

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN LİFLİ BETONLARIN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİ**

Abdulkadir GÜNEŞ

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Karataş

EYLÜL-2011

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

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN LİFLİ BETONLARIN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulkadir GÜNEŞ

(091115109)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21/06/2010

Tezin Savunulduğu Tarih:

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Mehmet KARATAŞ

**Diğer jüri üyeleri : Doç.Dr. Ragıp İNCE
Doç.Dr. Servet YILDIZ**

EYLÜL-2011

ÖNSÖZ

Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisi Yapı Ana Bilim Dalında yürütülen bu çalışmada liflerin kendiliğinden yerleşen beton üzerindeki etkilerini araştırarak kendiliğinden yerleşen lifli betonun mühendislik özelliklerini tanıtmak ve duyurmak amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen, çelik lifli ve polipropilen lifli beton ile alakalı çeşitli beton deneyleri yapılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton ile kendiliğinden yerleşen lifli betonların işlenebilirlik özellikleri incelenerek, liflerin betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen ve kaynak bulmamda yardımcı olan Gaziantep Üniversitesi, Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Erzurum Atatürk Üniversitesinde okumakta olan kardeşlerime, bu tezin hazırlanmasında gerekli yardımı esirgemeyen Araştırma görevlisi sayın Merve AÇIKGENÇ' e, Yapı Malzemesi Laboratuvarı teknisyeni sayın Seyfettin ÇİÇEK' e ve benden yardımlarını, desteğini, sabrını ve bilgisini esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd.Doç.Dr. Mehmet KARATAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca polipropilen lif ve çelik lifi gönderen Bekaert İzmit Çelik Kord. Sanayi ve Tic. A.Ş. firmasından sayın Mehmet Yerlikaya'ya, çimentoyu temin eden Elazığ Altınova Çimento Sanayii Tic. A.Ş. yetkililerine, süperakışkanlaştırıcı temininde yardımlarını esirgemeyen Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.' den sayın Yavuz Şahin' e sonsuz teşekkürler.

Abdulkadir GÜNEŞ
ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TOBLOLAR LİSTESİ	VII
SİMGELER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. KYB ve KYLB Hakkında Genel Bilgiler.....	1
1.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton.....	1
1.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Lifli Beton	6
1.2. Yapılan Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	11
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	13
2.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	13
2.1.1. Çimento ve Silis Dumanı.....	13
2.1.2. Agregalar.....	13
2.1.3. Su ve Süper Akışkanlaştırıcı.....	14
2.1.4. Çelik ve Polipropilen Lif.....	14
2.2. Deney Metodu	14
2.2.1. Karışım Oranları.....	15
2.2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	15
2.2.3. Taze Beton Deneyleri.....	16
2.2.3.1. Çökme Yayılma ve T ₅₀₀ Zamanı Deneyi.....	17
2.2.3.2. L Kutusu Deneyi	18
2.2.3.3. V Hunisi Deneyi	20
2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	21
2.2.4.1. Basınç Deneyi	21
2.2.4.2. Üç Noktalı Eğilme Deneyi.....	22
2.2.4.3. Ultrasonik Hız Tayini.....	23
2.2.4.4. Kapiler Su Emme Katsayısı Tayini.....	24
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
3.1. Taze Beton Deneyleri.....	26
3.1.1. Çökme-Yayılma Deney Sonuçları.....	26
3.1.2. V Hunisi Deney Sonuçları.....	32
3.1.3. L Kutusu Deney Sonuçları.....	32
3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	33
3.2.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....	33
3.2.2. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları.....	35
3.2.3. Ultrasonik Hız Deney Sonuçları.....	36
3.2.4. Kapiler Su Emme Deney Sonuçları.....	37
4. GENEL SONUÇLAR	39
KAYNAKLAR	43
ÖZ GEÇMİŞ	47

ÖZET

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen harçta lif kullanımının işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için değişik miktarlarda polipropilen ve çelik lif kullanılarak araştırma yapılmıştır. Böylece kendiliğinden yerleşen lifli betonun taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kendiliğinden yerleşen betonda lif kullanımının betonun akıcılık özelliklerini olumsuz etkilediği, özellikle donatılar arasından geçiş yeteneğinin lif varlığından en fazla etkilenen parametre olduğu gözlenmiştir. Lif miktarının belirli sınırlar arasında kalması şartıyla betonun KYB statüsüne girebileceği anlaşılmıştır. Betonun dayanım ve dayanıklılığının lif çeşidine ve miktarına bağlı olarak değişik değerler aldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Kendiliğinden Yerleşen Lifli Beton, Lifli Beton.

SUMMARY

In this research we intended to study the effects of the use of fibre on workability, solidity and hardness in self-compacting plaster. For that, we did research using different amounts of polypropylene and steel fibre. So, the properties of wet and hard fibrous concrete were analyzed. According to the results obtained from the study, it is observed that using fibers in self-compacting concrete effects the liquidity of the concrete badly and especially its ability to pass through accessories, is the parameter mostly effected by the presence of fiber. It's concluded that the concrete can only be regarded as SCC on the condition that the quantity of fiber is stabled between certain limits. It's determined that the solidity and hardness of the concrete changed depending on the types and amount of the fibers.

Key Words: Self-Compacting Concrete, Self-Compacting Fibrous Concrete, Fibrous Concrete.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. KYB ve KYLB İçin, a) Çökme-Yayılma ve T_{500} , b) L-Kutusu, c) V-Hunisi Deneyleri.....	16
Şekil 2.2. Çökme-Yayılma Tablası.....	17
Şekil 2.3. L-Kutusu Deney Seti, a: Perspektif , b: Yandan Görünüş, c: Üstten Görünüş	19
Şekil 2.4. V-Hunisi Deney Seti.....	21
Şekil 2.5. Beton Basınç Dayanımı Deneyi.....	22
Şekil 2.6. Üç Noktalı Eğilme Deneyi.....	23
Şekil 2.7. Ultrason Cihazı.....	24
Şekil 2.8. Kılcal Su Emme Deneyi.....	25
Şekil 3.1. KYB ve KYLB' ların Çökme Yayılma Durumları a: Kontrol Betonu, b: PL 0.45 Betonu, c: PL 0.90 Betonu, d: PL 1,80 Betonu, e: ÇL20 Betonu, f: ÇL40 Betonu, g: ÇL60 Betonu, h: PL 0.45+ÇL40 Betonu, i: PL 0.90+ÇL20 Betonu	31
Şekil 3.2. Çelik Lifli KYB' ların L Kutusu deney Sırasında Tıkanma Oluşması.....	33
Şekil 3.3. KYB ve KYLB' ların Basınç Dayanımı-Zaman İlişkisi.....	34
Şekil 3.4. KYB ve KYLB' ların Eğilme Dayanımı-Zaman İlişkisi	35
Şekil 3.5. KYB ve KYLB' ların Kapilarite Katsayıları.....	38

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. PC ve SD İçin Kimyasal Bileşim ve Fiziksel Özellikler.....	13
Tablo 2.2. Kullanılan Liflerin Teknik Özellikleri	14
Tablo 2.3. 1 m ³ Beton Karışım Miktarı (kg/m ³).....	15
Tablo 3.1. KYB ve KYBL' ların Taze Beton Özellikleri.....	26
Tablo 3.2. 7, 28 ve 91 Günlük KYB ve KYBL' lar için Ultrasonik Hız Küp Basınç Dayanımları	36

SİMGELER LİSTESİ

PA	: Geçme yeteneği
H ₁	: L kutusunun hemen kapağının arkasındaki beton derinlik (mm)
H ₂	: L kutusunun uç kısmındaki beton yükseklik (mm)
f _c	: Basınç dayanımı (MPa)
F	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)
A _c	: Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm ²)
f _{net}	: Net eğilme dayanımı (MPa)
P	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)
L	: Mesnetler arası uzaklık (mm)
B	: Numune kesitinin genişliği (mm)
D	: Numune kesitinin yüksekliği (mm)
V	: Ultrasonik hız (Km/Sn)
L	: Geçiş uzunluğu (mm)
U	: Geçiş zamanı (μsn)
k	: Kapilarite katsayısı (cm/sn ^{0.5})
A	: Su ile temas eden alan (cm ²)
t	: Geçen zaman (s)
Q	: Emilen su miktarı (cm ³)

KISALTMALAR LİSTESİ

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
KYLB	: Kendiliğinden Yerleşen Lifli Beton
PL	: Polipropilen Lif
ÇL	: Çelik Lif
ACI	: American Concrete Institute
BIBM	: Bureau International Du Beton Manufacture
ERMCO	: Educational Resources of Monterey County
EFCA	: The European Federation of Engineering Consultancy Associations
EFNARC	: European Federation of National Trade Associations
PÇ	: Portland Çimentosu
SD	: Silis Dumanı
SA	: Süper Akışkanlaştırıcı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TS EN	: Türk Standartları Europeane Norm
PUNDİT	: Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester

1.GİRİŞ

Beton dünyada en çok tüketilen malzemelerden birisidir. Gün geçtikçe beton üzerinde yapılan araştırmalar artmakta ve işlenebilirliği, dayanımı ve dayanıklılığı daha yüksek olan beton türleri üretilmeye çalışılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) da bu çalışmalar sonucu oluşturulan bir beton türüdür. KYB yüksek performanslı beton sınıfına girmektedir. İşlenebilirlik özellikleri, dayanım ve dayanıklılık özellikleri normal betona göre daha yüksektir. Bu betona liflerin eklenmesi ile meydana gelen kendiliğinden yerleşen lifli betonda (KYLb) lifler, kendiliğinden yerleşen betonun birçok özelliğine etki etmektedir.

1.1. KYB ve KYLB Hakkında Genel Bilgiler

1.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB)

Betonda kimyasal katkıları kullanılmaya başlanmadan önce, betonun işlenebilirliğini arttırmak için beton karışımında yüksek su/çimento oranı kullanılmıştır. Bu durum, betonun kalitesini düşürmüştür. 1970'li yılların başında, düşük su/çimento oranında, betonun işlenebilirliğini arttıran, akışkanlaştırıcı veya süper akışkanlaştırıcıları kullanılmaya başlanmıştır [1,2].

KYB' ler ilk kez 1988 yılında Japonya'da kalıcı betonarme yapıları yapmak amacıyla geliştirilmiştir. KYB üzerine yazılan ilk bildiri 1989'da Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında sunulmuştur. Aynı bildirinin 1992'de İstanbul'daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansında sunulması KYB kavramının dünyaya yayılmasını hızlandırmıştır. 1994'de Bangkok'daki ACI çalıştayından sonra KYB, dünyadaki araştırmacıların ve mühendislerin ilgi odağı haline gelmiştir [3].

1994 yılında Bangkok'da yapılan ACI çalıştayından sonra, birçok araştırmacı KYB üzerinde çalışmaya başlamıştır [3,4]. 1990 yılında İsveç karayolu yapılarında KYB kullanılması Avrupa'daki ilk örnekleridir. 1997 yılından sonra Avrupa Birliği de KYB kullanımını arttırmayı hedefleyen çalışmalar başlatmıştır. 2005 yılında, Uluslararası Prefabrike Beton üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU),

Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) ve Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) birleşerek ortak bir şartname hazırlamışlardır [5]. KYB ile ilgili yapılmış araştırmalar, sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır [4].

