....	30
3.1.5.1.	<i>Sentetik Lif</i>	30
3.1.5.2.	<i>Çelik Lif</i>	30
3.2.	BETON ÜRETİMİ.....	31
3.2.1.	Beton Üretim Aşamaları.....	32
3.2.2.	Beton Numune Boyutları.....	32
3.3.	UYGULANAN DENEYLER	32
3.3.1.	Taze Beton Deneyleri	33
3.3.1.1.	<i>Çökme Deneyi</i>	33
3.3.1.2.	<i>Birim Ağırlık Deneyi</i>	34
3.3.1.3.	<i>Hava İçeriği Deneyi</i>	34
3.3.2.	Sertleşmiş Beton Deneyleri	35
3.3.2.1.	<i>Basınç Dayanım Deneyi</i>	35

3.3.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi.....	36
3.3.2.3. Ultrases Deneyi	37
4. BULGULAR.....	38
4.1. TAZE BETON DENEYLERİ.....	38
4.1.1. Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları	38
4.1.2. Çökme Deneyi Sonuçları.....	38
4.1.3. Hava İçeriği Deneyi Sonuçları	39
4.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ.....	40
4.2.1. Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları.....	40
4.2.2. Yarmada Çekme Dayanım Deneyi Sonuçları.....	41
4.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları	41
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	44
5.1. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI.....	44
5.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI.....	44
5.3. ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	46
EKLER	52
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Çökme-yayıllma tablası deney şeması(Efnarc, 2005).....	10
Şekil 2.2: V hunisi deney şeması (Efnarc, 2005).....	10
Şekil 2.3: U kutusu deney şeması(Okamura ve Ouchi, 2003).....	11
Şekil 2.4: L kutusu deney şeması (EFNARC, 2005).....	11
Şekil 2.5: PL tipi (Üte, 2008).....	20
Şekil 2.6: Hava sürüklenmemiş ve sürüklenmiş betonların modeli (Ziaei-Nia vd., 2017)....	25
Şekil 3.1: Agregaların ve karışımın granülometri eğrisi.....	28
Şekil 3.2: Çökme deneyi uygulaması.....	33
Şekil 3.3: Birim ağırlık deney uygulaması.....	34
Şekil 3.4: Hava içeriği deney uygulaması.....	35
Şekil 3.5: Basınç dayanım deney uygulaması.....	36
Şekil 3.6: Yarmada çekme dayanım deney uygulaması.....	37
Şekil 3.7: Ultrases deney uygulaması.....	37

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: KYB için uygulanan deney metodları ve sınır değerler (Sertbaş, 2006).....	9
Tablo 2.2: Betonda kullanılan lif tiplerinin özellikleri (Kozak,2013).....	14
Tablo 2.3: Beton özelliklerinin lif kullanımı etkisinde performansları.....	15
Tablo 2.4: Çelik lif sınıfları.....	17
Tablo 2.5: PL özellikleri (Arazsu,2012).....	20
Tablo 3.1: Agregaların özgül ağırlıkları.....	27
Tablo 3.2: Elek analizi sonuçları.....	28
Tablo 3.3: Hava sürükleyici katkının teknik özellikleri.....	29
Tablo 3.4: Süperakışkanlaştırıcı katkısının teknik özellikleri.....	29
Tablo 3.5: Sentetik lifin karakteristik ve malzeme özellikleri.....	30
Tablo 3.6: Çelik lifin teknik özellikleri.....	30
Tablo 3.7: Numune kodları ve açıklamaları.....	31
Tablo 3.8: 1 m ³ beton için karışım tasarım hesabı.....	32
Tablo 4.1: Birim ağırlık deney sonuçları.....	38
Tablo 4.2: Çökme deneyi sonuçları.....	39
Tablo 4.3: Hava içeriği deney sonuçları.....	39
Tablo 4.4: 28 günlük basınç dayanım deney sonuçları.....	40
Tablo 4.5: 28 günlük yarmada çekme dayanım deney sonuçları.....	41
Tablo 4.6: 28 günlük küp ve silindir numunelerde ultrases deney sonuçları.....	42
Tablo 4.7: 28 günlük küp numunelerde ultrases deney sonuçları.....	42
Tablo 4.8: Elastisite modülü sonuçları.....	43

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

Kisaltmalar **Açıklama**

KYB : Kendiliğinden yerleşen beton
YNS : Yeni nesil süperakışkanlaştırıcı
ÇLB : Çelik lifli beton
ÇL : Çelik lif
UK : Uçucu kül
SSB : Silindirle sıkıştırılmış beton
F : Fibrilize
M : Multifilament
PL : Polipropilen lif
SL : Sentetik lif
KT1 : Kırmataş 1
KT2 : Kırmataş 2
DK : Doğal kum
KK : Kırma kum

ÖZET

HAVA SÜRÜKLEYİCİ ve LİF KATKILARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berrak KIZILIRMAK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE

Beton projelerinde basınç dayanımı esas alınır. Betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kimyasal katkılardan ve liflerden yararlanılır. Bu çalışmanın amacı hava sürükleyici kimyasal katkı ve liflerin betonun taze ve sertleşmiş halde ki özelliklerine etkisinin incelenmesidir.

Bu tez kapsamında iki farklı lif ve hava sürükleyici kimyasal katkı (HSKK) kullanıldı. Üretimde %4,44 oranında sentetik lif, %2,54 oranında çelik lif ve %1.1 oranında süper akışkanlaştırıcı ve %0.2 oranında HSKK kullanılarak sekiz adet farklı numune üretildi. Betonda su/çimento oranı; 0,56 alındı. Betonlarda taze beton özelliklerini belirlemek için birim ağırlık ve hava içeriği deneyleri yapıldı. Sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek için 28. günde basınç dayanım, yarmada çekme dayanımı, ultrases deneyleri yapıldı ve elastisite modülü değeri hesaplandı.

Sonuç olarak lifli ve HSKK ilaveli betonlar şahit betonla karşılaştırıldı. Çalışma sonunda kullanılan liflerin taze ve sertleşmiş beton özelliklerini iyileştirdiği ancak HSKK'nın basınç dayanımını azalttığı görüldü.

Mayıs 2019, ..74.. sayfa.

Anahtar kelimeler: Beton, Kendiliğinden yerleşen beton, hava sürükleyici katkı, lif



SUMMARY

THE EFFECT of FIBERS and AIR ENTRAINING ADMIXTURE on CONCRETE PROPERTIES

M.Sc. THESIS

Berrak KIZILIRMAK

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE

Concrete projects are based on compressive strength. To improve mechanical properties of concrete, fiber and some additional chemicals are used. The aim of this project is to investigate the effects of air-entraining chemical admixture and fiber on the qualities of concrete's liquid and solid phase.

In this thesis, two different fiber and air-entraining admixture are utilized. Eight different concrete specimens were produced by using 4,44% synthetic fiber, 2,54% steel fiber, 1.1% plasticizer and 0.48% air-entraining admixture. Water-cement proportion is specified as 0.56. Unit weight and air content experiments were implemented to the concrete. To determine solidified concrete specimen properties; compressive strength, tensile strength, ultrasonic pulse velocity experiments were executed and modulus of elasticity was calculated.

At the end, concretes containing fiber and air-entraining chemical admixture are compared to reference concrete. As a result, it is shown that fibers used in this project improved the

properties of liquid and solid concrete. However, air-entraining admixture reduces the compressive strength of concrete.

May 2019, .68..... pages.

Keywords: concrete,self-consolidating concrete, air-entraining admixture, fiber



1. GİRİŞ

Sağlam ve diğ. (2016) kendiliğinden yerleşen betonu (KYB), kendi ağırlığı sayesinde sıkıştırma işlemine gerek duymadan, akıcılığı olan ve kalıp içerisinde ayrışma problemi yaşamadan yayılabilen yapı malzemesi olarak tanımlamaktadır. KYB'nin bu nedenlerden dolayı çok sık tercih edilmekte olup kullanım alanı oldukça fazladır (Gürdal ve Yüceer, 2004):

- Güçlendirme projelerinde
- Estetik, sık donatılı ve zor olan kalıp tasarımlarında
- Sıkıştırma işleminin yapılamayacağı yerlerde

Topçu ve diğ. (2008) tarafından yapılan KYB'un özellikleri adlı çalışmada, KYB'un avantajlarının iyi halde görülebilmesi için karışım tasarımının doğru bir şekilde yapılması gerektiği tespit edilmiştir. KYB'un akıcı bir kıvama sahip olmasından dolayı kullanılacak kalıpların özenle seçilmesi ve özellikle parçalı kalıp seçiminde önlemler alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Betonların taze ve sertleşmiş haldeki istenilen performansları karşılaması beklenir (İnan, 2017). Bu yüzden betonun homojenliğini kaybetmemesi için beton karışım hesabının doğru bir şekilde yapılması ve katkılarla veya liflerle betonun güçlendirilmesi gerekir.

Kimyasal katkıların beton içerisinde kullanımı zamanla artmaktadır. Akman (1996) kimyasal katkıları beton içerisine katılan sıvı yada katı olabilen organik veya inorganik malzemeler olarak açıklamaktadır. Kimyasal katkıların hava sürükleyici, priz geciktirici, süper akışkanlaştırıcı vb gibi çeşitleri vardır ve bu betonun performansını artırır.

Liflerin beton içerisine katılması, betonun çatlak gelişimini engeller, düktiliteyi artırır, basınç, çekme ve eğilme dayanımlarının artmasına sebep olur. Yaprak ve diğ. (2004) liflerin kendi çekme mukavemetlerine varıncaya kadar betonun basınç ve çekme gerilmelerinden oluşabilecek kılcal çatlak oluşumunu azalttığını belirtir.

Bu tez çalışmasında KYB'nin lifli ve hava sürükleyici katkılarla kullanımı araştırılmıştır. Beton üretiminde betonun kolay yerleşmesini sağlamak için kimyasal katkı maddeleri

kullanılmıştır. Betonda katkı maddelerinin yanı sıra beton özelliklerini iyileştirmek için liflerden yararlanılarak lifli betonlar üretilir. Lifler betonun dayanım ve dayanıklılığını arttırmıştır. Bu nedenlerle kimyasal katkılı lifli betonlar üretilir.

Bu tez çalışmasının amacı hava sürükleyici ve lifli betonlar üretilip bunların beton özelliklerini nasıl değiştirdiğini incelemektir.

Bu tez kapsamında 8 adet şahit beton ve katkılı beton üretilmiştir. Betonlarda taze halde hava içeriği, birim ağırlık ve çökme deneyi, sertleşmiş halde ise basınç ve çekme dayanımı, ultrases deneyleri yapılmış ve elastisite modülü değeri hesaplanmıştır.



2. GENEL KISIMLAR

Önemli yapı malzemesi olan beton; çimento, su, iri veya ince agrega, su, çimento ve gerekli görülen koşullarda katkı maddeleriyle güçlendirilen çok bileşenli bir malzemedir (Berbergil, 2006; Şengül, 2005). Taze halde işlenebilirlik ve sertleşmiş halde de dayanım, dayanıklılık betondan beklenen başlıca özelliklerdir. Teknolojinin ilerlemesiyle beraber normal betonlar ihtiyaçları karşılayamamakta ve günümüz koşullarının ihtiyaçlarına uygun olarak özel betonlar üretilmektedir. (Ersoy, 2001).

2.1. NORMAL BETONLAR

TS EN 206-1 (2002) standardına göre etüv kurusu durumdaki yoğunluğu 2000 kg/m³'ten büyük olan ve 2600 kg/m³ değerini geçmeyen betonlara normal beton denir. Normal betonların kullanılmasının başlıca sebepleri; malzemesine kolay ulaşılması, standartlara uygun üretilmesi ve ekonomik açıdan avantaj sağlamasıdır (Şengül, 2005). Bu avantajlara sahip olması nedeniyle normal betonlar bina, köprü, tünel, yol gibi uygulamalarda sıkça tercih edilir.

2.1.1. Taze Beton Deneyleri

2.1.1.1. Çökme Deneyi

Slump olarak da adlandırılan deney yönteminde ; TS EN 12350-2 (2002) standardına göre çökme konisi, metal levha ve çelik çubuk kullanılır.

Taze beton karılma işlemi tamamlandıktan sonra kesik koniye üç tabaka olarak yani her tabaka çökme konisinin üçte biri olacak şekilde beton numunesi yerleştirilir ve tabakalar çelik çubuk ile 25'er kez şişlenir. Şişleme işlemi üst tabakaya uygulandıktan sonra bir mala yardımı ile çökme konisinin üst yüzeyi düzeltilir. Uygulanan işlemlerden sonra çökme konisi yavaş bir şekilde döndürülerek yukarı doğru çekilir ve içerisinden çıkan taze beton ağırlığına göre bir miktar çökme gösterir. Beton numunenin çökme değeri bir cetvel yardımı ile ölçülür.