KYB kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç ve dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliğini sağlarken, ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmaksızın kohezyonu koruyabilen, yüksek akabilme ve geçebilme özelliklerine sahip özel bir yüksek performanslı beton türüdür [6].

Yeni nesil süper katkıların yardımı ile üretilen KYB, ayrışmayı engellemekte, düşük su/bağlayıcı değeri sayesinde de su geçirimsizliği azaltarak dayanıklılığı arttırmaktadır [6].

KYB kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve deforme olma özelliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon hızı) kavramlarını içermektedir. Yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile söz konusu özellik değerlendirilebilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge olmalıdır [7].

Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin azaltılması faydalıdır. Ancak bu yeterli değildir; çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Yüksek akışkanlıkla birlikte ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB' nin engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması açısından önemlidir [7].

Uygun doldurma yeteneği için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır [7]:

- Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin artırılması:
 - Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımına,
 - Dengelenmiş su/bağlayıcı oranına bağlıdır.
- Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması:
 - Düşük kaba agrega hacmine (yüksek çimento hamuru fazı içeriği),
 - Kullanılan agrega ve çimentoya göre optimum gradasyon içeriğine bağlıdır.

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerin homojen olmaksızın dağılarak yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. Normal akışta ayrışma göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda ayrışmaya uğrayabilir [7].

KYB gerek durağan, gerekse akış halinde aşağıdaki tip ayrışmaları göstermemelidir [7]:

- Terleme,
- Çimento hamuru fazı ve agrega ayrışması,
- Blokaja (kilitlenme) neden olan kaba agrega ayrışması,
- Hava boşluğu dağılımında düzensizlik.

Uygun ayrışma direnci için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır [7]:

- Katı maddelerin ayrılmasını azaltmak,
 - Sınırlı agrega içeriği
 - Azaltılmış en büyük agrega tane çapı
 - Düşük su/bağlayıcı oranı
 - Viskozite arttırıcı
- Serbest terlemenin minimize edilmesi,
 - Düşük su içeriği
 - Düşük su/bağlayıcı oranı
 - Yüksek yüzey alana sahip bağlayıcılar
 - Viskozite arttırıcı

KYB yeterli akıcılığa ve aynı zamanda ayrılmaya karşı dirence sahip olduğunda etkili bir işlev görür. Ancak dar geçişler ve çok sık donatı söz konusu olduğunda, ekstra bir ihtiyaç daha doğmaktadır ki, bu da kaba agregaların blokajlaşmamasıdır [7].

Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan bir KYB' de bile aşağıdaki durumlarda blokaj riski söz konusudur [7]:

- Agreganın en büyük dane çapı çok büyükse,
- İri agregaların içeriği çok yüksekse.

Uygun geçiş yeteneği için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

- Agreganın ayrışmasını azaltmak için kohezyonu arttırmak
 - Düşük su/bağlayıcı oranı,
 - Viskozite arttırıcı ile.
- Uygun iri agrega kullanımı
 - Düşük kaba agrega hacmi,
 - Düşük en büyük dane çaplı agrega ile.

KYB' nin yüksek bir akıcılığa sahip olması gerekmektedir. Yüksek akıcılık sağlanırken, ayrışma ve su kusma (terleme) olayları gerçekleşmemelidir. Yüksek akıcılık süper akışkanlaştırıcılar ile sağlanır. Betonun kararlılığını bozmamak önemlidir. Bunun için, ince

malzeme miktarını arttırmak ve/veya viskozite arttırıcı maddeler kullanmak gerekir. KYB' ler düşük su/çimento oranında, yüksek dayanıma ve üstün kalıcılığa sahip betonlar olduğu için, yüksek dayanımlı betonlar sınıfına girerler [8,9]. KYB' nin iki temel özelliği vardır. Bunlar, kalıpları doldurma yeteneği ve yüksek ayrışma direncidir. Kalıpları doldurma yeteneği, süper akışkanlaştırıcılar ile sağlanır. Yüksek ayrışma direnci ise, ince malzeme miktarının yüksek tutulması ve viskozite düzenleyici bir katkıyla sağlanabilir [9]. Böylece daha dolu ve homojen bir beton elde edilebilmektedir.

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan kimyasal katkılar, öncelikle süperakışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkılar olmak üzere birkaç değişik katkının bileşiminden oluşmaktadır. Süperakışkanlaştırıcı katkılar, yüksek akıcılık sağlanması ve su/bağlayıcı oranının düşürülmesini sağlamak amacı ile kullanılır. Viskozite düzenleyici katkılar ise terleme ve çökme gibi ayrışmaları azaltarak betonun homojenliğinin sağlanması ve kayma eşiğinin düşürülmesi için kullanılır [10]. Uzun polimer zincirlerine sahip olan yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar, ince taneciklerin yüzeyinde birikerek (adsorbe olarak), elektriksel itki ve sterik etki yolu ile çimento tanelerinin dağıtılmasını sağlar [11,12]. Geleneksel süperakışkanlaştırıcılar, sülfone naftalin formaldehit veya sülfone melamin formaldehit esaslı iken, yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar ana zincirinde karboksilik grubunun bulunduğu ve polietilen glikol grubunun yan zincir olarak bağlandığı kopolimerlerdir [13]. Ayrışmaya karşı yüksek direnç, yerleşebilme ve sıkışabilme özellikleri, viskozite düzenleyici katkı veya ince malzeme ve bazen her ikisinin birlikte kullanımı ile sağlanır [14].

KYB'nin yerleştirilmesi için vibrasyon uygulanmamaktadır. Bu nedenle, beton dökümü sırasında çalışanların etkisinde kaldıkları gürültü ve titreşim miktarı düşmektedir. Prefabrik imalat yapan tesislerde üretimi kolaylaştırır. Yoğun ve sık donatılar arasında kolaylıkla akar ve boşluksuz olarak yerleşir. Betonun demir donatıyı çok iyi sarması ve boşluksuz bir yapı oluşturması dayanıklılığını artırır. Özellikle, depremde zarar görmüş binaların güçlendirilmesinde, tek bir noktadan döküm yapıldığında kalıp içerisinde, kendiliğinden yerleşmesi ve yükselmesi güçlendirme projeleri için çok iyi bir çözüm yöntemidir. Yerleştirme sırasında işçilikten kaynaklanan uygulama hatalarını ortadan kaldırır. Klasik betonlara göre daha geçirimsiz olduğundan, dayanıklılık açısından yapıların çok daha avantajlı bir duruma gelmesini sağlamaktadır. Betona şantiyede islenebilirliği arttırmak için su katılması bir risktir ve KYB bu riskin oluşmasını engeller. Ayrışmayı önler. Hava kabarcıksız ve düzgün yüzeyli homojen beton elde edilir. Zamandan ve paradan büyük

tasarruf ve iyi bir çalışma ortamı sağlar. Bir yapıda, döşeme ve düşey elemanların üretimi geleneksel betonla üretime göre, KYB ile 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleşmektedir [15].

KYB' nin bileşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı, su-bağlayıcı oranı, en büyük agrega boyutu, kum, toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir. KYB' nin bileşenler açısından normal betondan en büyük farkı, 100 µ altındaki ince malzemedir. Bu ince malzemeler genel olarak betonda kullanımı kanıtlanmış olan silis dumanı, uçucu kül, taş tozu, tuğla tozu ve mermer tozu gibi atık malzemelerdir [16,17]. Bunun yanında, KYB' deki iri agrega miktarı da normal betondakine göre daha az olup, iri agreganın yerini genellikle ince agregalar almaktadır [18].

KYB tasarım yöntemleri genellikle hamur ve harç üzerinde ön çalışma gerektirmektedir. Bunun en önemli nedeni KYB' nin hamur fazının geleneksel betona göre fazla olması ve betonun karakteristik özelliklerinin oluşmasında önemli rol oynamasıdır. KYB' de en çok kullanılan karışım yöntemi Okamura (2003) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre KYB için karışım tasarımı aşağıdaki adımlarla daha homojen bir şekilde yapılabilir:

- a) KYB' de istenen hava miktarının seçilmesi,
- b) İri agrega hacminin belirlenmesi,
- c) Kum içeriğinin belirlenmesi,
- d) Pasta bileşenlerinin belirlenmesi,
- e) Harçtaki optimum su-toz oranı ve kimyasal katkı miktarının belirlenmesi,
- f) Standart test yöntemleriyle beton özelliklerinin belirlenmesi.

KYB' de hava miktarının % 2 oranında olması uygun görülmeğe de donma çözülme etkisi altında olan betonlar için hava miktarı daha yüksek oranlarda seçilebilir.

Agrega hacmi birim hacim ağırlık yöntemiyle belirlenir. Genellikle iri agrega (> 4 mm) hacmi toplam agrega hacminin % 50 ile % 60 oranları arasında seçilmelidir. İri agrega hacmi sınır değeri olan % 60'ın üzerine çıkarsa agregalar arası iç sürtünme hızla artar ve donatılar arasından geçerken KYB' de bloklaşma riski oluşur. İri agrega hacminin % 50'den daha az olması durumunda ise KYB' nin su gereksinimi daha fazla olacaktır. Ayrıca betonun bağlayıcı miktarı artacağından rötresi de artacaktır. Genellikle 0.125 mm ile 4 mm arası parçacık boyutu aralığındaki agregaya kum veya ince agrega denilmektedir. KYB harcı içerisindeki kum içeriği % 40 ile %50 arasında olmalıdır. Kum miktarı toplam

agrega hacminin % 50'sinden fazla olmalıdır. Aksi takdirde taze KYB' nin su gereksinimi ve bağlayıcı içeriği artacaktır [18].

1.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Lifli Beton (KYL B)

Beton en sık kullanılan kompozit bir yapı malzemesidir. Rastgele şekilde dağılmış agregalardan oluşan, oldukça heterojen yapıda, gözenekli bir malzemedir. Söz konusu bu heterojenlik dağılım iç şekil değiştirmelere neden olur. Bu nedenle böyle bir malzemenin kırılma süresi karmaşık ve süresiz olur. Agreg a yüzeyi ile çimento harcı arasındaki ara yüzey en zayıf ve en kritik bağı teşkil eder. Betonun iç yüzeyinde bulunan kısmi mikro çatlaklar betonun göçmesine sebep olacak potansiyel çatlak uçlarını belirler [19].

Betonun zayıf olan mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile betona bazı malzemeler ilave edilebilmektedir. Lifler de bu malzemelerden birisidir. Lifli betonların üretilmesindeki ana amaç malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının vb. arttırılmasına yöneliktir. Belirli özellikleri olan liflerle homojen olarak takviye edilmiş lifli beton, ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir. Liflerin beton içerisinde gelişigüzel dağılmasına rağmen lifli beton yük altında homojen bir davranış gösterir [19]. Betonda lif malzemesi olarak kullanılan cam, plastik, polipropilen ve çelik gibi malzemelerin ilavesiyle yeni yapılan lif takviyeli bir betonda mukavemet artışı sağlanmaktadır [20].

Agrega, çimento ve su gibi temel bileşenler ile üretilmiş kompozit bir malzeme olan betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda liflerin katılmasıyla elde edilen betona *lifli beton* adı verilir. Yani beton hazırlanması esnasında beton karışımı içerisine değişik ilave malzemeler katılması ile elde edilen betonlardır. Lifli beton, dağılmış, gelişigüzel yönlenmiş lif ihtiva eden betondur [20,21].

Betonu, takviye amacı ile kullanılan, değişik şekil ve büyüklükte olan lifler genel olarak cam, çelik, polipropilen ve organik polimerlerden üretilmektedir. ACI 544'e göre lifin tanımı, lifin boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesi ile elde edilen "boy/çap" (aspectratio) oranı olarak kabul edilmektedir. Bu orana kısaca "Narinlik Oranı" da denilmektedir. Eş değer lif çapı ise: alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Ancak bazı liflerin uzunluklarının ve çaplarının farklı değerler alması ve cam liflerde

olduğu gibi demet şeklinde olmaları nedeniyle, lifleri sadece boy/çap oranına göre sınıflandırmak mümkün olmamaktadır [19].

Kullanılan lifler sayesinde, betonda oluşacak çatlamları önlemek, sünekliği ve yoğunluğu arttırmak mümkündür. Lifli betonlar köprüler, beton yollar, hava alanları, endüstriyel döşemeler ve kayalarda şev stabilizasyonu gibi işlerde kullanım alanına sahiptir [21].

Lifli uygulamanın etkinliği şu hususlara bağlıdır [21];

- Kullanılan liflerin miktarına,
- Liflerin şekline,
- Liflerin, beton içerisinde yönlendirilmesine ve dağılımına,
- Liflerin boy-çap oranlarına ve
- Lifli betonun sıkıştırılması yöntemine.

Gevrek bir malzeme olan betona karışım sırasında lif ilave edilmesiyle daha sünek bir yapı oluşturularak betonun bazı mekanik özelliklerinde iyileşme beklenir. Lifler; tipi, boyutu, narinlik oranı (boy/çap), geometrisi, miktarı, çekme dayanımı, yüzey özellikleri ve lif-matris aderansı gibi birçok parametreye bağlı olarak betonda dayanımı, çatlak kontrolünü, şekil değiştirme kapasitesini, darbe dayanımını ve durabiliteyi artırır. Sentetik lif çeşidi olan polipropilen lifler ise özellikle rötre çatlaklarının önlenip durabilitenin artırılması amacıyla kullanılır. Betonun yangına karşı dayanımını da arttırdığı bilinmektedir. Betonun mekanik özelliklerini iyileştirip yüksek deformasyon değerlerinde betonun taşıma kapasitesini koruyarak enerji yutma kapasitesini arttıran çelik liflerden beklenen performans ise lif boyuna, narinlik oranına, lif geometrisine, dayanımına ve lif-matris aderansına büyük ölçüde bağlıdır [22]. KYB' lerde su/bağlayıcı oranının düşük olması, terlemeyi önleyici katkı kullanılması ve uçucu kül veya silis dumanı kullanılarak ince malzeme miktarının artırılması ve böylece terlemenin neredeyse tamamen yok olması, betonu plastik rötreye karşı hassas bir duruma getirmektedir. Bu nedenle oluşabilecek plastik rötre çatlaklarını önlemek amacıyla çok az miktarda da olsa polipropilen lif kullanılması, çatlakları önlemede ve betonun durabilitesinin artması yönünde önemli yararlar sağlamaktadır [23].

Mekanik olarak yarı gevrek bir karaktere sahip olan betonun mekanik ve bazı diğer özelliklerini geliştirebilmek amacıyla çeşitli tipte lifler kullanılmaktadır. Betona çelik lif ilavesi betonun çekme dayanımı, yorulma, darbe etkilerine karşı dayanımını geliştirdiği gibi, süneklik ve tokluk gibi mühendislik özelliklerini de geliştirir [24]. Ancak betona lif

katkısının taze betonun işlenebilirliği ve akıcılığını olumsuz etkilediği bilinmektedir [24,25]. Kullanılan lifin miktarı, boyu, görünüm oranı ve şekli lifli taze betonun işlenebilirliğinin kontrolünde önemli rol oynar [26,27]. Lifli betonların işlenebilirliği lifsiz betonlara göre daha azdır ve dökümleri lifsiz betonlara göre daha iyi planlama ve işçilik gerektirir. Öte yandan, sertleşmiş lifli betonların davranışı, işlenebilirliğine ve dolayısıyla boşluksuz bir şekilde kalıba yerleştirilebilme başarısına büyük ölçüde bağlıdır. Lifli betonlar etkili sıkıştırma ve homojen lif dağılımının sağlanması, hapsolmuş hava boşlukları riskinin azaltılması için, yerleştirmeyi kolaylaştıracak ve vibrasyon ihtiyacını azaltacak şekilde yeterince akıcı olarak dizayn edilmelidir [24]. Bu açıdan bakıldığında, kalıba kolayca yerleşebilen ve etkili sıkıştırmanın herhangi bir ek vibrasyon enerjisine gerek duyulmadan başarılabildiği kendiliğinden yerleşen betonların kullanımı, daha başarılı lifli kompozitlerin oluşturulması açısından yararlı olabilir. Lifli betonların lifsiz betonlara göre işlenebilirliklerinin düşüklüğü ve daha iyi işçilik gereksinimi, maliyetleri üzerinde dikkate alınmaya değer bir artışa neden olmaktadır. Kendiliğinden yerleşebilen lifli betonların kullanımı işçilikten sağlanacak kazanç ve döküm hızında yol açacağı artış ile toplam maliyette azalmaya neden olabilir. Fakat lifli KYB’ de tıpkı lifsiz KYB gibi sadece kendi ağırlığı altında, başka hiçbir sıkıştırma enerjisine ihtiyaç duymadan kalıba yerleşip sıkışabilmeli, dar kesitlerden geçebilmeli ve herhangi bir bloklaşma ve segregasyona uğramadan kesitte homojen lif dağılımını sağlayabilmelidir. Kendiliğinden yerleşebilmenin yeterince sağlanamaması lifli kompozitte dayanım ve dayanıklılık açısından çok olumsuz durumlara yol açabilir. Kullanılan lifin tipi, boyu, narinliği (lif boyunun lif çapına oranı) ve miktarının yanında KYB karışımının dizaynı da lifli KYB’ nin işlenebilirliği için anahtar parametrelerdir. Lifler aynı hacimdeki agregalara göre daha uzun şekle ve daha yüksek yüzey alanına sahiptirler [25]. Bundan dolayı akış sırasında akışa karşı bir içsel sürtünme ile karşı koyarlar. Genel olarak lif boyu ve en büyük agrega boyutu ile agrega hacmindeki azalma akış sırasında içsel sürtünmeyi azaltır ve işlenebilirliği artırır [24]. Ayrıca lifler akış sırasında engeller önünde takılarak akışın bloklaşmasına neden olabilirler. Genel olarak lif narinliği ve miktarı arttıkça lifli kompozitin mekanik özellikleri iyileşmektedir. Lif narinliği ve miktarının artışı ile kırılma enerjisi de artmaktadır [28]. Öte yandan, aynı lif miktarında, düşük narinliğe sahip karışımlarda daha iyi işlenebilirlik elde edilmektedir [25]. Bundan dolayı lif miktarı ve narinliğinin betonun hem taze hal hem de sertleşmiş haldeki mekanik performanslarında önemli bir parametre olmaktadır. Her iki parametrenin de arttırılması taze halde işlenebilir bir karışım elde edilmesini oldukça zorlaştıracaktır.

Değişik özelliklerdeki lifli serilerin kolay karşılaştırılabilmesi açısından, literatürde hem lif narinliğini hem de lif miktarını içerisinde barındıran lif faktörü parametresi kullanılmaktadır [29].

Lifli KYB' nin engeller karşısında bloklanmadan akışa devam edebilmesi için geçiş yeteneğinin geliştirilmesi gereklidir. Hamur hacminin artırılması, lifli KYB' nin geçiş yeteneğini geliştirir. Fakat hamur fazının viskozitesi de yeni nesil hiper akışkanlaştırıcıların kullanımı ile kontrol altına alınmalı, genel olarak parçacık boyutu 0.125 mm'den küçük, viskozite arttırıcı toz malzemeler kullanılarak viskozitede aşırı kayıp olmadan, betonun işlenebilirliği arttırılmalıdır [29].

Sertbaş [30] KYB' lerde polipropilen lif kullanılması ile ilgili yaptığı deneysel çalışmaların sonucunda betonda polipropilen lif kullanılmasıyla işlenebilirliğin olumsuz etkilendiğini belirlemiş, bu nedenle kullanılan katkı miktarının lif miktarına bağlı olarak arttırılmasıyla bütün numunelerde 60-70 cm arası çökme yayılma değeri elde etmiştir. L-kutusu ve U-kutusu deneylerinde ise betonda çok fazla polipropilen lif kullanılması durumunda işlenebilirliğin bozulduğu ve kendiliğinden yerleşme özelliği göstermediği görülmüştür. Sertleşmiş beton deneylerinde ise sabit su/çimento oranına sahip bütün numunelerde polipropilen lif kullanılmasının basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ancak uygun oranda polipropilen lifin eğilme mukavemetini bir miktar arttırarak betona daha sünek bir yapı kazandırdığı görülmüştür.

Berbergil [31] KYB' lerde çelik lif ile Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda KYB' de artan çelik lif oranının taze beton deneylerinden V hunisinde akış süresini arttırırken, 60 kg/m³ çelik lif içeren bir betonun huniyi tıkamasıyla deneyden sonuç alınamamıştır. Bunun yanında L kutusu ve U kutusu deneylerinde lifsiz betonların verdiği sonuçlar sınır değerler arasında kalırken, çelik lif içeren betonların deney aparatlarındaki donatılı geçiş bölgelerini tıkaması sebebiyle bu betonlardan sonuç alınamamıştır. Sertleşmiş beton deneylerinde ise betonda artan çelik lif oranının betonun basınç dayanımı ve elastisite modülünü önemli derecede etkilemediği görülürken, eğilme dayanımını önemli derecede arttırdığı ve ultrases hızlarında bir düşüş eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Lifsiz betona 60 kg/m³ çelik lif katılmasıyla betonun eğilme dayanımında %130'lara varan artışlar olduğu bulunmuştur.

Subaşı ve diğ. [32], KYB' de çelik ve polipropilen lif kullanımı ile ilgili yaptıkları çalışmada KYB karışımı içerisinde çelik lif ve polipropilen lif kullanımının beton işlenebilirliğine ve basınç dayanımına etkisini araştırmışlar, sonuç olarak karışıma ilave edilen çelik lif ve polipropilen lifin V-hunisi akma süresini arttırdığı, yayılma çapında

azalmaya neden olduğu diğer bir ifadeyle beton işlenebilirliğini azalttığı görülmüştür. Basınç dayanımlarının ise polipropilen ve çelik lif katkılı betonlarda arttığı belirlenmiştir.