Çökme değeri taze betonun su içeriği ile ilişkilidir (Erdoğan, 2002).

2.1.1.2. Vebe Deneyi

Vebe deneyinde TS EN 12350-3 (2002) standardına göre kesik koni, silindir kap, çelik çubuk, disk ve kronometre kullanılır.

Kesik koni, silindir kabın içerisine yerleştirilir. Taze beton, çökme deneyinde olduğu gibi üç tabaka halinde kesik koniye yerleştirilir ve her tabaka çelik çubuk ile 25'er kez şişlenir. Şişleme işlemi en üst tabakaya uygulandıktan sonra beton yüzeyi bir mala yardımı ile düzeltilir ve kesik koni yavaş bir şekilde döndürülerek betonun silindir kap içerisine çökmesi sağlanır. Bu işlem sonrasında kullanılacak olan diskin düşey yönde çökme yapmış beton numunesinin en üst noktasına teması sağlanır. Yapılan işlemlerden sonra titreşim masası ve kronometre çalıştırılır. Diskin tüm alt yüzeyi çimento harcı ile kaplandığı zaman kronometre durdurulur ve TS EN 12350-3 (2002) standardına uygun olarak Vebe süresi ölçülür (Erdoğan, 2002).

2.1.1.3. Yoğunluk Deneyi

Yoğunluk deneyinde TS EN 12350-6 (2002) standardına uygun olarak ilk hacmi en az 5 litre olması gereken kabın darası alınır. Taze beton karılma işlemi tamamlandıktan sonra beton numunesi kullanılacak olan kap içerisine yerleştirilir. Kap içerisinde ki beton ayrışma olmamasına dikkat edilerek vibratör veya titreşim masası yardımıyla sıkıştırılır. Sıkıştırılma işlemi bittikten sonra kabın üst yüzeyi bir master yardımıyla düzgün hale getirilir ve ağırlık tekrar tartılır.

Taze betonun yoğunluğu; TS EN 12350-6 (2002) standardına uygun olarak kabın beton numune ile beraber olan ağırlığından kabın ağırlığını çıkarıp, kabın hacmine bölünmesiyle bulunur.

2.1.1.4. Hava İçeriği Deneyi

Taze beton TS EN 12350-7 (2002) standardı dikkate alınarak, hava ölçer kabına içerisinde fazla hava kalmamasına özen gösterilerek üç tabaka halinde dikkatli bir şekilde yerleştirilir. Vibratör veya titreşim masası yardımıyla beton parlak bir görünüm elde edilene kadar sıkıştırılır. Taze beton numunesinin yerleştirildiği hava ölçer kabının kenarları yağlanarak betonun hava alması önlenir. Düzeneğe su borusundan su doldurulur. Gözlem borusunda ki su

seviyesinin sıfır noktasına gelmesi gerekir. Eğer fazla su doldurulursa vanadan fazla su tahliye edilir. Hava giriş ağzı kapatıldıktan sonra basınç pompa yardımıyla uygulanır ve deney düzeneğindeki hava içeriği değeri ölçülür (Erdoğan, 2002).

2.1.1.5. Sıkıştırma Faktörü Deneyi

Sıkıştırma faktörü deney yönteminde; TS EN 12350-4 (2002) standardına göre metal bir dikdörtgen prizma ve sıkıştırma aleti kullanılır.

Taze beton numunesi dikdörtgen prizma içerisine sıkıştırılma yapılmamasına özen gösterilerek doldurulur ve üst yüzeyi bir master yardımıyla düzeltilir. Daha sonra TS EN 12350-4 (2002) standardı dikkate alınarak dikdörtgen prizma içerisinde ki taze beton vibratör yardımıyla sıkıştırılır ve sonrasında beton yüzeyi ile dikdörtgen prizma yüzeyi arasında ki mesafe ölçülür (Erdoğan, 2002).

2.1.1.6. Yayılma Tablası Deneyi

Yayılma tablası deney yönteminde TS EN 12350-5 (2002) standardına göre alt ve üst plakadan meydana gelen bir yayılma tablası, kalıp, sıkıştırma çubuğu ve kronometre kullanılır.

Kalıp yayılma tablasının üst plakasının üzerine sabit halde duracak şekilde yerleştirilir. Taze beton kalıbın içerisine iki eşit tabaka halinde ve her tabaka çubuk ile 10'ar kez yavaş bir şekilde şişlenerek betonun yerleşmesi sağlanır. Kalıp üst yüzeyinde kalan taze beton bir master yardımıyla düzeltilir ve kalıp yukarı doğru çekilir. Yayılma tablasının üst plakası 15 kez olacak şekilde alt plakaya düşürülür. Düşürülme işlemi tamamlandıktan sonra üst plakanın üzerinde yayılan beton için her iki doğrultuda ölçüm yapılır. Ölçülen bu iki değerın ortalaması alınarak yayılma değeri bulunur (Erdoğan, 2002).

2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.2.2.1. Basınç Dayanım Deneyi

Basınç dayanım deneyinde TS EN 12390-3 (2002) standardına göre sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımları tespit edilir.

Deney yönteminin uygulanacağı küp veya silindir numuneler deney aletinin merkezine yerleştirilir. Numunelerin üzerine TS EN 12390-3 (2002) standardına göre 0,2 MPa/s – 1,0 MPa/s arasında sabit bir yükleme hızı uygulanır. Numunelerin üzerine, numuneler kırılıncaya kadar deney aletinde yük uygulanır. Uygulanan yük, sabit hızda olmalı, numuneye zarar vermemelidir. Numunelerin taşıyabileceği en büyük yük tespit edilir ve beton basınç dayanımı bulunur.

2.2.2.2.Yarmada Çekme Dayanım Deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyinde TS EN 12390-6 (2002) sertleşmiş beton numunelerinin yarmada çekme dayanımları tespit edilir.

Deneyin uygulanacağı silindir numuneler, deney düzeneğinin merkezine yatay şekilde, alt ve üst kısımlarına sert mukavva parçaları koyularak sabitlenir. Numunelerin üzerine TS EN 12390-6 (2002) 0,04 MPa/s - 0,06 MPa/s arasında sabit bir gerilme hızı uygulanır. Uygulanan yük sabit hızda arttırılır ve hızın numuneye zarar vermemesi gerekir. Yük numune kırılana dek uygulanır ve en büyük yük tespit edilir.

2.2.2.3. Eğilme Dayanım Deneyi

Eğilme dayanım deneyinde TS EN 12390-5 (2002) standardına uygun olarak sertleşmiş beton numunelerinin eğilme dayanımları tespit edilir.

Deney yönteminin uygulanacağı prizma şeklinde ki numunelere, alt ve üst silindir yardımıyla 0,04 Mpa/s – 0,06 MPa/s arasında sabit artan hızda yük uygulanır. Uygulanan yük sabit artış hızda olmalı, numuneye zarar vermemelidir. Numuneler üzerinde ulaşılan en büyük yük tespit edilir ve beton eğilme dayanımı bulunur.

2.2.2.4.Basınç Altında Su İşleme Derinliği Deneyi

Basınç altında su işleme derinliği deneyine tabi tutulacak numuneler en az 28 günlük olmalıdır. Deney numunelerine 72 saat süreyle 500 kPa su basıncı TS EN 12390-8 (2002) numunenin mastarlanmamış alt veya üst yüzeylerine uygulanır. Deney sırasında sızdırmazlığı sağlamak adına lastik veya benzeri malzemeler kullanılır. 72 saat sonunda deney bitirilir. Numune ortadan ayrılarak ikiye bölünür ve su işleme derinliği alın kısmından ölçülür.

2.2.KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLAR

1980’li yıllarda yaşanan dayanım sorunları sebebiyle kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) ile ilgili Japonya’da Okamura tarafından araştırmalar yapılmıştır. 1989 yılında Ozawa tarafından KYB ile ilgili ilk bildiri yazılmış ve Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında sunulmuştur. 1994 yılında ise Bangkok’daki ACI çalıştayından sonra KYB, inşaat mühendisliği açısından önemli bir hale gelmiştir (Gürdal ve Yüceer, 2004). KYB’nin ilk uygulaması İtalya’nın S.Marco Rıhtım inşaatında sualtı temel betonu dökümünde reoplastik beton kullanılarak yapılmıştır (Kandemir, 2005).

KYB, titreşim ile sıkıştırılmaya ihtiyaç duymaksızın taze halde kendi ağırlığı ile kolay bir şekilde yerleşebilme özelliği olan bir beton türüdür. Normal beton üretiminden farklı olarak kendiliğinden yerleşen betonlarda kimyasal katkıları kullanılır. KYB’lerin normal betonlara tercih edilmesinin nedenleri sıralanmıştır (Gürses, 2008; Ulukaya, 2008):

- Akıcı kıvama sahip olması
- Yüksek yüzey kalitesine sahip olması
- Mekanik vibrasyon kullanılmadığı için homojen yapıda olması
- Karmaşık şekilde tasarlanmış şekilli ve/veya donatılı kalıplara kolay yerleşim sağlaması
- İnşaat süresini ve iş gücünü azaltması
- Ekonomik çözüm olması gerekir. (Gürses, 2008; Ulukaya, 2008)

KYB’nin yüksek işlenebilirliğe sahip olması yerleştirme kolaylığını sağlar. Segregasyonu, akış özelliği; genellikle karışımın düzgün bir şekilde hazırlanması ve iri agrega seçimi ile ilgilidir (Long vd., 2017).

Baradan ve Felekoğlu (2004) tarafından yapılan KYB’lerin mekanik özellikleri adlı çalışmada, KYB üretimi için uygun karışım tasarımları yapılmıştır. Bu çalışmada katkı miktarının fazla olduğu karışımlarda karışım suyu azaltıldığında KYB’nin viskozite değerinin arttığı, katkı miktarının az olduğu karışımlarda ise su/çimento oranının artmasıyla KYB’nin taze halde donatılar arasında ki geçiş yeteneğinin arttığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra üretilen KYB’lerin taze ve sertleşmiş halde ki mekanik özellikleri incelenerek normal betonlara göre çekme dayanımlarında %3-17 arasında artış gözlenmiş ancak elastisite modülünde ciddi bir farklılık tespit edilmemiştir.

Topçu ve diğ. (2008) tarafından yapılan KYB'nin özellikleri adlı çalışmada, KYB'nin avantajlarının iyi bir şekilde görülebilmesi için karışım tasarımının iyi yapılması gerektiği tespit edilmiştir. KYB'nin akıcı bir kıvama sahip olmasından dolayı kullanılacak kalıpların özenle seçilmesi ve özellikle parçalı kalıp seçiminde önlemler alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

2.2.1. KYB'de Kullanılan Malzemeler

KYB üretiminde kullanılacak olan malzemeler TS EN 206-1 (2002) ilgili standardında belirtilmiş olan koşullara göre seçilir.

2.2.1.1. Çimento ve Karışım Suyu

KYB üretiminde, normal beton üretiminde kullanılan Portland Çimentoları sıkça tercih edilir. Yapılan bir çalışmada, TÇ 32.5 ve PZÇ 32.5 çimento türlerinin KYB'da kullanılan katkıların ilk kuşak türü ile uyumsuz olduğu tespit edilmiştir (Sağlam vd., 2005). KYB üretiminde kullanılacak olan çimento TS EN 197-1 (2002) ilgili standardına uygun olarak seçilmelidir. Karışım suyu TS EN 1008 (2003) ilgili standardına uygun olarak kullanılmalıdır.

2.2.1.2. Agregalar

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde, normal beton üretiminde kullanılan ince ve iri agregalar tercih edilir. Üretimde tercih edilen en büyük agrega çapı genellikle 20 mm'dir. KYB'nin segregasyon direncini arttırmak için ince kum kullanılması tavsiye edilir (Ulukaya, 2008). Üretimde kullanılacak olan ince ve iri agrega seçimi TS 706 EN 12620 (2003) ilgili standardına uygun olmalıdır.

2.2.1.3. Katkı Maddeleri

Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılan katkı maddeleri beton üretimini kolaylaştırır. Beton üretiminde kullanılan su miktarının artması beton dayanımının düşmesine sebep olur. Su miktarını arttırmadan, dayanımın düşmesini engellemek amacıyla beton üretiminde katkı maddeleri kullanılır (Akman, 1996). Katkı maddeleri betonun işlenebilirlik, dayanıklılık gibi özelliklerini iyileştirir ve düşük oranda çimento kullanımına sebep olduğu için beton üretiminde ekonomi sağlar (Yaman ve Şahmaran, 2005). Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılacak olan katkı maddeleri TS EN 934-2 (2002) ilgili standardına uygun olmalıdır.