Çakıroğlu ve diğ. [33] betona değişik geometrik formlarda çelik lif eklenmesi ile ilgili yaptıkları çalışmada çelik liflerin beton dayanımına olan etkisi ve uygulanabilirliği araştırılmış ve betona ilave edilen lif içeriğinin belirli oranlarda kullanıldığı takdirde basınç dayanımına olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir.

Baradan ve diğ. [34] lif katkılı KYB' lerin mekanik özellikleri ile ilgili yaptıkları çalışmada lif katkısının işlenebilirlik ve kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerine etkisi incelenmiş ve lif tipi, miktarı ve KYB' nin agrega gradasyonunun çok önemli tasarım parametreleri olduğu belirlenmiştir. Betona çelik lif katkısının betonun süneklik özelliğini geliştirdiği, yük altında çatlak gelişim mekanizmasını olumlu yönde etkilediği, kırılma enerjisinde artışlara neden olduğu ortaya konmuştur. Fakat, betonda lif kullanımının betonun işlenebilirliğine yaptığı olumsuz etkiler de vardır. Özellikle belirli lif tiplerinde ve lif dozajlarında betonun işlenebilirliğinde ve yerine yerleştirilmesinde bazı olumsuzluklar ile karşılaşmaktadır. Özellikle KYB' ler söz konusu olduğunda, KYB' ye liflerin eklenmesiyle işlenebilirlikte meydana gelen büyük değişiklikler göz önüne alınmalı, lif donatılı KYB' nin işlenebilirliğinin de göz önüne alındığı tasarım parametreleri üzerinde detaylı inceleme yapılmalıdır.

Özcan ve diğ. [35] "Betonarme Kiriş Elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi" adı altında yaptıkları çalışmada çelik lif katkılı betonarme kirişlerin taşıma gücü, enerji yutma kapasiteleri ve tokluk indeksi gibi mekanik özellikler deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen deneysel verilere göre incelenen betonarme kirişlerde çelik lif katkısının taşıma gücünü %18'e kadar artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Çelik lif katkısının denenen betonarme kiriş elemanlarda sünekliliği artırdığı görülmüştür. Çalışma ile çelik lif katkısının betonarme kiriş elemanlarda süneklik değerini artırması yanında, taşıma gücünü de verilen çelik lif oranı için yaklaşık %20 kadar artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Yardımcı ve Baradan [29] "Çelik Lif Donatılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özellikleri" adı altında yaptıkları çalışmada çelik lif donatılı KYB' lerde hamur hacmi – reoloji ilişkisi incelenmiş, KYB' de lif kullanımının betonun akıcılık özelliklerini olumsuz etkilediği, özellikle donatılar arasından geçiş yeteneğinin lif varlığından en fazla etkilenen parametre olduğu gözlenmiştir. Lif katkısı kendiliğinden yerleşen betonlarda karışımın özellikle geçiş yeteneğini olumsuz etkilemektedir. Hamur hacminin arttırılması

ile birlikte lifli taze betonun reolojik parametrelerinin lif katkısından daha az etkilenebileceği ve uçucu külün reolojik açıdan olumlu katkısı nedeniyle yüksek oranlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Subaşı ve Emiroğlu [36], yaptıkları deneysel çalışmada farklı oranlarda çelik ve polipropilen lif kullanımının KYB' lerde işlenebilirlik parametreleri ve basınç dayanımları üzerine olan etkilerini araştırmış ve KYB karışımları içerisinde çelik lif ve polipropilen lif kullanımı ile taze beton işlenebilirlik parametrelerinin azaldığı, basınç dayanımlarının ise ters orantılı olarak arttığı, lif katkılı KYB' lerde akma süresi ve yayılma çapı ile basınç dayanımı değerleri arasında yüksek oranda ilişkinin bulunduğu görülmüştür

1.2. Yapılan Bu Tez Çalışmasının Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) ve karışıma eklenen polipropilen lif, çelik lif ve polipropilen lif + çelik lif ile oluşan Kendiliğinden Yerleşen Lifli Beton (KYLb) hakkında araştırma yapılmıştır. Lifin KYB üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Karışım oranları belirlenirken yayılma çaplarının 600-800 mm arasında kalarak tüm karışımların KYB statüsüne girebilmeleri sağlanmıştır. Ayrıca su/bağlayıcı oranı, silis dumanı miktarı ve 7-15 mm agrega miktarı sabit tutularak aynen alınmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0.43 ve bağlayıcı miktarı 500 kg/m³ olarak alınmıştır. 0-7 mm agrega, süper akışkanlaştırıcı (SA) karışımlarda mümkün olduğunca birbirine yakın miktarda alınarak Polipropilen ve çelik lif miktarlarının KYB üzerindeki etkileri araştırılmaya çalışılmıştır. Polipropilen lif ve çelik lif, değişik miktarlarda kullanılarak liflerin KYB üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Lifsiz KYB ve değişik tür ve oranda lif miktarları ile KYLB karışımları hazırlanmıştır.

Hazırlanan dokuz adet taze beton karışımı ile çökme hunisinde çökme yayılma deneyleri yapılmış, taze betonun yayılma çapı ve T₅₀₀ süreleri; V hunisi deneyi yapılmış ve taze betonun tamamının V hunisinden boşaltma kabına akma süresi ölçülmüş ve L kutusu deneyinden taze betonun L kutusundaki H₁ ve H₂ yükseklikleri belirlenerek H₂/H₁ geçebilme oranları belirlenmiştir.

Her bir karışım için hazırlanan üçer adet 150 mm boyutundaki küp numuneler üzerinde ilk önce ultrason (ses hızı) deneyi yapılmıştır. Daha sonra bu küp numuneler pres makinesinde basınç deneyine tabi tutulmuş ve basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Her bir karışımdan hazırlanan üçer adet 100×100×350 mm boyutundaki kiriş numuneler

zerinde üç noktalı eğilme deneyi gerçekleştirilmiş ve eğilme çekme mukavemeti değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca 100 mm' lik 28 günlük küp numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.1.1. Çimento ve Silis Dumanı

Bu çalışmada, Oyak Çimento Grubuna ait olan Elazığ Çimento Fabrikası'ndan temin edilen N tipi Portland Çimentosu (PC) (CEM I 42.5) kullanılmıştır. Ayrıca, Kendiliğinden Yerleşen Beton' daki (KYB) ince toz malzeme (<0.125 mm) miktarına da katkı sağlamak amacıyla Eti Elektro Metalürji A.Ş.'den temin edilen Silis Dumanı (SD) karışıma mineral katkı olarak katılmıştır. Silis Dumanı karışımlara bağlayıcı miktarının % 10'u miktarında katılmıştır. Kullanılan PC ve SD' na ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler ise Tablo 2.1.' de verilmiştir.

Tablo 2.1. PC ve SD için kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler

Muhteva	PC	SD (%)
SiO ₂ (%)	20.2	91
Al ₂ O ₃ (%)	5.8	0.58
Fe ₂ O ₃ (%)	3.23	0.24
CaO (%)	64.1	0.71
MgO (%)	-	0.33
SO ₃ (%)	2.66	-
Klorür (Cl ⁻) (%)	0.006	-
Kızdırma kaybı (%)	2.58	1.84
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.1	2.2
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	3484	96.5%<45µm

2.1.2. Agregalar

Agregalar Elazığ Murat nehrinden temin edilmiştir. Agregalar olarak 0-7, 7-15 mm çaplı agregalar kullanılmıştır. Karışım hesaplarında agregaların doymuş kuru yüzey özgül ağırlıkları sırasıyla 2.63 ve 2.64 gr/cm³ olarak alınmıştır. Agregaların toz miktarları 0-7 ve

7–15 sınıfları için sırasıyla %2.48 ve %0.21 olarak, su emmeleri ise sırasıyla %1.57 ve %1.0 olarak hesaplanmıştır.

2.1.3. Su ve Süper Akışkanlaştırıcı

Yapılan bu deneysel çalışmada su olarak Elazığ şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan karışım suyunun kimyasal bileşimi açısından ve pH değeri açısından kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal katkı olarak Sika firmasından temin edilen 1.06 gr/cm³ yoğunluğa sahip modifiye polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı (SA) olan Viscocrete Hi-Tech 36 kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı beton karışımlarına toplam bağlayıcı miktarının yaklaşık %1,78' i kadar katılmıştır.

2.1.4. Çelik ve Polipropilen Lif

Yapılan deneysel çalışmalarda Beksa Çelik Tel ve Kord San. ve Tic. Anonim Şirketinden temin edilen Dramix RC 65/60 BN 0.9 mm çapında ve 60 mm boyundaki çelik lif ile Duomix polipropilen lif kullanılmıştır. Liflere ait teknik özellikler aşağıda Tablo 2.2.' de verilmiştir.

Tablo 2.2. Kullanılan liflerin teknik özellikleri

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10 ³ × MPa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Kütle (g/cm ³)
Çelik	276 - 2760	200	0.5 - 35	7.8
Polipropilen	552 - 759	3.5	25	0.90

2.2. Deney Metodu

Deneysel çalışmaya EFNARC (2005) [37] standardı esas alınarak başlanılmıştır. İlk olarak EFNARC standardında verilen çökme-yayılma deneyinden faydalanarak karışım oranları belirlenmiştir. Daha sonra karışımların diğer taze beton deneyleri gerçekleştirilmiş ve son olarak her bir karşımdan üçer numune hazırlanarak sertleşmiş beton deneylerine geçilmiştir.

2.2.1. Karışım Oranları

Su/bağlayıcı oranı 0,43 olarak alınmıştır. Bağlayıcı malzeme miktarı 500 kg/m³ alınmıştır. Su/bağlayıcı oranı ile bağlayıcı malzeme miktarı tüm karışımlarda sabit tutulmuştur. Yani karışımlarda su, çimento ve silis dumanı miktarı daima eşit alınmıştır. Hazırlanan 1 m³ karışıma girecek olan malzemelere ait bilgiler Tablo 2.3.' de verilmiştir.

Tablo 2.3. 1 m³ beton karışım miktarı (kg/m³)

Karışım No	Kontrol	PL0.45	PL0.90	PL1.80	ÇL20	ÇL40	ÇL60	PL0.45 +ÇL40	PL0.90 +ÇL20
su/bağlayıcı	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Bağlayıcı malzeme	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Çimento	450	450	450	450	450	450	450	450	450
Silis dumanı	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Agrega büyüklüğü									
0-7 (mm)	1029	1025	1021	1018	1022	1015	1006	1011	1017
7-15 (mm)	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Viscocrete Hi-Tech 36	7.0	8.0	9.0	9.0	7.0	7.0	8.0	8.0	8.0
Polipropilen Lif	-----	0.45	0.90	1.80	-----	-----	-----	0.45	0.90
Çelik Lif	-----	-----	-----	-----	20	40	60	40	20

2.2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Tüm karışımların karıştırma işlemi, karışımda homojenliği sağlamak amacıyla öncelikle etüv kurusu durumda olan çakıl ve kum karışım suyunun %60' ı ile birlikte 2 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra bu işlem çimento, mineral katkı (SD), geriye kalan su ve süper akışkanlaştırıcının birlikte karışıma katılarak, 45 L hacimli mikser yardımıyla toplam 4 dakikada tamamlanmıştır. Taze beton deneyleri karıştırma işleminden hemen sonra yapılmıştır.