2.2.2. KYB’de Uygulanan Deney Yöntemleri

KYB’nin akışkanlığını, yerleşmesini, ayrışmasını ve sıkışmasını incelemek için belirli deney yöntemleri kullanılır. Kullanılan bu deney yöntemlerine ait özellikler ve sınır değerler Tablo 2.1.’de verilmektedir.

Tablo 2.1: KYB için uygulanan deney metodları ve sınır değerler (Sertbaş, 2006).

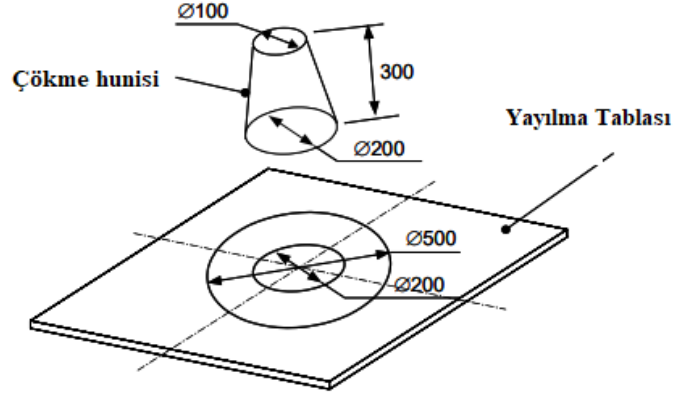
DENEY METODU	ÖZELLİK
Yayılma tablası	Doldurma yeteneği
T50 yayılma süresi	Doldurma yeteneği
V-Hunisi	Doldurma yeteneği
J-Halkası	Geçiş yeteneği
L-Kutusu	Geçiş yeteneği
U-Kutusu	Geçiş yeteneği

2.2.2.1. Çökme-Yayılma Deneyi

Çökme-yayılma deneyi, taze halde olan KYB’nin kendi ağırlığı ile yayılma tablası üzerinde oluşturacağı çapın her iki taraftan ölçülmesi ile deformasyon hızı hakkında bilgi verir.

Düz bir zemin üzerine konulan yayılma tablasının üzerine yerleştirilen huninin içerisine taze beton numunesi doldurulur. Taze beton numunesinin huni içerisine doldurulurken şişleme yapılmaz. Huni sabit bir hızla yukarı çekilir ve betonun yayılma tablasında yayılması beklenir (Topçu vd., 2007).Yayılma durduğu an her iki taraftan çap ölçülerek sonuç bulunur (Kandemir, 2005).

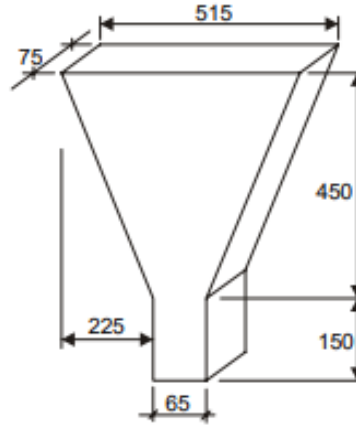
KYB’nin yayılma deneyi için verilen sınır değerleri 650 mm ile 800 mm arasındadır. Elde edilen yayılma çapı KYB’nin akıcılığı ve segregasyonu hakkında bilgi verir (Ulukaya, 2008). Şekil 2.1.’te çökme-yayılma deneyinin şeması verilmektedir:



Şekil 2.1: Çökme-Yayılma tablası deney şeması (EFNARC, 2005).

2.2.2.2. V Hunisi Deneyi

V-Hunisi deneyi, taze halde olan KYB'nin viskozitesini ve geçiş yeteneği hakkında bilgi verir. Deney aleti olarak Şekil 2.2'de verilen V hunisi deney aleti kullanılır. KYB numunesi V-Hunisi deney aletine doldurulur ve bir süre betonun sıkışması beklendikten sonra alt kapak açılır. Alt kapaktan ışık gelene kadar süre ölçüm işlemi devam eder. V-Hunisi deneyi ile taze halde olan KYB'nin kendi ağırlığı ile bir huninin dar olan alt kapaktan boşalma süresi ölçülür (Karaüç, 2008). Şekil 2.2.'te V-hunisi deney şeması verilmektedir:

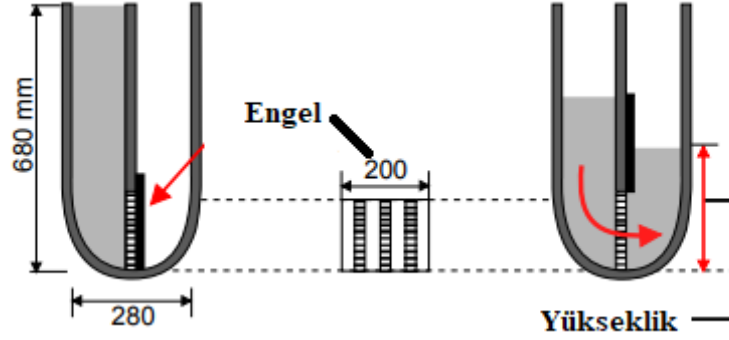


Şekil 2.2: V hunisi deney şeması (EFNARC, 2005).

2.2.2.3. U Kutusu Deneyi

U kutusu deneyi, taze halde KYB'nin akış ve geçiş hareketi hakkında bilgi verir. Deney düzeneği şekilde verilmiştir. U kutusunun haznesi taze beton ile şişleme yapılmadan doldurulur. İki hazne arasında bulunan kapak açılır ve betonun engeller arasından geçip ikinci

hazneye akması beklenir. Akış tamamlandıktan sonra her iki haznedeki beton seviyeleri ölçülür ve aradaki yükseklik farkı bulunur (Sertbaş, 2006). Şekil 2.3.'te U-kutusu deney şeması verilmektedir:

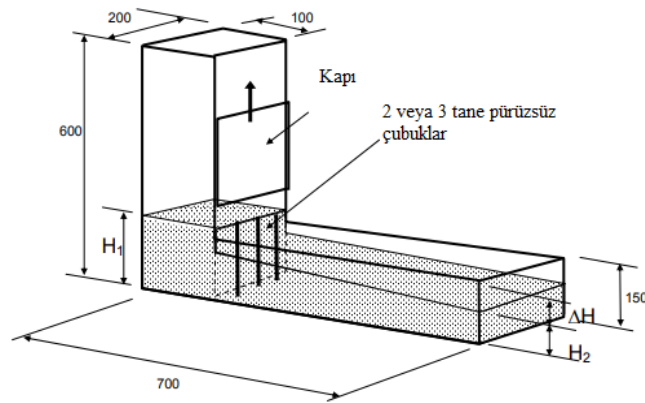


Şekil 2.3: U kutusu deney şeması (Okamura ve Ouchi, 2003)

2.2.2.4. L Kutusu Deneyi

L kutusu deneyi, taze halde olan KYB'nin yerleşme, doldurma, ve geçiş yeteneğinin yanı sıra ayrışmaya karşı direnci hakkında bilgi verir.

L kutusu deney düzeneğinin alt kısmında sürgü kapak ve 2 veya 3 adet demir pürüzsüz çubuk bulunur. Beton dikey bölüme vibrasyon uygulanmadan doldurulur ve betonun yerleşmesi için ortalama 1 dakika bekletilir (Ulukaya, 2008). Betonun düzeneğin diğer tarafına akma süresi 20 cm'de ve 40 cm'de iki kez ölçülür ve yükseklik farkı hesaplanır (Topçu vd., 2008). Deney aleti olarak kullanılan L kutusu deney düzeneği Şekil 2.4.'te verilmektedir:



Şekil 2.4: L kutusu deney şeması (EFNARC, 2005).

2.2.2.5. J Halkası Deneyi

J halkası deneyi, taze halde olan KYB'nin geçiş yeteneği hakkında bilgi verir. Deney aleti 300 mm çapında bir halkaya bağlanan çelik çubuklardan meydana gelir. Çelik çubuklar arasındaki mesafe, KYB'nin en büyük agrega çapının en az 3 katı olmalıdır (Kandemir, 2005).

Düz bir zemin üzerine konulan yayılma tablasının ortasına J-halkası yerleştirilir ve içerisine çökme hunisi konulur (Sertbaş, 2006). Taze beton çökme hunisinin içerisine şişleme yapılmadan yerleştirilir ve çökme hunisi kaldırılır. Taze beton kendi ağırlığı ile yayılır ve yayılma durduğu an iki taraftan çap ölçülerek sonuç bulunur (Sertbaş, 2006).

2.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özellikleri

Kendiliğinden yerleşen betonların taze halde iken özellikleri; doldurma yeteneği, geçiş yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç olarak üç şekilde ifade edilir.

2.2.3.1. Doldurma Yeteneği

KYB kendi ağırlığının etkisiyle şekil değiştirebilme ve deforme olabilme özelliklerine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği tamamen taze betonun akıcılık davranışı ile kalıp ve donatı çubukları arasında ki boşluklara kendi ağırlığının etkisiyle yerleşebilmesidir. Yayılma tablası ve V-hunisi deneyleri ile doldurma yeteneği hakkında bilgi edinilir. Düzgün doldurma yeteneği için deformasyon kapasitesi ve hızı arasında denge sağlanmalıdır.

Betonun agrega ve her çeşit bağlayıcı dahil katı tanecikleri arasındaki sürtünmenin azaltılması uygun deforme için yararlıdır. Çimento hamuru fazı da uygun bir şekilde deforme olabilmelidir (Karaüç, 2008).

Doldurma yeteneğinin iyi bir şekilde olabilmesi için bazı maddelere dikkat edilmelidir:

- Katı tanecikler arasında ki sürtünmenin azaltılması için düşük iri agrega hacmi ve optimum gradasyon seçimi tercih edilir.
- Çimento hamuru fazının deformesi için süper akışkanlaştırıcı ve dengelenmiş su/bağlayıcı oranı uygulanmalıdır.

2.2.3.2. Geçiş Yeteneği

Geçiş yeteneği, taze betonun sık donatılı ve dar alanlardan ayrışma olmaksızın tıkanma yaşanmadan akma özelliği ile ilgilidir (Deeb, 2013). İri agreganın büyüklüğü, şekli ve hacim oranı kendiliğinden yerleşen betonun geçiş yeteneği için önemlidir. Ayrıca üretimde tercih edilen liflerin uzun, çengelli veya kıvrımlı bitişli olması geçiş yeteneğini olumsuz etkiler. L-kutusu ve J-halkası deneyleri geçiş yeteneğinin değerlendirilmesi için en çok kullanılan deney yöntemleridir. Uygun bir geçiş yeteneğinin sağlanması için, iri agregaya boyutunun iyi seçilmesi gerekir.

2.2.3.3. Ayrışmaya Karşı Direnç

Ayrışmaya karşı direnç, kendiliğinden yerleşen betonda homojenliğin sağlanabilmesi ve karışımın içinde bulunan katı tanelerin bir arada tutulması ile ilgilidir. Betonun yerleştirilmesinden sonra oluşabilecek ayrışma çatlama ve yüzey problemleri gibi sorunlar ortaya çıkarabilir (İnan, 2017).

Kılınç (2007) KYB’de oluşması tehlikeli olan ayrışma problemlerini şöyle sıralamıştır:

- Terleme oluşması,
- İri agregaların ayrışması sonucu ortaya çıkan tıkanma problemi,
- Hava boşluklarının homojen olarak dağılım göstermemesi,
- Agregaya ve çimento hamurunun ayrışması

Deep (2013) bazı terleme oluşumlarının beton için normal olabileceğini ancak çoğu terlemenin beton yüzeyinde düşük dayanıklılığa, boşluk oluşumlarına sebep olacağını belirtir. Terlemenin oluşması, su/çimento miktarını azaltarak engellenebilir. Suyun katı tanelerden ayrışmasını önlemek için viskozite artırıcı katkı maddeleri kullanılabilir (İnan, 2017).

Ayrışma direncinin yüksek seviyede elde edilebilmesi için bazı özelliklere dikkat edilmelidir.

- Viskoziteyi artırarak, en büyük agregaya tane çapını azaltarak ve su/bağlayıcı oranını düşürerek katı maddelerin birbirlerinden ayrılmasını önlemek
- Viskoziteyi artırarak, yüksek yüzey alanı olan bağlayıcılar kullanarak ve su/bağlayıcı oranını düşürerek terlemeyi azaltmak mümkündür.

2.3. LİFLİ BETON

Lifler farklı şekillerde ve boyutlarda, çeşitli malzemelerden üretilen, dayanıklılığı, esnekliği, bükülebilirliği ve uzunluğu olan malzemelerdir. ACI 544 (2009) standardına göre lifler “narınlık oranı” olarak tanımlanır.

Beton üretimlerinde kullanılmakta olan lifler betonun taze ve sertleşmiş halde ki istenilen performanslarını iyileştirir. Beklenen performansların sağlanabilmesi için beton karışım tasarımı doğru yapılmalıdır.

Betonda kullanılan lif çeşitleri genellikle çelik, polimer, cam ve doğal liftir. Betonda kullanılan lif tiplerinin belirgin özellikleri Tablo 2.2.’de gösterilmektedir (Kozak, 2013):

Tablo 2.2: Betonda kullanılan lif tiplerinin özellikleri (Kozak, 2013).

LİF TİPİ	ÇEKME DAYANIMI(ksi*)	YOUNG MODÜLÜ(10 ksi*)	EN UZAMA (%)	YÜKSEK ÖZGÜL AĞIRLIK(gr/cm3)
Akrilik	30-60	0.3	25-45	1.1
Asbest	80-140	12-20	~0.6	3.2
Pamuk	60-100	0.7	3-10	1.5
Cam	150-550	10	1.5-3.5	2.5
Naylon	110-120	0.6	16-20	1.1
Polyester	105-125	1.2	11-13	1.4
Polietilen	~100	0.02-0.06	~10	0.95
Polipropilen	80-110	0.5	~25	0.90
Rayon(Suni ipek)	60-90	1.0	10-25	1.5
Taş Yünü	70-110	10-17	0.6	2.7
Çelik	40-400	29	0.5-35	7.8
* 1 ksi = 6,9 Mpa				

Lifli betonlar, günümüzde sık olarak tercih edilen özel beton türlerindendir. Çimento, agrega ve su ile oluşturulan kompozit malzemenin içerisine zayıf özelliklerin iyileşmesi amacıyla lifler eklenir. Beton içerisinde lif kullanımı basınç dayanımının, çarpma dayanımının, yorulma dayanımının, çekme dayanımının, sünekliğin vb. artırılması için gereklidir. Ersoy (2001) tarafından betonda kullanılan lif malzemelerinin, beton özelliklerine ait performans artışları Tablo 2.3.’de verilmektedir (Ersoy, 2001):

Tablo 2.3: Beton özelliklerinin lif kullanımı etkisinde performansları (Ersoy,2001).

BETON ÖZELLİKLERİ	ARTIŞ MİKTARI(%)
Tokluk	%100-1200
Çarpma dayanımı	%100-1200
İlk çatlak dayanımı	%25-100
Çekme dayanımı	%25-150
Yorulma dayanımı	%50-100
Şekil değiştirme oranı	%50-300
Basınç dayanımı	%-25 -25
Erozyon direnci	%200-300
Elastisite modülü	%-25 -25
Sehim	%20-500

Lifler beton içerisinde rastgele dağılmasına rağmen homojen bir yapı olarak davranır. Bu durum betonda çatlak oluşumunu önlemekle beraber çatlakların ilerleyişini azaltır. Lifli betonlar ilk bakışta normal beton karışımlarına benzerler ancak farklı yükler altındaki davranışı ve performansları normal betonlardan farklıdır (Arazsu, 2012). Lifli betonlardan köprülerde, havaalanlarında, şev stabilizasyonu gibi işlerde yararlanılır.

Lifli beton uygulamasının belirli koşulları vardır (Güneş, 2011):

- Kullanılan liflerin miktar, şekil ve boy-çap oranları
- Beton içerisinde liflerin dağılım ve yönlendirilmesi,
- Lifli betonun sıkıştırılması yöntemi.

Gültekin ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada bazalt ve cam lifi içeren KYB’de lif boyutunun ve miktarının kılcal su emme kapasitesi ve aşınma direncine etkileri araştırılmıştır. Basınç dayanım deneylerine göre lif içeren betonların kontrol betonuna göre dayanım değerlerinin düştüğü ve lif boyutu, lif türü ve lif miktarının basınç dayanımıyla bir ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir. Aşınma dayanımları incelendiğinde ise lif kullanımının aşınmaya karşı direnci arttırdığı gözlenmiştir. Aynı boyutta olan lifler karşılaştırıldığında ise lif miktarı arttıkça kılcal su emme katsayısı değerinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Beglarigale ve Yazıcı (2015) yaptıkları çalışmada çimento esaslı kompozitlerde lif-matris aderansına kür koşullarının etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada çelik liflerin aderans özelliklerinin su kürünün süresinin uzunluğu ile geliştiği görülmüş ancak mekanik özelliklerde dayanımda olan düşüş aderans sonuçlarında da tespit edilmiştir. Bütün ara yüzlerde tobermorit jeli oluştuğu ve lif-matris ara yüzeyinde oluşan hidratasyon ürünlerinin aderans gelişmesine katkı sağladığı sonuçlarına varılmıştır.

Wafa (1990) tarafından yapılan lifli betonun özellikleri ve uygulaması adlı söz konusu çalışmada betonarme yapılarda lif katkısının çatlak oluşumlarındaki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada lif katkısının betonun esnekliğini ve yük taşıma kapasitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Lif katkısının kullanımının darbe dayanımını 25 kat daha arttırdığı gözlemlenmiştir. Liflerin deformasyonu engellediği ve çatlak gelişimini ve çatlak genişliğini azalttığı sonuçlarına varılmıştır.

Taşdemir ve Bayramov (2002) tarafından yapılan çalışmada yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışları incelenmiştir. Yüksek performanslı lif donatılı betonların fiziksel ve kimyasal etkilere karşı geleneksel betonlardan daha fazla dayanıklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Çelik tellerin betonun sünekliğini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Kurt (2006) tarafından yapılan lif içeriği ve su/çimento oranının fibrobetonun mekanik davranışına etkileri adlı çalışmada 8 farklı lif içeriği ve su/Çimento oranı olan beton numune üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kompozitin gevrek davranış göstermesinin engellendiği görülmüştür. Lif içeriğine bağlı olarak eğilme dayanımının, kırılma enerjisinin, çekme dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Ancak s/ç oranının artırılması basınç, çekme ve elastisite modülleri için herhangi bir etki yaratmamıştır.

2.3.1. Çelik Lif

Beton üretiminde kullanılan çelik lifler (ÇL) C 1008 düşük karbonlu çelikten meydana gelirler. ACI 544'e göre (2009) hidrolik çimento, iri ve ince agrega, su ile oluşan geleneksel betona çelik lif katılarak çelik lifli beton elde edilir. Ayrıca üretilen çelik lifli betona puzolan ve katkı maddeleri de eklenebilir.

Çelik liflerin geometrileri, üretildikleri ham madde ve üretim türüne bağlıdır. Standartlara göre, değişik geometrilere sahip çelik lifler A, B ve C sınıfı olarak ayrılmıştır ve liflerin şekilleri tabloda verilmiştir (Kozak, 2013). Çelik lif sınıfları Tablo 2.3.'te verilmektedir:

Tablo 2.4: Çelik lif sınıfları.

ÇELİK TEL SINIFI	
A Sınıfı	Düz pürüzsüz yüzeyli çelik tel Ay biçimli dalgalı teller
B Sınıfı	Uzunluğu boyunca dalgalı teller
C Sınıfı	Üzerine girintiler açılmış teller İki ucu kıvrılmış çelik tel Bir ucu kıvrılmış çelik tel

Üretim aşamasında çelik liflerin kullanılabilecek ölçüsü, lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris aderansına bağlıdır (Kozak, 2013). Buna bağlı olarak değişik şekillerde çelik lif üretilir. ÇL üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda iyileşmenin en belirgin olduğu lif türünün düz ve ucu hafif kıvrımlı tür olduğu gözlenmiştir (Topçu vd., 2008).

Çelik liflerin betona eklenmesi, inşaat mühendisliği için önemli olan bir çok özelliğin iyileşmesini sağlar. ÇL'ler betonun sertleşmesi sırasında çekme gerilmesinden dolayı oluşabilecek çatlakların oluşumunu azaltır.

Kullanılan çelik lifler betonun basınç düktilite davranışı göstermesine sebep olur. Çelik lif kullanımının en önemli beton üzerindeki etkisi maksimum taşıma gücüne ulaşılması halinde beton yük taşımaya devam eder. Geleneksel betonun çekme dayanımına karşın çelik lif kullanılan betonun çekme dayanımı oldukça yüksektir. Bunun yanı sıra basınç mukavemetinde de artış gözlemlenir.

Çelik tel içeren betonlar geleneksel betonlara göre daha fazla avantaja sahip oldukları için kullanım alanları oldukça geniştir. Kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir:

- Yol kaplamalarında

- Tünel yapımlarında
- Endüstri yapılarında
- Şevlerin stabilizasyonu ve istinat duvarlarında
- Depreme dayanıklı yapılarda şeklinde sıralanabilir.

Berbergil (2006) tarafından yapılan çalışmada çelik lif kullanımının KYB üzerindeki işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 12 adet lif içeren ve farklı oranlarda lif içeren 12 adet beton numune üretilmiştir. YNS ile beraber çelik lif kullanılmasının ve lif miktarının arttırılmasının beton basınç dayanımında ciddi değişikliklere yol açmadığı ancak eğilme dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. Çelik lif kullanılan beton numunelerine uygulanan L-kutusu ve U-kutusu deneylerinden herhangi bir sonuç alınamamıştır. Beton üretiminde kullanılan çelik liflerin ultrases deneyinde, geçiş hızını ciddi şekilde düşürdüğü ve bunun yanı sıra sünekliği arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Zeynal (2008) tarafından yapılan çalışmada çelik lif ve s/ç oranının lifli betonların darbe mukavemetine ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada lifli ve liffsiz olarak toplam 24 adet beton numune üretilmiştir. Su/çimento oranının düşük olduğu numunelerde mekanik özelliklerde ve darbe dayanımlarında artış gözlenmiştir. Mikro lif kullanımının eğilme, yarmada çekme dayanımlarında ve darbe direncinde etkili artış sağladığı tespit edilmiştir. Uzun lif oranının artması mekanik özellikleri arttırmıştır. Karma lifli beton numunelerde ise tokluğun sağlanmasıyla sünek davranışın arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

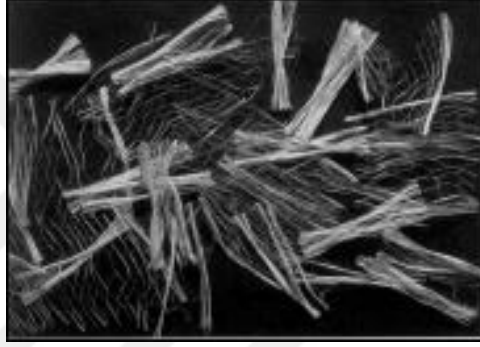
Han ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada çelik lif uzunluğunun ve iri agrega maksimum boyutunun çelik lifli betonun mekanik özellikleri üzerinde ki etkisi araştırılmıştır. Agreganın maksimum boyutunun ve çelik lif uzunluğunun basınç dayanımını belirgin bir şekilde etkilemediği görülmüştür. Çelik lif kullanımının etkisi kullanılan maksimum agrega boyutunun betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Çelik lif uzunluğu arttıkça tokluk oranının arttığı tespit edilmiştir. Çelik lif ile kullanılan uygun boyutta agregaların beton üzerinde olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Topçu ve Boğa (2005) tarafından çelik liflerin ve uçucu küllerin beton ve beton borularda kullanımı çalışması yapılmıştır. Çalışmada lif ve UK içeren 30 adet silindir numune üretilmiştir. Çelik lif kullanımının çekme ve eğilme dayanımlarında artış yarattığı gözlenmiştir. Özellikle UK ilave edilen numunelerde basınç dayanımlarının daha çok arttığı

tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ÇL ve UK'nın betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği için beton üretimlerinde kullanılmalarının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

2.3.2. *Polipropilen Lif*

Polipropilen lifler (PL) sadece hammadde olarak polipropilenden üretilen yapay malzemelerdir (Sümer, 2010). Polipropilen lifler beton karışımına katıldığında beton özelliklerini en iyi şekilde iyileştiren lif türüdür. Şekilde polipropilen liflerin tipleri ve tabloda polipropilen liflerin teknik özellikleri verilmektedir (Üte, 2008).



Şekil 2.5: PL tipi (Üte, 2008).