Sertleşmiş beton deneyleri için; karıştırma işlemi tamamlanan karışımlar her birinden 9 adet olmak üzere toplam 81 adet 150 mm boyutunda küp kalıplara, toplam 81 adet 100×100×350 mm boyutunda kiriş kalıplara, toplam 27 adet 100 mm boyutunda küp kalıplara herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmaksızın dökülmüştür. Taze beton karışımı bağıl nemini

koruyacak şekilde iki gün kalıpta bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak küre konulmuştur.

2.2.3. Taze Beton Deneyleri

KYB ve KYLB karışım oranları deneme testleri ile birlikte EFNARC esas alınarak tayin edilmiştir. KYB ve KYLB karışımları için çökme-yayılma, T_{500} , L-kutusu ve V-hunisi (Şekil 2.1) işlenebilirlik deneylerine ait değerleri karışımlardaki SA miktarları ayarlanarak elde edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

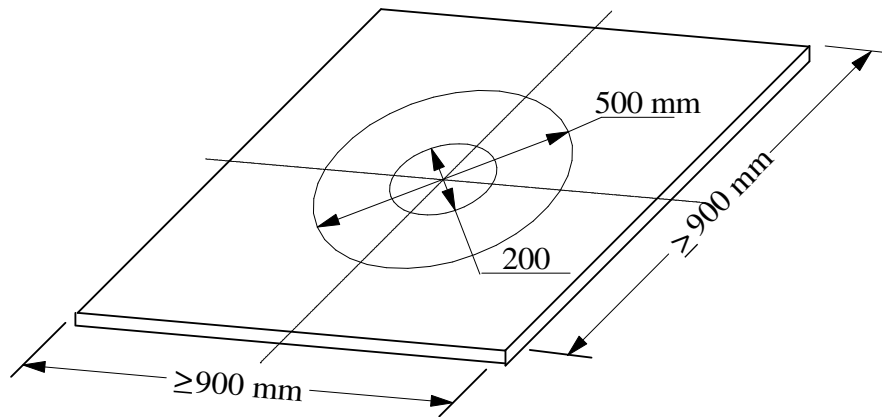
Şekil 2.1. KYB ve KYLB için a) çökme-yayılma ve T_{500} b) L-kutusu c) V-hunisi deneyleri

2.2.3.1. Çökme Yayılma ve T_{500} Zamanı Deneyi

Çökme-yayılma ve T_{500} zamanı, KYB' nin, bir engel olmadığında akma oranını ve akabilirliğini belirleyen bir deneydir. Çökme deneyi TS EN 12350-2 [38]' ye göre yapılır. Sonuç, KYB' nin dolma yeteneğinin bir belirtisidir. T_{500} zamanı da akma hızının ve bu yüzden KYB' nin viskozitesinin bir ölçümüdür.

Taze beton, TS EN 12350-2 [38] çökme deneyindeki gibi bir koniye boşaltılır. Koni yukarı çekildiğinde, koninin yukarı çekilmesinden itibaren betonun 500 mm' lik bir çapa yayılma zamanı ölçülür. Bu zaman T_{500} zamanıdır. Betonun en büyük akma yayılma çapı ve ona dik açıdaki yayılma çapı ölçülür. Bu iki ölçümün aritmetik ortalaması çökme-yayılma değerini vermektedir.

Çökme-yayılma deneyi, üzerinde betonun yerleşebileceği, en az 900 mm×900 mm' lik düzlem bir alana sahip yatay bir plaktan oluşan tabla üzerinde yapılır. Plaka düzgün ve pürüzsüz, emici olmayan, minimum kalınlığı 2 mm olan bir yüzeye sahip olmalıdır. Yüzey çimento hamurundan kolayca etkilenmemelidir ve paslanmaya eğilimli olmamalıdır. Plakanın yapısı çarpılmayı, yamulmayı önleyecek tarzda olmalıdır. Zıt kenarların merkezleri arasına düz bir kenar yerleştirildiğinde herhangi bir noktadaki düzlük sapması 3 mm'yi geçmemelidir. Şekil 2.2' deki gibi tabakanın merkezi bir çaprazlamayla işaretlenmeli ve tabakanın merkezinden 200 mm ve 500 mm çapları çizilmelidir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Çökme-yayılma tablası

Deney modeli TS EN 12350-2'ye uygun olmalıdır. Deney şu şekilde yapılır [38]:

- Koni ve tabla TS EN 12350–2’ deki tanıma göre hazırlanır.
- Kullanılmışsa, koniye ağırlıklı halka yerleştirilir.
- Koni tabla üzerindeki 200 mm’ lik daireyle çakışacak şekilde yerleştirilir ve betonun koni altından sızmasını engelleyecek şekilde koniye bastırılır (veya ağırlıklı halka kullanılır).
- Koni sallanmadan ve şişlenmeden doldurulur; beton, koninin üstünden taşmayacak şekilde düz bir cisimle silinip düzeltilir. Koninin dolu bir şekilde 30 sn’ den fazla olmayan bir süre kalması sağlanır; bu zaman esnasında tabladan taşan beton varsa temizlenir ve tablanın fazla sulu olmadan, nemli olması sağlanır.
- Akan betona müdahale olmadan, bir hareketle düşey olarak koni kaldırılır. T_{500} istenmişse, tabla ile temasın son bulduğu anda süreölçer çalıştırılır ve betonun 500 mm’ ye varması için geçen zaman 0,1 sn hassasiyetle kaydedilir. Tablayı veya betonu sarsmadan yayılan en büyük çap ölçülür ve 10 mm hassasiyetle d_m olarak kaydedilir. Sonra da d_m ’ ye dik doğrultuda yayılma çapı 10 mm hassasiyetle ölçülür ve bu da d_r olarak kaydedilir. Çökme-yayılma değeri $\frac{d_m + d_r}{2}$ den hesaplanır.
- Ayırışma için betonun yayılması kontrol edilir. Çimento harcı kaba agregadan ayrışabilir. Ayırışan kaba agregada merkezi bölgede gözlemlenebilir. Ayırışmanın meydana gelip gelmediği ve bu yüzden deneyin yeterli olup olmadığı rapor edilir.

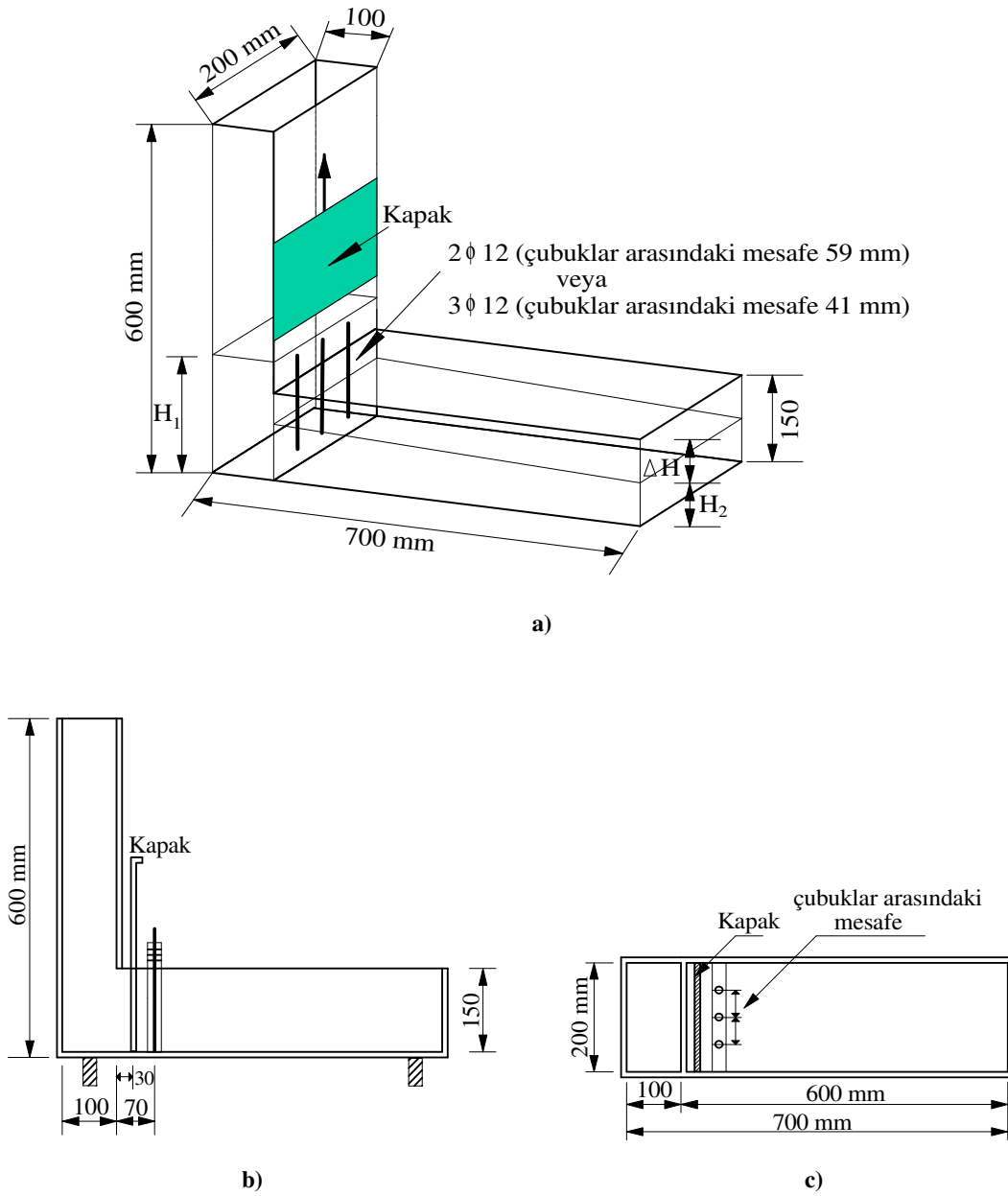
2.2.3.2. L Kutusu Deneyi

L-kutusu deneyi, KYB’ un, donatı çubukları ve diğer engeller arasındaki yüzeyleri içeren dar açıklıklar boyunca ayrışmadan ve topaklanmadan akarak geçme yeteneğini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu deney, iki veya üç donatı çubuğuyla yapılan deneyleri içermektedir. Üç çubukla yapılan deney, daha yoğun donatılamayı tasvir etmektedir.