Polipropilen lifler özelliklerine uygun olarak iki grupta değerlendirilir (Bahadır, 2010):

- Monofilament: Uzunlukları 4-8 cm arasında değişir. Sert yapıdadırlar ve beton karışımı içerisinde homojen dağılım gösterirler.
- Staple fiber: Boyları 1-3 cm arasında ve kare şeklini alırlar. Beton karışımı içerisine karışım suyu ile katılmaları uygundur.

Tablo 2.5: PL özellikleri (Arazsu, 2012).

ÖZELLİKLER	STABLE FIBER	MONOFLAMENT
Boyut(cm)	1-3	4-8
Özgül ağırlık(g/cm ³)	0,92	0,91
Elastisite modülü (Gpa)	3,15	3,50
Çekme dayanımı (Mpa)	620	724
En büyük uzama (%)	22	15
Elektrik geçirgenliği	Az	Az
Erime noktası (°C)	160	164
Yanma noktası (°C)	590	550
Isıl iletkenlik	Az	Az
Alkalilere direnci	Fazla	Fazla
Tuzlara direnci	Fazla	Fazla

Polipropilen liflerin beton içerisinde ki en düşük dozu 0.9 kg/m³'tür. 1 m³'te kullanılan lif miktarı 2-5 kg arasında değişir.

Polipropilen liflerin beton üzerinde oluşturduğu etkiler şu şekildedir:

- Beton içerisinde kullanılan polipropilen lifler rötre çatlaklarını azaltırlar. Ayrıca büzülme gerilmelerine karşı dayanım güçleri fazla olduğu için büzülmeden dolayı kaynaklanabilecek çatlak oluşumlarını engellerler (Sümer, 2010).
- Alkali etkisine karşı dirençlidirler.
- Beton karışımında homojen dağılım gösterirler.
- Plastik rötre oluşumunun engellenebilmesi için kullanılırlar. Plastik rötre oluşumunu engelledikleri için dayanımı arttırırlar.
- Yüksek sıcaklıklara karşı dirençlidirler.
- Su geçirimsizliğini arttırır.
- Betona bir miktar enerji yutma özelliği kazandırdıkları için tokluğu arttırırlar (Sertbaş, 2006).
- Fazla iş gücü gerektirmez ve düşük maliyetlidir.

Beton özelliklerini iyileştirmek için önemli olan polipropilen liflerin inşaat mühendisliği çalışmalarında kullanım alanları şu şekildedir (Üte, 2008; Aktürk, 2007):

- Saha betonları ve şap uygulamaları.

- Tamir harçları.
- Prefabrik elemanlar.
- Püskürtme beton.
- Bitümlü karışımlar.
- Yapısal taşıyıcı betonarme sistemler.
- Ön cephe panellerinde.
- İnce-kaba sıva uygulamalarında.
- Radye temel ve hatıl dolgularında.
- Yüzme havuzları,su depoları ve deniz kenarı yapılarda.

Yaşar (2008) tarafından yapılan çalışmada PL, HSK ve yöresel hafif agregalarla üretilen yüksek dayanımlı betonların yüksek sıcaklık altında fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada farklı oranlarda hafif agrega, PL ve HSK kullanılmış ve 16 adet numune üretilmiştir. Yapılan çalışmada hafif agrega oranının artması ve HSK kullanımının betonun işlenebilirliğini arttırdığı gözlenmiştir. HSK kullanılarak üretilen beton numunelerde 600°C ve 700°C’de belirgin şekilde çatlaklar olduğu tespit edilmiştir. Lif kullanılarak üretilen beton numunelerin, geleneksel betonlara göre yüksek sıcaklığa karşı çatlak dayanımlarının daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Sertbaş (2006) tarafından yapılan çalışmada KYB’de PL kullanımının işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada s/ç oranı sabit farklı akışkanlaştırıcı ve PL kullanılarak üç farklı seri beton üretilmiştir. PL miktarının basınç dayanımına ve elastisite modülüne önemli ölçüde etkisi olmadığı gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda lif kullanılan betonların işlenebilirlik derecelerinin iyi olduğu ancak fazla miktarda lif ve katkı kullanımının segregasyona yol açtığı tespit edilmiştir. Deney sonucunda PL ilaveli betonların oluşabilecek rötre çatlaklarını önlediği ve durabiliteyi arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Zeiml ve diğ. (2005) tarafından polipropilen lifin betonun yüzey çatlağına etkisi adlı çalışmada lifli ve lifsiz beton üretilmiştir. Çalışmada polipropilen lifin beton yüzey çatlağının ve geçirimsizliği üzerinde önemli ölçüde etkisi olduğu gözlenmiştir. Lif katkısız betonların, lif katkılı betonlara göre çatlak yarı çaplarının iki kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Polipropilen liflerin farklı düşük sıcaklıklar altında geçirimsizlikleri üzerinde eşit derecede etki ettiği sonucuna varılmıştır.

Song ve diğ. (2004) tarafından naylon ve polipropilen lif katkıların betonun dayanımının üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada üç tip üretim yapılmıştır. Naylon liflerin

polipropilen liflere göre rötre çatlaklarının oluşumunun engellenmesinde daha az etkisi olduğu gözlenmiştir. Kullanılan naylon liflerin iyi performans göstermesinin sebebinin beton içerisinde daha iyi dağılım gösterebilmesi bundan dolayı çekme mukavemetinin artması olduğu sonucuna varılmıştır.

 te (2008) tarafından yapılan UK ve PL kullanımının silindirle sıkıştırılmış beton (SSB)  zellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu  alışma kapsamında UK ve PL ile 16 adet silindirle sıkıştırılmış beton üretilmiştir. SSB'ye UK ve PL eklendiğinde su muhtevası değeri artmış ancak birim ağırlık değeri düşmüştür. UK kullanımı betonun mekanik özelliklerini olumsuz şekilde, PL kullanımı ise mekanik özellikleri olumlu şekilde etkilediği tespit edilmiştir.. Lifli ve lifsiz üretilen SSB'lerde darbeye kırılma tokluğu ve basınçta kırılma tokluğu arasında benzer ilişkiye rastlanmamıştır. Lifli üretilen betonların geleneksel üretilen betonlara göre daha az maliyetli olduğu tespit edilmiştir. PL kullanımı s/  oranını arttırdığı için dayanımda azalmalara yol açtığı ve çatlak oluşumlarını azalttığı sonucuna varılmıştır.

2.4. K MYASAL KATKILAR

Beton  retiminde kullanılan kimyasal katkılar TS EN 934-2 (2002) ilgili standardında "Betonun taze ve/veya sertleşmiş h ldeki özelliklerini geliştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona,  imento kütlesinin % 5'ini geçmemek üzere eklenen madde" olarak tanımlanır.

Katkılar beton karışımına diğer beton bileşenlerine göre daha az miktarda eklenir. Beton  retiminde kullanılan kimyasal katkılar betonun işlenebilirliğini, basınç dayanımını, priz sürelerini vb.  zelliklerini olumlu yönde arttırır. Beton özelliklerini iyileştirmesi, ekonomik olması ve iş gücünden tasarruf sağlanması kimyasal katkı maddelerinin kullanılmasının en önemli sebebidir.

Kimyasal katkıların iyileşen beton özelliklerine göre TS EN 934-2 (2002) standardında tanımlanan  eşitleri vardır:

- Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkı
- Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı katkı
- Su tutucu katkı
- Hava sürükleyici katkı

- Priz hızlandırıcı katkı
- Sertleşmeyi hızlandırıcı katkı
- Priz geciktirici katkı
- Su geçirimsizlik katkısı
- Priz geciktirici / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkı
- Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı katkı
- Priz hızlandırıcı / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkı

TS EN 934-2 (2002) standardına uygun olarak sıralanan kimyasal katkı çeşitlerinin içinde günümüzde en fazla süper akışkanlaştırıcı kullanılır.

İnan (2017) tarafından yapılan çalışmada kendiliğinden yerleşen betonlarda kimyasal katkı ve çimentoların beton özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında s/ç oranı sabit tutularak üç farklı kimyasal katkı kullanılmış ve üç tip beton üretilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda kullanılan çimento özelliklerinin betonu kullanılan kimyasal katkılardan daha belirleyici özellikte olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal katkı kullanımı ile basınç dayanımlarında artış olduğu ancak su emme oranlarında azalma gözlenmiştir.

Ateşin (2017) tarafından yapılan çalışmada yüksek dozajda kimyasal katkı kullanımının mikro beton özelliklerine etkisinin analizi ve modellemesi yapılmıştır. Çalışmada sabit harç bileşenleri ve farklı oranlarda kimyasal katkılarla beş adet beton numune üretilmiştir. Üretimde kullanılan kimyasal katkıların dozajını arttıkça birim ağırlıkta bir miktar azalma görülmüş ancak süperakışkanlaştırıcı eklenen numunelerde ciddi azalmalar olmuştur. Katkı dozajının artmasıyla kılcal su emme miktarlarında artış gözlenmiştir. Kullanılan kimyasal katkılar sayesinde priz süresinde artma olduğu tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda yüksek dozajda kimyasal katkı kullanımının beton özelliklerini olumsuz olarak etkilediği sonucuna varılmıştır.

Bekem (2014) tarafından kimyasal katkı maddelerinin betonun yüksek sıcaklığa dayanıklılığı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında katkılı ve katkısız olarak dört çeşit beton üretilmiştir. Betonlarda mekanik ve fiziksel özelliklerin kaybı en fazla 700 °C’de tespit edilmiştir. Su emme oranının üretilen tüm beton numunelerinde tüm sıcaklıklarda artış gösterdiği ancak sıcaklık miktarı arttıkça ultrases geçiş hızında düşüş tespit edilmiştir. 700

°C’de ve soğutma koşulları göz önüne alındığında en fazla dayanım kaybı katkılı beton numunelerinde olduğu sonucuna varılmıştır.

2.4.1. Süper akışkanlaştırıcı

Süper akışkanlaştırıcı (SA) kimyasal katkıları betondan beklenen dayanım, dayanıklılık, işlenebilme ve yerleşme özelliklerini iyileştirdiği için en çok kullanılan kimyasal katkılardır.

Ormancı (2009) yaptığı araştırmalara göre, kullanılan SA’lar; naftalin polisülfonatlar, melamin polisülfanatlar, linyosülfonatlar, polikarboksilatlar, poliakrilatlar ve polifosfonatlar olarak 6 farklı çeşitten oluşur.

Beton üretiminde SA kullanılmasının en önemli sebebi yüksek akışkanlığa sahip olan beton üretiminin tercih edilmesidir. SA’nın dozajına, sınıfına, s/ç oranına, agrega özelliklerine, sıcaklık gibi birden fazla parametreye bağlı olarak betonların çökme yayılma değerlerinde artma gözlemlenir (Ormancı, 2009).

Uyan ve diğ. (1996) tarafından süperakışkanlaştırıcı katkıların portland çimento harçlarının rötresine etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada üç farklı dozaj ve üç çeşit süperakışkanlaştırıcı kullanılarak üç tip beton üretilmiştir. Deneysel çalışmalar sonunda süperakışkanlaştırıcı katkının kuruma rötresini ve basınç dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. Ancak buna rağmen eğilme dayanımında belirgin bir değişim görülmemiştir.

Akman (1996) tarafından yapılan çalışmada süperakışkanlaştırıcı katkıların taze beton işlenebilmesindeki sorunlar irdelenmiştir. Süperakışkanlaştırıcının beton karma suyuyla karıştırılmaması ve bu katkının beton içerisine ilavesinin geciktirilmesinin işlenebilme kaybını önlemek için zorunlu olduğu belirtilmiştir. Süperakışkanlaştırıcı ilaveli betonlarda segregasyonun fazla olmadığı uçucu kül kullanılarak bu sorunun azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Şimşek ve diğ. (2007) tarafından beton üretiminde süper akışkanlaştırıcının çeşidinin ve oranının belirlenmesi konusu araştırılmıştır. Bu çalışmada silis dumanı ve üç çeşit süperakışkanlaştırıcı ile beton üretimi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkıların işlenebilirliği arttırdığı gözlenmiştir. Katkı oranının artışıyla birlikte beton içerisinde bulunan hava miktarında küçük oranda artış gözlenmiştir. Silis

dayanımlarında artış görülmüştür. HSKK'nın kullanıldığı numunelerde kılcal kanalların süreklilik durumunun engellendiği ve buna bağlı olarak suyun iç kısımlara girmesinin önlenildiği tespit edilmiştir. Cam elyafın kullanıldığı numunelerde sünek davranış, kullanılmadığı numunelerde ise gevrek davranış oluşmuştur. Deneyler sonucunda kerpiç çalışmasının maliyeti azalttığı sonucuna varılmıştır.