L-kutusu, Şekil 2.3’ teki genel düzenlemeye ve boyutlara (tolerans ± 1 mm) sahip olan bir deney aparatıdır. L-kutusu, pürüzsüz, düz ve çimento hamurundan kolayca etkilenmeyecek veya pasa maruz kalmayacak bir yüzeye sahip ve rijit yapılı olmalıdır. Temizlenmenin kolay olması için düşey kısmının çıkarılabilir olması gerekir. Kapağın kapatılması ile üst seviyeye kadar tam doldurulduğunda, düşey huninin hacmi (12,6~12,8) litre olmalıdır.

Donatı çubuklarını tutan takım, 2 çubuklu deney için 12 mm çapında 59 mm aralıklı 2 pürüzsüz çubuğa sahip olmalı; 3 çubuklu deney için yine 12 mm çapında ve 41 mm aralıklı 3 pürüzsüz çubuğa sahip olmalıdır. L-kutusundaki çubukların kutu genişliği boyunca düşey ve eşit mesafede kalmalarını sağlamak için bu takım, çıkarılıp yerleştirilebilir olmalıdır.

L-kutusu deney seti için çelik kalıp önerilir, fakat son tabakası kurşunla kaplanmış 12 mm kalınlığında kontrplak da uygun bulunmuştur.



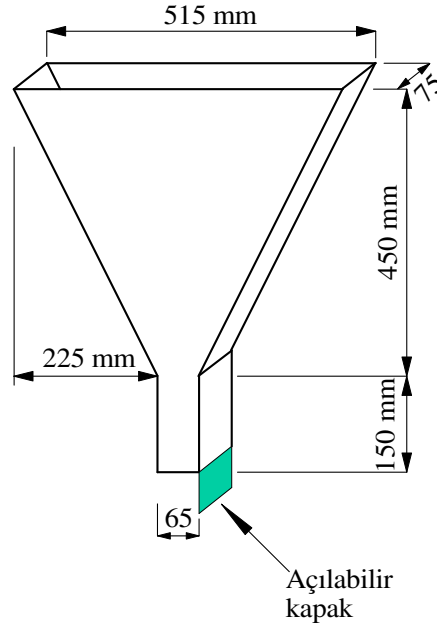
Şekil 2.3 L-kutusu deney seti, a) Perspektif, b) Yandan görünüş, c) Üstten görünüş

Yaklaşık olarak 17 litrelik KYB karışımı hazırlanır. L-kutusu yatay bir düzlemde sabitlenir ve yatay ile düşey kesitler arasındaki kapak kapatılır. Karışım haznedan L-kutusunun doldurma hunisine dökülür ve karışımın (60 ± 10) sn orada kalması sağlanır. Herhangi bir ayrışma olup olmadığı gözlemlenir ve sonra kapak aniden açılarak betonun, kutunun yatay bölümüne akması sağlanır. Hareket bittiğinde; kutunun yatay kesitinin ucundaki betonun üstü ile kutunun yatay kesitinin üstü arasındaki düşey mesafe, baş taraflar ve orta olmak üzere üç noktadan ölçülür. Yatay bölümün yüksekliğindeki fark ile bu üç ölçüm, H_2 (mm) ile ifade edilen beton yüksekliğini hesaplamak için yapılır. Aynı yöntemle H_1 (mm) olarak verilen hemen kapağın arkasındaki beton derinliği de hesaplanır. Geçme yeteneği (PA) denklem 2.1' den hesaplanır.

$$PA = \frac{H_2}{H_1} \quad (2.1)$$

2.2.3.3. V Hunisi Deneyi

V-hunisi deneyi KYB' nin viskozitesini (yapışkanlığını) ve dolma yeteneğini tayin etmek için yapılır. Kullanılan agreganın maksimum dane çapı 20 mm' yi geçmemelidir. Bir V şekilli huni taze betonla doldurulur ve betonun huninin dışına çıkması için geçen zaman ölçülerek V-hunisi akma zamanı olarak kaydedilir. V-hunisi, şekil 2.4' deki boyutlarda (tolerans ± 1 mm), altında aniden açılmasını sağlayan su geçirmez bir kapağa sahip ve huni üstte yatay duracak şekilde teşkil edilir. V-hunisi metalden yapılmalıdır. Yüzeyler pürüzsüz olmalıdır, çimento hamurundan kolayca etkilenmemeli ve paslanmaya karşı korunmalıdır. V-hunisinin altında 12 lt' den az olmayan ve huni hacminden daha büyük bir hacme sahip olan deney numunesini destekleyen bir hazne teşkil edilir.



Şekil 2.4 V-hunisi deney seti

Huni ve alt kapağı temizlenerek, kapağı da kapsayacak şekilde tüm iç yüzey nemlendirilir. Kapak kapatılır ve beton numunesi huninin içine çalkalanmadan, şişlenmeden doldurulur; sonra beton huninin dışına taşmasını diye, bir silme tahtasıyla beton yüzeyi düzeltilir. Kapak açıldığında geçen betonun dolması için huninin altına bir hazne yerleştirilir. Huninin dolması üzerinden (10 ± 2) sn geçtikten sonra kapak aniden açılır; kapağın açılmasından ve düşey olarak dolmanın gözlemlendiği ilk andan itibaren 0,1 sn hassasiyetle t_v zamanı ölçülür. t_v , V-hunisi akma zamanıdır.

2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.2.4.1. Basınç Deneyi

Her bir karışımın basınç dayanımının tayini için 150 mm'lik küp numuneler üretilmiştir. Numunelerin zamanla göstereceği dayanım artışları için 7, 28, 91 günlük dayanımları ölçülmüştür. Numuneler, TS EN 12390-4'e (2002) [39] basınç dayanım deney makinalarının özellikleri standardına uygun Ele Test 2000 markalı 2000 kN basınç kapasiteli preste (Şekil 2.5), TS EN 12390-3 (2003) [40] deney numunelerinde basınç

dayanımının tayini standardına uygun olarak deneye tabi tutulmuşlardır. Makine otomatik yükleme sistemi ile küp numuneler 530 kg/sn yükleme hızı ile yüklenmiştir. Basınç dayanımları, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2.2)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı, MPa

F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A_c : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm²



Şekil 2.5. Beton basınç dayanımı deneyi

2.2.4.2. Üç Noktalı Eğilme Deneyi

Betonun eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5 (2002) [41] ve TS 10515 (1992) [42] standartlarına göre bu deney metodunda açıklığın 1/3 noktalarında yüklenmiş donatısız beton kirişlerde basit kiriş metodu ile yapılmıştır. Eğilme dayanımları tayini için 100×100×350 mm'lik kiriş numuneleri üretilmiştir. Numunelerin zamanla göstereceği dayanım artışları için 7, 28, 91 günlük dayanımları ölçülmüştür. 350 mm uzunluğundaki kiriş numune 250 mm açıklığındaki mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve üçte bir

noktalarından tekil yük uygulanmıştır (Şekil 2.6). Numuneler yükleme kapasitesi 250 kN olan hidrolik ve yük kontrollü makine ile yükleme hızı 20 kg/sn olacak şekilde yüklenmiştir. Eğilme dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$f_{net} = \frac{3PL}{2BD^2} \quad (2.3)$$

Burada;

f_{net} : Net eğilme dayanımı, MPa

P : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

L : Mesnetler arası uzaklık, mm

B : Numune kesitinin genişliği, mm

D : Numune kesitinin yüksekliği, mm



Şekil 2.6. Üç noktalı eğilme deneyi

2.2.4.3. Ultrasonik Hız Tayini

Betonların dayanımlarının tespitinde kullanılan tahribatsız yöntemlerden olan ve Pundit (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) (Şekil 2.7) olarak adlandırılan bir cihaz tarafından belirlenen Ultrases dalga hızı ölçümüdür. Cihaz tarafından gönderilen düşük frekanslı ultrasonik sinyaller malzeme içerisinden geçerek transducerler

tarafından algılanır ve böylece ultrasonik sinyallerin malzeme içerisinde geçiş süresi hassas olarak ölçülür. Ultrasonik sinyaller beton içerisinde geçiş süresi betonun kalitesine bağlıdır. Ultrasonik testler sonucunda: betonun homojenliği, içindeki boşluklar, çatlaklar, beton yapısındaki yangın ve kimyasal olaylarla meydana gelen değişimler ile beton dayanımı ve kalitesi ile ilgili bilgiler elde edilir. Ölçümler esnasında, en çok önerilen direkt yöntem kullanılmıştır. Deneyler 7, 28 ve 91 günlük 150 mm'lik küp numuneler üzerinde yürütülmüştür. Ultrasonik ses hızı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$V = \frac{L}{U} \quad (2.4)$$

Burada;

V: Ultrasonik hız , km/sn

L: Geçiş uzunluğu, mm

U: Geçiş zamanı, µsn

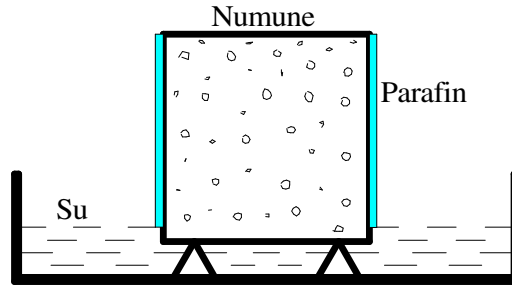


Şekil 2.7. Ultrason cihazı

2.2.4.4. Kapiler Su Emme Katsayısı Tayini

Her bir karışım için 3 adet 100 mm boyutunda hazırlanan küp numuneler, sabit ağırlığa gelinceye kadar 105 °C ± 5'de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Deney esnasında

suyun buharlaşarak uzaklaşmasını engellemek amacıyla numunelerin çevresi Şekil 2.8'deki gibi parafinle kaplanmıştır. Numuneler daha sonra saf su içerisine 5 mm batacak şekilde yerleştirilmiş ve 5, 10, 30, 60, 240 ve 1440 dakikalık sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su, nemli bir bez ile silinerek, 0.01 g hassasiyetli bir tartı ile kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kılcal su emme değerleri bulunmuştur. Kılcal su emme deneyi, TS 4045 (1984) [43] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.8. Kılcal su emme deneyi

Kapilarite katsayıları aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Q / A = k \sqrt{t} \quad (2.5)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada;

k : Kapilarite katsayısı, $\text{cm/s}^{0.5}$

A : Su ile temas eden alan, cm^2

t : Geçen zaman, s

Q : Emilen su miktarı, cm^3

Kapilarite katsayısı, MS Excel programında en küçük kareler metodu kullanılarak Q / A ile $\sqrt{t}$ arasındaki lineer ilişkinin eğiminden elde edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde lifsiz, polipropilen lifli ve çelik lifli KYB'ların deney sonuçları sunulmuştur.

3.1. Taze Beton Deneyleri

3.1.1. Çökme Yayılma Deney Sonuçları

KYB'lerin karışım oranları belirlenirken EFNARC'ın önerdiği çökme yayılma değerleri esas alınmıştır. Önerilen çökme yayılma değerlerini elde etmek için tüm karışımların su/bağlayıcı oranı sabit tutularak SA miktarı değiştirilmiştir. Bir betonun KYB olarak kabul edilebilmesi için Abrams Konisinde deney yapılarak elde edilen yayılmasının 550 ile 850 mm arasında olması gerekmektedir [44]. EFNARC'a göre bu yayılma değeri 650 ile 800 mm arasında olmalıdır. Ancak, KYB' nin kullanım alanının genişletilebilmesi için, Avrupa KYB şartnamesinde bu değer arttırılmıştır [44,5]. Çökme yayılma deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.1'de her bir karışımın çökme yayılma durumları görülmektedir.

Tablo 3.1. KYB ve KYLB'lerin taze beton özellikleri

KYB deneyleri	Kontrol	PL0.45	PL0.90	PL1.80	ÇL20	ÇL40	ÇL60	PL0.45 +ÇL40	PL0.90 +ÇL20
Çökme-yayılma (mm)	750	770	730	610	750	740	690	750	710
T ₅₀₀ (s)	1.2	1.4	1.6	1.8	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4
L-kutusu; H ₂ /H ₁	0.890	0.860	0.820	0.740	0.710	-----	-----	-----	0.830
V-hunisi akma zamanı	1.90	2.16	2.22	2.75	2.15	2.41	-----	2.40	2.28



a) Kontrol betonu



b) PL0.45 betonu



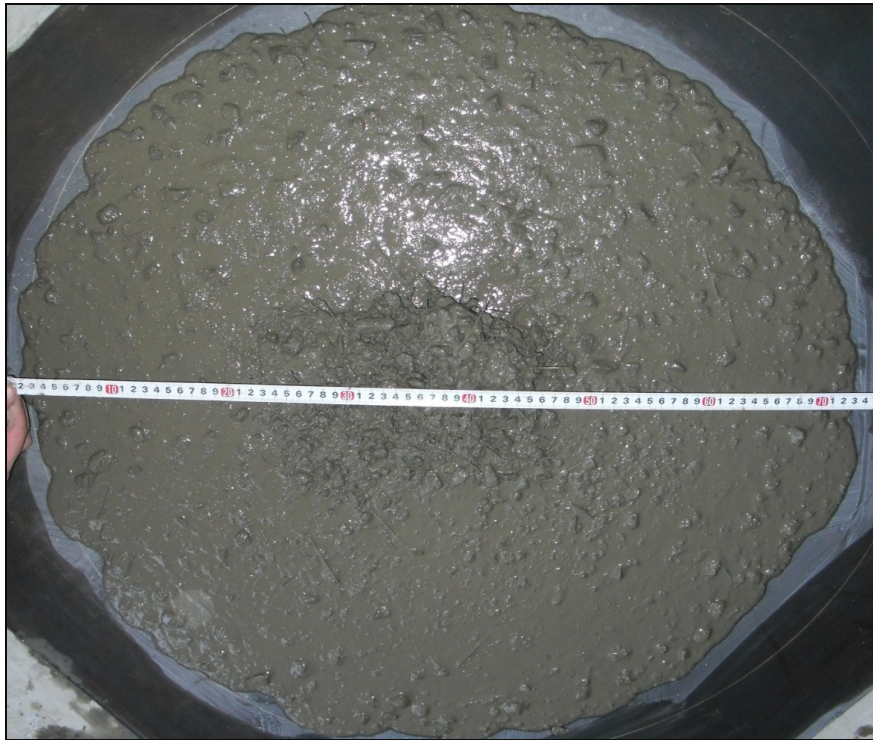
c) PL0.90 betonu



d) PL1.80 betonu



e) ÇL20 betonu



f) ÇL40 betonu



g) ÇL60 betonu



h) PL0.45+ÇL40 betonu



i) PL0.90+ÇL20 betonu

Şekil 3.1. KYB ve KYLB’ lerin çökme yayılma durumları

Tablo 3.1 ve Şekil 3.1 incelendiğinde, polipropilen lif oranı arttıkça KYB’ nin yayılma çapının azaldığı tespit edilmiştir. Beton hacminin çok az miktarı kadar polipropilen lif kullanılması çökme – yayılma değerinde önemli oranda azalmaya yol açmaktadır. Oysaki bu durum çelik lifli KYB’ lerde daha beton hacminin daha yüksek miktarlarında meydana gelmiştir. Böylece çelik tellerin önemli üstünlüğe sahip oldukları anlaşılmaktadır. Bu çalışmada bu durum, PP lifin narinliğine bağlı olarak açıklanmaktadır. Bu tip liflerin ıslatılması için çelik life göre narinlikleri ile orantılı olarak daha fazla su gerekmekte ve karışım suyundaki denge bozulmaktadır.

Yayılma deneyi sonuçlarına göre üretilen betonlar “Kendiliğinden Yerleşen Lifli Beton” olarak kabul edilebilmektedirler ancak yerinde döküm sırasındaki donatı ve kalıp şekli dikkate alınarak diğer işlenebilirlik deneyleri de uygulanmalıdır.

3.1.2 V Hunisi Deney Sonuçları

V hunisi deneyi kendiliğinden yerleşen betonların dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Huni en üst seviyeye kadar herhangi bir şişleme yapılmadan doldurulduktan sonra alt kapak açılarak betonun huniden boşalma süresi tespit edilmiştir. Tablo 3.1 de V-Hunisi deney sonucu verilmiştir. Genel olarak bütün numuneler için lif oranı arttıkça akış süresinin arttığı görülmüştür. Buna neden olarak liflerin beton ile deney aleti arasındaki sürtünmeyi arttırdığı düşünülmektedir. Akış süreleri incelendiğinde polipropilen lifli KYB' ler için 1.8 Kg/m^3 'ün üstünde ve çelik lifli KYB' ler içinse 40 Kg/m^3 'ün üstünde lif kullanımının karışımın işlenebilirliğini ciddi oranda düşürdüğü görülmektedir. Kullanılan SA miktarı sınır değerler arasında kalarak artırıldığında polipropilen lifli karışımların V hunisinde tıkanma olmadan aktığı, ancak çelik lifli betonlarda SA artırılrsa bile 40 Kg/m^3 'ün üstünde V hunisinde tıkanma meydana geldiği ve böylece betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliğinin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

3.1.3 L Kutusu Deney Sonuçları

L kutusu deneyi kendiliğinden yerleşen betonun akıcılığını ve tıkanma riskini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deneyde H_2 / H_1 oranının sınır değeri olarak 0,8-1 değerleri aralığı alınmıştır. Tüm beton numunelere uygulanan L kutusu deneyi sonuçları Tablo 3.1'de verilmektedir. L kutusu deneyi sonunda elde edilen H_2 / H_1 yükseklik oranları incelendiğinde sadece çelik lif içermeyen KYB' lerde ve polipropilen lif oranının az olduğu KYB' lerde istenilen sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Üretilen çelik lifli betonların tamamında betonun donatılar arasından geçiş yeteneği veya akıcılık özellikleri hakkında fikir sahibi olunabilecek yeterli sonuçlar alınamamıştır. Çelik lifli numunelerde L kutusunun donatılı geçiş bölgesinin betondaki çelik liflerden dolayı tıkanıldığı bu yüzden deneyin sonuçlanmadığı görülmüştür (Şekil 3.2). Buradan çıkan sonuca göre bu çelik lifle üretilen betonların sık donatılı bölgelerde uygulanmasının sakıncalı olacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.2. Çelik lifli KYB' lerin L kutusu deneyi sırasında tıkanma oluşması

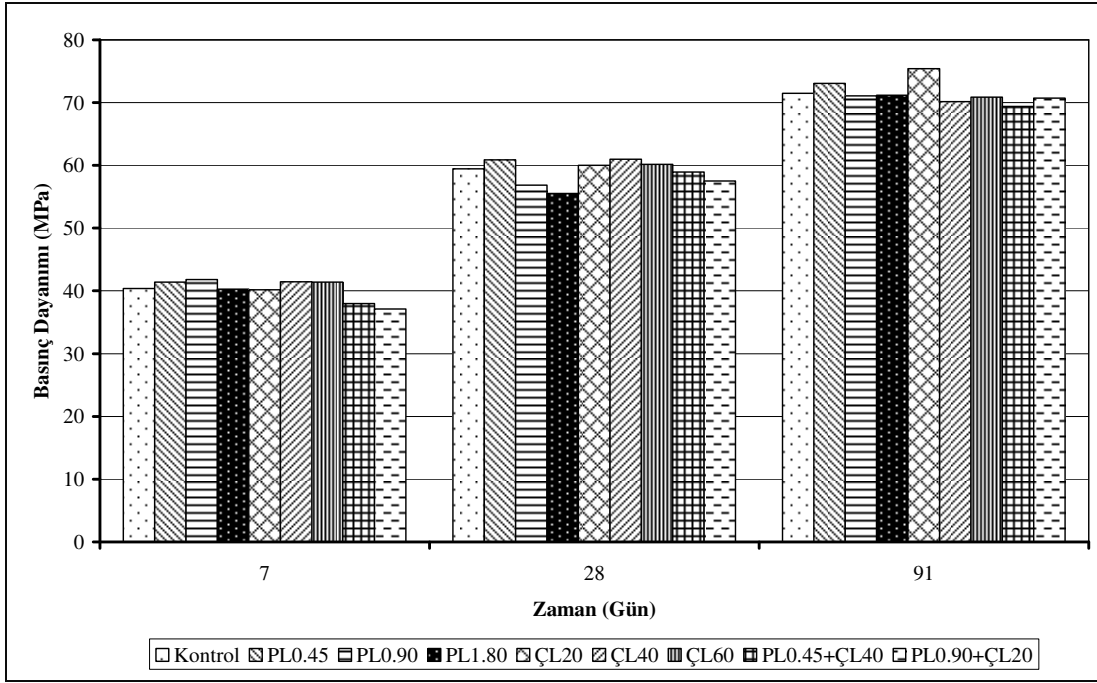
3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Taze beton deneyleri yapıldıktan sonra her bir karışım için 3 adet 150 mm küp, 3 adet 100×100×350 mm prizma ve 3 adet 100 mm küp numune alınarak toplamda 81 numune üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. 150×150×150 mm küp numuneler üzerinde sırasıyla ultrases geçiş hızı ve basınç deneyi, 100×100×350 mm prizma numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi ve 100 mm küp numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmıştır.

3.2.1 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

150 mm'lik küp numuneler basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuşlardır. Numunelerin zamana bağlı dayanımları için 7, 28 ve 91 günlük dayanımları ölçülmüştür. Araştırma kapsamında yer alan kontrol ve liflerle güçlendirilmiş KYB' lere ait zamana bağlı basınç

dayanımları Şekil 3.3'te sunulmuştur. Şekil 3.3 incelendiğinde; Polipropilen lif ile güçlendirilmiş 7 günlük 150 mm'lik küp dayanımlarında, kontrol betonuna kıyasla 0.45 ve 0.90 Kg/m³ polipropilen lif ilavesinin basınç dayanımlarında az bir artış meydana getirdiği, ancak ilerleyen zamanda 0.45 Kg/m³ polipropilen lif ilavesinin basınç dayanımını önemsiz bir miktarda artırdığı görülmektedir. Genel olarak polipropilen liflerin basınç dayanımı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ve hatta artan lif hacimleri ile beton basınç dayanımlarını azaltma eğiliminde oldukları görülmüştür. Polipropilen lif içeren numunelerde basınç ve eğilme dayanımlarında çok az bir azalma olduğu belirtilmekte ve bu da polipropilen liflerin oluşturduğu boşluklara bağlanmaktadır [45].