Eskandri ve diğ. (2016) tarafından hava sürükleyici katkı maddesinin donatılı betonda korozyon üzerinde etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında 5 adet silindirik 15 mm donatı içeren numune üretilmiş ve çeşitli hava sürükleyici kimyasal katkılar kullanılmıştır. Kullanılan katkı maddesinin betonda donma-çözülmeden dolayı oluşabilecek zararlı etkileri engellediği görülmüştür. Korozyon etkisinin ve korozyon akım yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak hava sürükleyici kimyasal katkı maddesinin kullanımının beton özelliklerini iyileştirmek için yararlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Ziaei-nia ve diğ. (2017) çalışmalarında HSKK'nın sıcaklık değişimleri altında donma-çözülme etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda HSKK'nın beton içerisinde oluşturduğu küçük boyutlu hava kabarcıklarının beton numunelerde oluşan ısı gerilmelerinin daha düzgün dağılımlı olmasını sağladığı belirlenmiştir. Beton üretiminde HSKK'nın kullanılmasının betona daha fazla dayanıklılık ve geç deformasyon sağladığı tespit edilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında lifli ve hava sürükleyici katkı, su/çimento oranı 0,56 olan 8 farklı tipte geleneksel beton üretildi.

3.1.KULLANILAN MALZEMELERİ

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda verildi.

3.1.1. Çimento

Beton üretiminde Akçansa CEM-I 42,5 R sınıfı çimento kullanıldı. Kullanılan çimentoya ait özgül ağırlık $3,17 \text{ gr/cm}^3$ 'tür.

3.1.2. Agrega

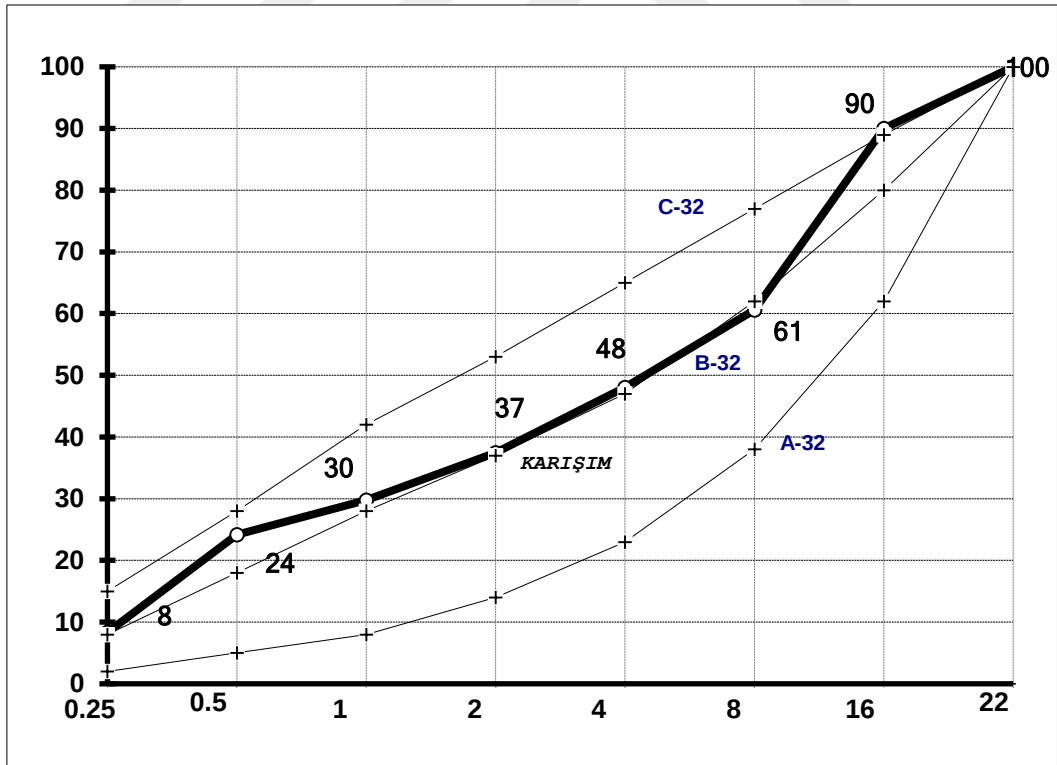
Bu tez çalışmasında doğal kum, kırma kum, kırmataş 1 ve kırmataş 2 kullanıldı. Agrega karışım oranları; %20 doğal kum (DK) , %27 kırma kum (KK), %20 kırmataş (KT1) ve %33 kırmataş 2 (KT2)'dir. Kullanılan agregalara ait fiziksel özellikler Tablo 3.1., elek analizi sonuçları Tablo 3.2. ve agrega karışım granülometri eğrisi sonuçları Tablo 3.3.'te verildi.

Tablo 3.1: Agregaların özgül ağırlıkları.

AGREGA	ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm ³)
Doğal Kum	2,65
Kırma Kum	2,73
Kırmataş 1	2,7
Kırmataş 2	2,68

Tablo 3.2: Agregaların Elek analizi sonuçları.

ELEK AÇIKLIĞI (mm)	ELEKTEN GEÇEN % MİKTARI				
	KT 1	KT2	DK	KK	KARIŞIM
31,5	100	100	100	100	100
16	100	80	100	100	90
8	68	1	100	100	60,93
4	12	1	100	95	48,38
2	6	0	99	61	37,47
1	5	0	98	34	29,78
0,5	4	0	94	17	24,19
0,25	3,9	0	26,8	8,1	8,327



Şekil 3.1: Agregaların ve karışımın granülometri eğrisi.

3.1.3. Su

Beton üretiminde şehir şebeke suyu kullanıldı.

3.1.4. Kimyasal Katkılar

3.1.4.1. Hava Sürükleyici Kimyasal Katkı

Beton üretiminde CHRYSO Air G 100 hava sürükleyici katkı maddesi kullanıldı. Kullanılan hava sürükleyici katkının teknik özellikleri Tablo 3.3.'te verildi.

Tablo 3.3: Hava sürükleyici katkının teknik özellikleri.

HAVA SÜRÜKLEYİCİ	
Görünüm	Sıvı
Yoğunluk	1,030 +/- 0,02 gr/cm ³
Renk	Sarı
pH	6
Klorür İçeriği	< %0,1
Alkali İçeriği	< %2

3.1.4.2. Süperakışkanlaştırıcı

Beton üretiminde naftalin içerikli süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanıldı. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin teknik özellikleri Tablo 3.4.'te verildi.

Tablo 3.4: Süperakışkanlaştırıcı katkısının teknik özellikleri.

SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI	
Malzemenin Yapısı	Naftalin Sülfonat Esaslı
Görünüm	Kahverengi
Özgül Ağırlık	1,19-1,22 kg/lt
pH	8-10,0
Alkali İçeriği (%)	≤10,0
Klor İyon İçeriği(%)	≤0,1

3.1.5. Lifler

3.1.5.1. Sentetik Lif

Beton üretiminde Barchip 48 makro sentetik lif kullanıldı. Kullanılan sentetik lifin karakteristik ve malzeme özellikleri Tablo 3.5.'te verildi.

Tablo 3.5: Sentetik lifin karakteristik ve malzeme özellikleri.

KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLER	MALZEME ÖZELLİKLERİ
Hammadde	Modifiye Edilmiş Olefin
Uzunluk	48mm
Çekme Gerilmesi	640 Mpa
Yüzey Dokusu	Sürekli Kabartma
Fiber Sayısı / kg	59,5
Yoğunluk	0,90 - 0,92 g/cm ³
Elastisite Modülü	10 Gpa
Ergime Noktası	159 - 170°C
Yanma Noktası	450°C

3.1.5.2. Çelik Lif

Beton üretiminde çelik lif olarak Dramix 3D kullanıldı. Kullanılan çelik lifin teknik özellikleri Tablo 3.6.'da verildi.

Tablo 3.6: Çelik lifin teknik özellikleri.

TEKNİK ÖZELLİKLER	
Lif Şekli	Çengel Bitişli
Uzunluk (mm)	30
Çap (mm)	0,62
En/Boy Oranı	97
Çekme Dayanımı	1270
Yoğunluk Etkisi (s)	8
Beton Dayanımı Etkisi (kg/m ³)	10
Tehlikeli Madde Salınımı	Yok
Elastisite Modülü	200

3.2. BETON ÜRETİMİ

Bu tez çalışmasında 2 farklı lif, hava sürükleyici ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılarak 8 seri beton üretildi. Kıvam sınıfı S4 yani akıcıdır. Su/Çimento oranı 0,56 olarak belirlendi. Süperakışkanlaştırıcı miktarı, katkı/çimento oranı %1,1 ve hava sürükleyici katkı miktarı ise %0,2 olarak seçildi. Enerji yutma kapasitesi EK1.'de verilmekte olan tabloda 700-1000 joule arasında belirlendi ve bundan dolayı kullanım değerleri arasında maksimum değerler olan sentetik lif oranı 1 m³'te 4 kg ve çelik lif oranı 1 m³'te 20 kg olarak seçildi. İki lifin bir arada kullanıldığı üretimlerde ise enerji yutma kapasitesini sağlamak amacıyla oranlar yarıya indirilip lifler karıştırılarak beton serisi üretildi.

Beton üretiminde üretilen kontrol beton numuneler Ş1; kontrol betonlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılan numuneler ŞH1; yalnızca çelik lif kullanılan numuneler Ç1; çelik lif ve hava sürükleyici katkı maddesi kullanılan numuneler ÇH1; yalnızca sentetik lif kullanılan numuneler S1; sentetik lif ve hava sürükleyici katkı maddesi kullanılan numuneler SH1; çelik-sentetik lif kullanılan numuneler M1; çelik-sentetik lif ve hava sürükleyici katkı maddesi kullanılan numuneler MH1 olarak isimlendirildi. Betonların bileşimleri ve oranları Tablo 3.7'de, karışım tasarım oranları ise Tablo 3.8.'de verildi.

Tablo 3.7: Numune kodları ve açıklamaları.

NUMUNE KODU	HAVA SÜRÜKLEYİCİ KATKI	SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI	ÇELİK LİF	SENTETİK LİF
Ş1		✓		
ŞH1	✓	✓		
Ç1		✓	✓	
ÇH1	✓	✓	✓	
S1		✓		✓
SH1	✓	✓		✓
M1		✓	✓	✓
MH1	✓	✓	✓	✓

Tablo 3.8: 1 m³ beton için karışım tasarım hesabı.

Numune Kodu	Çimento	KT2	KT1	DK	KK	Su	SA	HSKK	ÇL	SL
Ş1	300	603,28	371,26	364,24	521,77	168	3,3	1,46	-	-
ŞH1	300	603,28	371,26	364,24	521,77	168	3,3	1,46	-	-
Ç1	300	603,28	371,26	364,24	521,77	168	3,3	1,46	20	-
ÇH1	300	603,28	371,26	364,24	521,77	168	3,3	1,46	20	-
S1	300	603,28	371,26	364,24	521,77	168	3,3	1,46	-	4
SH1	300	603,28	371,26	364,24	521,77	168	3,3	1,46	-	4
M1	300	603,28	371,26	364,24	521,77	168	3,3	1,46	10	2
MH1	300	603,28	371,26	364,24	521,77	168	3,3	1,46	10	2

3.2.1. Beton Üretim Aşamaları

Doğal kum, kırma kum, kırmataş1 ve kırmataş2 betoniye konularak kuru halde karıştırıldı.

Beton üretirken homojenliği sağlamak için suyun yarısı dökülerek karıştırma işlemine devam edildi.

Suyun kalan yarısı ise kimyasal katkı maddesi ile karıştırılarak betoniye döküldü.

Hava sürükleyici katkı kullanılan beton üretimlerinde ise kimyasal katkı maddesi eklendikten sonra hava sürükleyici katkı eklenip karıştırma işlemine devam edildi.

Lifler beton karışımına eklendikten sonra karıştırma işlemi sona erdi.

3.2.2. Beton Numune Boyutları

Üretilen taze beton; numune boyutları 15cm*15cm olan 6 adet küp ve 10cm*20cm olan 10 adet silindir kalıplara konuldu.

3.3. UYGULANAN DENEYLER

Üretilen betonlarda taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapıldı.

3.3.1. Taze Beton Deneyleri

Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra taze betonda çökme, hava muhtevası ve birim ağırlık deneyleri yapıldı. Numuneler bir gün bekledikten sonra kalıplardan çıkarılarak beton kür havuzuna konuldu.

3.3.1.1. Çökme Deneyi

Karılma işlemi tamamlandıktan sonra TS EN 12350-2 ilgili standardına uygun olarak taze beton kesik koniye üç tabaka halinde yerleştirildi. Her tabaka çelik çubuk ile 25'er kez şişlendi. En üst tabakanın şişleme işlemi bittikten sonra bir mala yardımı ile koninin üst yüzeyi düzeltildi ve koni yavaş bir şekilde yukarı doğru çekildi. Taze betonun çökme değeri bir cetvel yardımı ile ölçüldü.



Şekil 3.2: Çökme deneyi uygulaması.

3.3.1.2. Birim Ağırlık Deneyi

Birim ağırlık deneyi TS EN 12350-6 ilgili standardına uygun olarak yapılmıştır. Taze beton hacmi daha önce ölçülmüş olan bir kap içerisine yerleştirildi ve titreşim masası yardımıyla sıkıştırıldı. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra kap içerisindeki beton numuneyle tekrar tartıldı ve birim ağırlık değeri hesaplandı.



Şekil 3.3: Birim ağırlık deney uygulaması

3.3.1.3. Hava İçeriği Deneyi

Hava içeriği deneyi TS EN 12350-7 ilgili standardına uygun olarak yapıldı. Taze beton, hava ölçer deney aletinin içerisine yerleştirildi ve titreşim masası yardımıyla beton sıkıştırıldı. Betonun yerleştirildiği hava ölçer deney aletinin hava almaması için deney aletinin çevresi yağlandı ve alabildiği düzeyde su eklendi. Basınç pompası yardımıyla hava içeriği değeri ölçüldü.



Şekil 3.4: Hava içeriği deney uygulaması.

3.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilen betonlarda taze beton deneyleri yapıldıktan sonra her karışımdan 6 adet küp ve 10 adet silindir numune alındı. Alınmış olan numuneler üzerinde 28 gün sonra basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases deneyleri ve ultrasese bağlı olarak karışımların elastisite modülleri hesaplandı.

3.3.2.1. Basınç Dayanım Deneyi

Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 (2002) ilgili standardına uygun olarak yapıldı. Basınç deneyi yapılacak küp numuneler deney aletinin merkezi noktasına yerleştirildi. 0,5 Mpa/s sabit yükleme hızı numunelere uygulandı ve ulaşılan en büyük değer kaydedildi.



Şekil 3.5: Basınç dayanım deney uygulaması.

3.3.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyi TS EN 12390-6 (2002) ilgili standardına uygun olarak yapıldı. Silindir numuneler deney aletinin merkezine altında ve üstünde sıkıştırma şeritleri olacak şekilde yerleştirildi. 0.05 Mpa/s sabit yükleme hızı numunelere uygulandı ve ulaşılan en büyük çekme dayanım değeri kaydedildi.



Şekil 3.6: Yarmada çekme dayanım deney uygulaması.

3.3.2.3. Ultrases Deneyi

Ultrases deneyi yapılmadan önce ilk olarak cihaz kalibre edildi. Deney yapılacak olan beton numunelerin boyutları ölçüldü. Ses dalgası gönderecek olan alıcı ve verici probların uçlarına jel sürüldü. Problar numune yüzeyine karşılıklı olacak şekilde yerleştirilmiş ve ölçüm yapıldı.



Şekil 3.7: Ultrases deney uygulaması

4. BULGULAR

4.1.TAZE BETON DENEYLERİ

4.1.1. Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlar ilgili standartta belirtilen deney yöntemine göre hesaplandı. Birim ağırlık deney sonuçları Tablo 4.1’de verildi.

Tablo 4.1: Birim ağırlık deney sonuçları.

NUMUNE KODU	BİRİM AĞIRLIK (mg/m ³)
Ş1	2,37
ŞH1	2,29
Ç1	2,37
ÇH1	2,28
S1	2,37
SH1	2,29
M1	2,33
MH1	2,26

Üretilen betonlarda hava sürükleyici kimyasal katkı kullanılan numunelerde (ŞH1, ÇH1, SH1 ve MH1) birim ağırlık değerinin şahit betona (Ş1) göre azaldığı tespit edilmiştir.

4.1.2. Çökme Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlar ilgili standartta verilen deney yöntemine göre hesaplandı. Çökme deneyi sonuçları Tablo 4.2.’de verildi.

Tablo 4.2. Çökme deneyi deney sonuçları.

NUMUNE KODU	ÇÖKME DEĞERİ(cm)
Ş1	21
ŞH1	20
Ç1	20
ÇH1	20
S1	15
SH1	15
M1	16
MH1	16

Üretilen betonlarda iki lifin bir arada kullanıldığı üretimlerde (M1 ve MH1) ve sadece sentetik lifin kullanıldığı (S1 ve SH1) üretimlerde çökme değerinin şahit betona (Ş1) göre azaldığı tespit edildi. Bunun yanı sıra sadece çelik lif (Ç1 ve ÇH1) kullanılarak yapılan üretimlerde çökme değerinde ciddi bir değişime rastlanmadı.

4.1.3. Hava İçeriği Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlar ilgili standartta verilen deney yöntemine göre hesaplandı. Hava içeriği deneyi sonuçları Tablo 4.3.'te verildi.

Tablo 4.3: Hava içeriği deney sonuçları.

NUMUNE KODU	HAVA İÇERİĞİ(%)
Ş1	2,9
ŞH1	5,8
Ç1	3,5
ÇH1	6,5
S1	2,3
SH1	4,6
M1	2,6
MH1	4,9

Hava sürükleyici kimyasal katkı kullanılarak üretilen (ŞH1, ÇH1, SH1 ve MH1) numuneler üzerinde yapılan hava içeriği deneyinde şahit betona (Ş1) göre kıyaslandığında yaklaşık %50 oranında bir artış gözlemlendi.

4.2.SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ

Taze beton deneyleri tamamlandıktan sonra her karışımdan 10 adet silindir ve 6 adet küp numune alındı. Alınan numuneler üzerinde 28. Günde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases deneyleri yapılmış ve elastisite modülü değerleri belirlendi.

4.2.1. Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları

26. günde kür havuzundan çıkarılan numunelere 28. günde basınç deneyi TS EN 12390-3 ilgili standardına göre yapıldı. Deney cihazında numunelerin maksimum kırılma yükleri belirlenerek 3 deneyin ortalaması alınıp basınç dayanımı belirlendi. Üretilen betonların C25/30 – C35/45 basınç dayanım sınıfları arasında olduğu tespit edildi. Betonların 28 günlük basınç dayanımları Tablo 4.4’de verildi.

Tablo 4.4: 28 günlük basınç dayanım deney sonuçları.

NUMUNE KODU	BASINÇ DAYANIMI
	28 GÜNDE
Ş1	37,81
ŞH1	34,14
Ç1	41,02
ÇH1	39,63
S1	38,82
SH1	33,55
M1	35,01
MH1	39,03

Üretilen betonlarda çelik lif ile üretilen (Ç1 ve ÇH1) ve sentetik lif ile üretilen (S1 ve SH1) numunelerde basınç dayanımının arttığı tespit edildi. Ancak üretim aşamasında kullanılan hava sürükleyici kimyasal katkılı betonların (ŞH1, ÇH1, SH1 ve MH1) şahit betona göre (Ş1) basınç dayanımında azalma görüldü.

4.2.2. Yarmada Çekme Dayanım Deneyi Sonuçları

Üretilen silindir beton numunelerin yarmada çekme dayanımı deneyi TS EN 12390-6 ilgili standardına göre yapıldı. Deney cihazında numunelerin maksimum kırılma yükleri belirlenmiş ve çekme dayanım değerleri hesaplanarak 3 deneyin ortalaması alındı. Hesaplanan deney sonuçları Tablo 4.5.'te verildi.

Tablo 4.5: 28 günlük yarmada çekme dayanım deney sonuçları.

NUMUNE KODU	ÇEKME DAYANIMI (N/mm ²)	ORTALAMA	NUMUNE KODU	ÇEKME DAYANIMI (N/mm ²)	ORTALAMA
Ş1	3,41	3,44	S1	3,95	3,82
Ş2	3,35		S2	3,63	
Ş3	3,58		S3	3,88	
ŞH1	3,72	3,73	SH1	3,34	3,50
ŞH2	3,98		SH2	3,35	
ŞH3	3,5		SH3	3,81	
Ç1	4,48	4,23	M1	3,42	3,76
Ç2	3,99		M2	3,93	
Ç3	4,23		M3	3,95	
ÇH1	3,09	3,24	MH1	4,28	4,13
ÇH2	3,35		MH2	4,05	
ÇH3	3,28		MH3	4,07	

28 gün sonunda yapılan yarmada çekme dayanım deneyinde çelik lif ve sentetik lif ile hava sürükleyici kimyasal katkı kullanılarak üretilen betonlarda (ÇH1 ve SH1) dayanımda azalma tespit edildi. Ancak iki lif ve hava sürükleyici kimyasal katkı ile birlikte üretilen betonlarda (MH1) çekme değerinin arttığı gözlemlendi.

4.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

Üretilen 4 adet silindir ve 4 adet küp numunelerde 28. Günde ultrases geçiş hızı deneyi yapıldı. Yapılan deney sonuçlarının ortalamaları alındı ve deney sonuçları Tablo 4.6. ve Tablo 4.7.'de verildi.

Tablo 4.6: 28 günlük silindir numunelerde ultrases deney sonuçları.

NUMUNE KODU	ULTRASES HIZI (m/s)	ORTALAMA	NUMUNE KODU	ULTRASES HIZI (m/s)	ORTALAMA
Ş1	4,23	4,22	S1	4,16	4,18
Ş2	4,33		S2	4,07	
Ş3	4,09		S3	4,22	
Ş4	4,22		S4	4,28	
ŞH1	4,25	4,19	SH1	4,06	4,04
ŞH2	4,2		SH2	4,1	
ŞH3	4,13		SH3	4,05	
ŞH4	4,17		SH4	3,96	
Ç1	4,11	4,13	M1	4,18	4,06
Ç2	4,17		M2	4,01	
Ç3	4,17		M3	4,03	
Ç4	4,05		M4	4,03	
ÇH1	3,93	4,00	MH1	4,02	4,04
ÇH2	4		MH2	4,08	
ÇH3	3,99		MH3	4,17	
ÇH4	4,08		MH4	3,9	

Tablo 4.7: 28 günlük küp numunelerde ultrases deney sonuçları.

NUMUNE KODU	ULTRASES HIZI (m/s)	ORTALAMA	NUMUNE KODU	ULTRASES HIZI (m/s)	ORTALAMA
Ş1	4,07	4,09	S1	6	5,9
Ş2	4,13		S2	6,12	
Ş3	4,02		S3	5,55	
Ş4	4,13		S4	5,95	
ŞH1	4,18	4,14	SH1	6,21	6,21
ŞH2	4,1		SH2	6,14	
ŞH3	4,17		SH3	5,9	
ŞH4	4,1		SH4	5,57	
Ç1	4,36	4,29	M1	6,17	5,94
Ç2	4,22		M2	5,85	
Ç3	4,37		M3	5,92	
Ç4	4,23		M4	5,81	
ÇH1	4,32	4,17	MH1	6	6,04
ÇH2	4,21		MH2	6,09	
ÇH3	4,07		MH3	6,04	
ÇH4	4,07		MH4	6,04	

28 gün sonunda küp ve silindir numunelere ayrı ayrı ultrases deneyi yapıldı.

- Yapılan deney sonucunda silindir numunelerde hava sürükleyici kimyasal katkı ile üretilen betonların (SH1, ÇH1 ve MH1) ultrases hızının azaldığı gözlemlendi. Üretimde kullanılan liflerin ses hızını arttırdığı gözlemlendi.
- Küp numuneler üzerinde yapılan ultrases deneyinde silindir numunelere göre kıyaslandığında hava sürükleyici kimyasal katkı ve liflerin bir arada kullanılarak üretilen betonlarda (M1 ve MH1) ultrases hızının arttığı görüldü. Çelik lif ve sentetik lif ile hava sürükleyici kimyasal katkı ile üretilen betonlarda (SH1 ve ÇH1) ultrases hızının azaldığı görüldü.

4.2.3.1. Elastisite Modülü Sonuçları

Tablo 4.8: Elastisite modülü sonuçları.

NUMUNE KODU	ELASTİSİTE MODÜLÜ
Ş1	20964
ŞH1	20903
Ç1	21299
ÇH1	21818
S1	23040
SH1	21223
M1	23878
MH1	18823

Elastisite modülü değerleri dikkate alındığında sentetik ve çelik lif katılarak üretilen betonlarda (S1, SH1, Ç1 ve ÇH1) değerlerin arttığı gözlemlendi. İki lifin beraber kullanıldığı üretimde (M1) elastisite modül değerinin arttığı ancak iki lifin ve hava sürükleyici kimyasal katkı kullanılarak üretilen betonlarda (MH1) elastisite modülü değerinin şahit betona göre azaldığı gözlemlendi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1.TAZE BETON DENEY SONUÇLARI

- Hava sürükleyici kimyasal katkı ve lif ilave edilen numunelerde vibrasyon uygulaması olmadan yerleştirme işlemi boşluksuz olarak yapıldı. Şahit betonlar ile kıyaslandığında çelik lif ve hem sentetik hem de çelik lif ilaveli numunelerde birim ağırlıkların ciddi değişime uğramadığı yaklaşık $\pm\%1$ değiştiği gözlemlendi. Hava sürükleyici kimyasal katkı ilaveli numunelerde ise birim ağırlıkların azaldığı tespit edildi.
- Üretilen tüm hava sürükleyici kimyasal katkı ilaveli olan numunelerde hava içeriğinin yaklaşık %50 oranında arttığı belirlendi. Şahit betonu referans olarak alındığında; çelik lif ilaveli numunelerde hava içeriğinin arttığı ve sentetik lif ilaveli numunelerde hava içeriğinin azaldığı tespit edildi. Hem sentetik hem de çelik lif ilaveli numunelerde ise hava içeriğinin şahit betona oranla azaldığı belirlendi.
- Sentetik ve çelik lif ilaveli numunelerde çökme deneyi değerlerinin şahit betona göre azaldığı belirlendi. Ancak hava sürükleyici kimyasal katkının üretilen numunelerde çökme değerlerine etki etmediği tespit edildi.

5.2.SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI

- Üretilen betonların C25/30 – C35/45 basınç dayanım sınıfları arasında olduğu tespit edildi. Numunelerde kullanılan hava sürükleyici kimyasal katkının beton içerisinde yarattığı hava boşluklarından dolayı basınç dayanımını azalttığı gözlemlendi. Sentetik lif ilaveli numunelerle kıyaslandığında çelik lif ilaveli numunelerin basınç dayanımlarında artış oranının daha fazla olduğu belirlendi. Ancak sentetik-çelik lif ile hava sürükleyici kimyasal katkı ilaveli üretilen numunelerde kullanılan katkının basınç dayanımına etkisi olmadığı sonucuna varıldı.
- Numunelerde kullanılan sentetik lifin yarmada çekme dayanım değerlerini arttırdığı belirlendi. Yapılan deneyler sonucunda kullanılan hava sürükleyici kimyasal katkının çelik ve sentetik lif ilaveli numunelere eklenmesiyle çekme dayanımını düşürdüğü gözlemlendi. Ancak hem çelik hem de sentetik lif ile beraber kullanıldığı zaman kimyasal

katkının çekme dayanımını arttırdığı tespit edildi. Şahit betonu ile kıyaslandığında çelik ve sentetik liflerin beton dayanımını arttırdığı sonucuna varıldı.

- Numune üretiminde kullanılan hava sürükleyici kimyasal katkı ultrases hızını diğer sertleşmiş beton deneylerine göre daha az etkilediği görüldü. Silindir numunelerde sentetik ve çelik lif kullanımının ultrases hızını düşürdüğü belirlendi. Kullanılan kimyasal katkının üretilen tüm silindir numunelerde ultrases hızını yaklaşık %1-4 oranında düşürdüğü gözlenmiştir. Küp numunelerde ise kullanılan lifler ve hava sürükleyici kimyasal katkının ultrases hızını %1-5 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Küp ve silindir numunelerde kullanılan kimyasal katkının farklı etki yapmasının sebebi olarak küp numunelerde yerleşmenin daha iyi olduğu sonucuna varıldı.
- Üretimde kullanılan çelik ve sentetik lifler elastisite modülü değerlerini arttırdığı gözlemlendi. Kullanılan hava sürükleyici katkıdan dolayı oluşan hava boşlukları elastisite modülü değerlerini düşürdüğü tespit edildi. Hem sentetik lif hem de çelik lif ilaveli beton numunelerde şahit betonla kıyaslandığında elastisite modül değeri daha fazla arttığı sonucuna varıldı.

5.3.ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada hava sürükleyici kimyasal katkı ve farklı tip iki lif kullanıldı.

- Bu tez çalışmasının yanı sıra farklı oranlarda aynı tip çelik lif veya sentetik lif ile hava sürükleyici kimyasal katkı beraber kullanılıp beton üretimi yapılabilir ve üretilen beton numuneler üzerinde yapılan deneylerde taze ve sertleşmiş halde ki beton özelliklerinin nasıl değiştiği incelenebilir.
- Hava sürükleyici kimyasal katkısını farklı oranlarda kullanarak çelik lif ve/veya sentetik lif ile beraber üretilen beton numuneler üzerinde sertleşmiş ve taze beton deneyleri yapılabilir. Yapılan deneyler sonucunda beton özelliklerinin değişimi gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

- ACI Committee 544, 2009, *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA,
- Akman M. S., 1996, *Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması*, 4. Ulusal Beton Kongresi, 1-12.
- Akman M. S., 1996, *Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları*, 4. Ulusal Beton Kongresi, 55-72.
- Aktürk M., 2007, *Polipropilen Lif Takviyeli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Arazsu U., 2012, *Polipropilen Lifli Betonların Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- Ateşin Ö., 2017, *Yüksek Dozajda Kimyasal Katkı Kullanımının Mikro Beton Özelliklerine Etkisinin Analizi ve Modellenmesi*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Bahadır F., 2010, *Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Beglarigale A. ve Yazıcı H., 2015, *Çimento Esaslı Kompozitlerde Lif-matris Aderansına Kür Koşullarının Etkisinin İncelenmesi*, 9. Ulusal Beton Kongresi, 517-526.
- Bekem İ., 2014, *Kimyasal Katkı Maddelerinin Betonun Yüksek Sıcaklığa Dayanıklılığı Üzerine Etkileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Berbergil V., 2006, *Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Deeb R., 2013, *Flow of Self-Compacting Concrete*, Ph.D., Cardiff University.
- Efnarc, 2005, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*, European Research Project.
- Erdoğan T. Y., *Beton*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Ersoy H.Y., 2001, *Kompozit Malzemeler*, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Eskandri H., Nic A. M., Ghanel A., 2016, *Effect of Air Entraining Admixture on Corrosion of Reinforced Concrete*, International Conference on Industrial Engineering.
- Felekoğlu B. ve Baradan B., 2004, *Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri*.
- Gül T., 2011, *Cam Elyaf ve Hava Sürükleyici Katkı Kullanılarak Geliştirilmiş Kerpiç*, İstanbul Üniversitesi.

- Gültekin A. ve Beycioğlu A., SARIBAŞ İ. ve Arslan M. A., 2019, *Bazalt ve Cam Lifli İçeren KYB'lerde Lif Boyu ve Lif Miktarının Kapilarite ve Aşınma Dayanımına Etkisi*, 10. Uluslararası Beton Kongresi, 86-95.
- Güneş A., 2011, *Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonların Mühendislik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat üniversitesi.
- Gürdal H., Yüceer Z., 2004, *Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları*, Beton 2004 Kongresi Bildirileri, 244-254
- Gürses O., 2008, *Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri ve Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Han J. ve Zhao M. ve Chen J. ve Lan X., 2019, *Effects of Steel Fiber Length and Coarse Aggregate Maximum Size on Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete*, Construction and Building Materials, 577-591.
- Hsie T., TU C. ve Song P.S., 2008, *Mechanical Properties of Polypropylene Hybrid Fiber-Reinforced Concrete*, Materials Science and Engineering A, 153-157.
- Huang F. ve Li H. ve Yi Z. ve Wang Z. ve Xie Y., 2018, *The Rheological Properties of Self-Compacting Concrete Containing Superplasticizer and Air-Entraining Agent*, Construction and Building Materials, 833-838.
- İnan B., 2017, *Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kimyasal Katkı ve Çimentoların Beton Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Kandemir A., 2005, *Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Karaüç E., 2008, *Uçucu Kül ve Zeolitin Kendiliğinden Yerleşen Betonlara Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Kılınç C., 2007, *Katkı Dozajı ve Taze Beton Sıcaklığının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kozak M., 2013, *Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması*, SDU Teknik Bilimler Dergisi Sayı:5, 26-35.
- Kurt G., 2006, *Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Long W. ve Khayat K. H. ve Yahia A. ve Xing F., 2017, *Cement and Concrete Composites*, 105-116.
- Okamura H. ve Ouchi M., 2003, *Self Compacting Concrete*, Journal of Advanced Concrete Technology.
- Ormancı A. E., 2009, *Kendiliğinden Yerleşen Şapların Taze ve Sertleşmiş Haldeki Özellikleri ve Üretim Süreci*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Sağlam A. R. ve Parlak N. ve Doğan Ü. A. ve Özkul M. H., *Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı Çimento Uyumumu*.

Sertbaş B., 2006, *Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Song P.S. ve Hwang S. ve Sheu B. C., 2004, *Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes*, Cement and Concrete Research.

Sümer B., 2010, *Silis Dumanı Katkılı Betonlarda Propilen Lif Kullanımının Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Şahin Y., 2013, *Hava Sürükleyici Katkıların Karakterizasyonu ve Deney Koşullarının Betonun Donma-Çözülme Hasarına Etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Şengül C., 2005, *Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Şimşek O. ve ARUNTAŞ H. Y. ve Demir İ., 2007, *Beton Üretiminde Süper Akışkanlaştırıcı Çeşiti ve Oranının Belirlenmesi*, Gazi Üniv. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi.

Taşdemir M. A. ve Bayramov F., 2002, *Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı*, İTÜ Dergisi Sayı:2.

Topçu İ. B. ve Bilir T. ve Baylavlı H., 2008, *Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.

Topçu İ. B. ve Boğa A. R., 2005, *Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton Borularda Kullanımı*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi.

Topçu İ. B ve Boğa A. R., 2005, *Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton ve Beton Borularda Kullanımı*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi.

TS 706 EN 12620, 2003, *Beton Agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 1008, 2003, *Beton-Karma Suyu-Numune Alma,Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12350-2, 2002, *Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm2 : Çökme (Slamp) Deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12350-3, 2002, *Beton-Taze Beton Deneyleri- Bölüm 3 : Vebe Deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12350-4, 2002, *Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik Derecesi*, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12350-5, 2002, *Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü.

- TS EN 12350-6, 2002, *Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12350-7, 2002, *Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 7: Hava Muhtevasının Tayini- Basınç Metotları.*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-3, 2002, *Sertleşmiş Beton Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-5, 2002, *Sertleşmiş Beton Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-6, 2002, *Sertleşmiş Beton Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-7, 2002, *Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini Deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-8, 2002, *Sertleşmiş Betonda Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 197-1, 2002, *Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 206, 2002, *Beton- Bölüm 1 Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 934-2, 2002, *Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet için- Beton 2 : Beton Katkıları- Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme*, Türk Standartları Enstitüsü.
- Ulukaya S., 2008, *Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Rötire ve Rötire Çatlaklarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Uyan M. ve Karagüler M. ve Yücesoy S., 1996, *Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Portland Çimento Harçlarının Rötresine Etkisi*, 4. Ulusal Beton Kongresi, 81-94.
- Üte A. A., 2008, *Uçucu Kül ve Polipropilen Lif Kullanımının Silindire Sıkıştırılmış Betonun Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.
- Wafa F. F., 1990, *Properties and Applications of Fiber Reinforced Concrete*, King Abdulaziz University.
- Yaman İ. Ö ve Şahmaran M., 2005, *Kimyasal ve Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Harçlar*, 1. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 137-146.
- Yaprak H. ve Şimşek O. ve Öneş A., 2004, *Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi*, Politeknik Dergisi Sayı:4, 353-358.
- Yaşar S., 2008, *Polipropilen Lifli, Hava Sürükleyici Katkılı ve Yöresel Hafif Agregalarla Üretilen Yüksek Dayanımlı Betonların Yüksek Sıcaklıklar Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi.

Zeiml M. ve Leithner D. ve Lackner R. ve Mang H. A., 2005, *How do Polypropylene Fibers Improve the Spalling Behavior of In-situ Concrete?*, Cement and Concrete Research.

Zeynal E., 2008, *Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.

Ziaei-Nia A. ve Tadayonfar G. ve Eskandri-Naddaf H., 2017, *Effect of Air Entraining Admixture on Concrete under Temperature Changes in Freeze and Thaw Cycles*, International Conference of Materials Processing and Characterization.





EKLER

EK 1. EFNARC (1996)'e göre enerji yutma kapasiteleri

Toughness classification	Energy absorption in joule for deflection up to 25mm
a	500
b	700
c	1000

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Berrak KIZILIRMAK
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	22.05.1993
Uyruğu	☐ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	05362036194
E-Posta Adresi	Berrak.kizilirmak@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Tezli Yüksek Lisans

Makale ve Bildiriler	