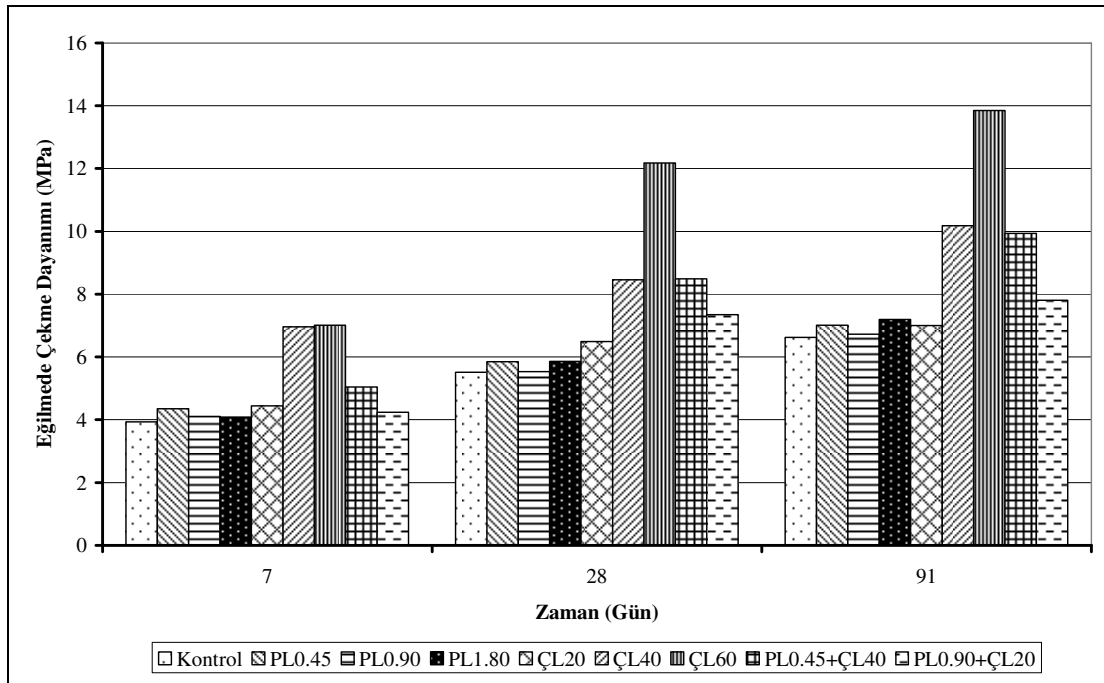
Şekil 3.3 KYB ve KYLB' lerin basınç dayanımı-zaman ilişkisi

Çelik lifin, betonların basınç dayanımları üzerindeki etkisi lif hacmine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Çelik liflerin burada basınç dayanımı açısından önemli bir artışa veya azalmaya neden olmadığı söylenebilir. Çünkü çelik lifin oranı arttıkça buna bağlı olarak matris fazında homojen bir karışım sağlanamadığından betondaki kusurlar da artabilmektedir. Ancak çelik liflerin miktarı arttıkça basınç deneyi sırasında betonların daha sünek davrandığı, patlamadıkları ve basınç altında da enerji yutma özelliğinin arttığı görülmüştür.

Su/bağlayıcı oranı bütün numuneler için eşit olduğundan betona katılan lif türünün ve miktarının grafikte de görüldüğü gibi basınç dayanımı üzerinde fazla bir etkisi olmamaktadır.

3.2.2 Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

KYB ve KYLB'lerin eğilme dayanımı deneyleri 100×100×350 mm'lik kiriş numuneleri üzerinde üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kiriş metodu ile yapılmıştır. Eğilme dayanımları 7, 28 ve 91 gün için ölçülmüş ve zamana bağlı eğilme dayanımları Şekil 3.4'de sunulmuştur. Eğilme dayanımları sonuçlarına göre polipropilen liflerin eğilme dayanımlarına bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Yapılan eğilme deneyinde lifsiz numunelerin kırılmalarının ani ve erken olduğu, lifli numunelerde ise betonun daha sünek bir yapı kazanması sonucu kırılmanın daha geç ve sünek bir kırılma özelliğinde olduğu deney sırasında gözlemlenmiştir.



Şekil 3.4 KYB ve KYLB'lerin eğilme dayanımı-zaman ilişkisi

Şekil 3.4 incelendiğinde çelik lif oranının artmasıyla eğilme dayanımının arttığı görülmektedir. Çelik lifli betonların nihai eğilme dayanımları normal betonlara göre %50-

100 arasında artış göstermektedir. Bu artış çelik liflerin yüksek çekme dayanımlarından ileri gelmektedir. Çimento hamuru matrisinin çatlamasından (ilk çatlaktan) sonra liflerin çatlak sonlarından gerilme transferi ve dağılımı yapması nedeniyle yük, ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artar. Bu durumda maksimum eğilme yükü lifsiz betonlara göre daha fazla olmaktadır [46]. Çatlak gelişimi ve yükleme durumundaki çatlak genişlemeleri nedeniyle çelik lif donatılı betonların önemli eğilme performansına sahip oldukları belirtilmektedir [47,48]. Yıldırım (2002) [49] ise çelik liflerin diğer liflere nazaran uzun oldukları için eğilme dayanımlarının çok fazla geliştirdiklerini belirtmiştir.

3.2.3 Ultrasonik Hız Deney Sonuçları

Ultrasonik hız deneyleri 7, 28 ve 91 günlük 150 mm'lik küp beton numunelerin üzerinde yapılmış ve ultrasonik hızlar basınç dayanımlarıyla birlikte Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. 7, 28 ve 91 günlük KYB ve KYLB' ler için ultrasonik hız küp basınç dayanımları

Karışım No	7 Gün		28 Gün		91 Gün	
	Küp basınç dayanımı (MPa)	Ultrasonik hız (km/sn)	Küp basınç dayanımı (MPa)	Ultrasonik hız (km/sn)	Küp basınç dayanımı (MPa)	Ultrasonik hız (km/sn)
Kontrol	40.37	4.54	59.44	4.65	71.45	4.71
PL0.45	41.40	4.51	60.86	4.64	73.04	4.69
PL0.90	41.77	4.51	59.82	4.63	71.04	4.71
PL1.80	40.30	4.47	55.52	4.65	71.14	4.71
ÇL20	40.17	4.50	60.00	4.63	75.42	4.68
ÇL40	41.47	4.49	60.97	4.63	70.15	4.69
ÇL60	41.37	4.49	60.15	4.65	70.84	4.70
PL0.45+ÇL40	37.97	4.50	58.91	4.62	69.39	4.68
PL0.90+ÇL20	37.10	4.48	57.51	4.61	70.67	4.69

Tablo 3.2' den küp numuneler üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçüm sonuçları hem tüm kür periyotları hem de tüm beton grupları arasında hızların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Polipropilen lif katkıları, betonların basınç ve eğilme dayanımları gibi ultrasonik ses hızlarını pek değiştirmedikleri görülmüştür. Elde edilen ölçüm değerlerinden polipropilen lifin ve artan lif miktarının ultrasonik hıza bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çelik lifli betonlar içerisinde geçen ses dalgasının hızı ile beton basınç ve eğilme dayanımları arasında doğrudan bir ilişki görülmemiştir. Elde edilen ölçüm değerlerinden çelik lifin ve lif miktarının ultrasonik hıza pek bir etkisinin olmadığı ancak artan çelik lif oranı ile ultrasonik hızların azalma eğiliminde olduğu zayıf olarak görülmüştür. Ancak bu azalma dayanımlar için görülmemiştir.

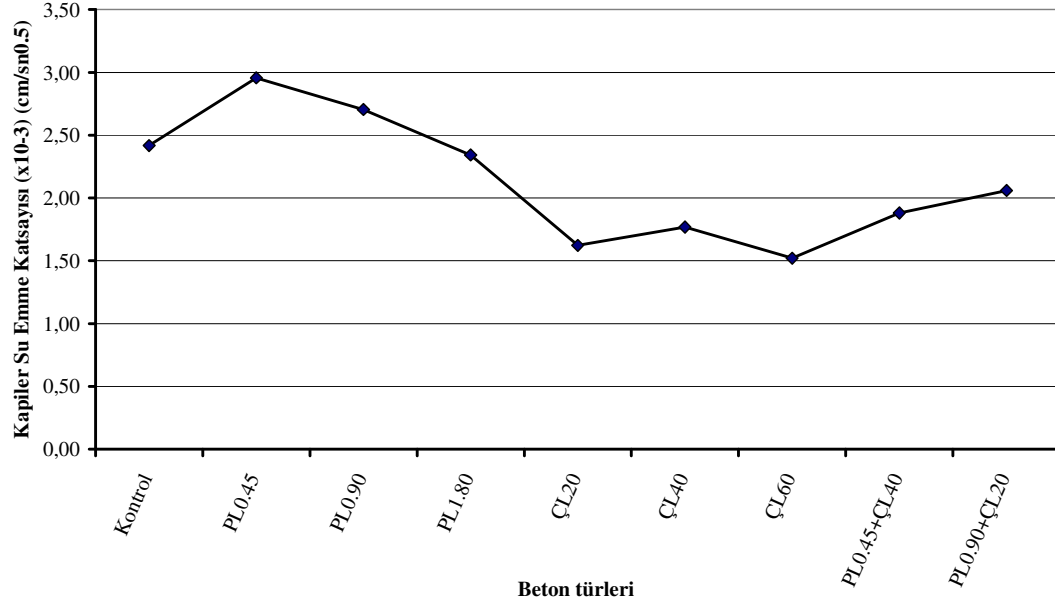
Tabak (2004) [50] çelik lifli betonların 28 günlük ultra ses hızlarının beklenenin aksine kontrol betonuna kıyasla daha düşük değerlerde elde edildiğini ve bu düşüşün lif hacmi ve görünüm oranı arttıkça az miktarda arttığını belirtmiştir. Bunun sebebi olarak liflerin betonla temas eden geçiş bölgelerinde yerleştirmeden kaynaklanan oldukça küçük boyutlu boşlukların bulunuyor olmasına ve liflerin gelişi güzel dağılım göstermesine bağlamıştır. Yıldırım (1994) [51] ise çelik lif kullanımının betonların ultrases hızlarını değiştirmedeğini belirtmiştir.

3.2.4 Kapiler Su Emme Deney Sonuçları

Kapiler su emme durumunun belirlenmesi 28 günlük 100 mm'lik küp beton numuneler üzerinde yapılmıştır. Beton numunelerin yan yüzeyleri parafin ile izole edilmiş ve 5 mm yüksekliğindeki suya sadece alt yüzeyleri temas ettirilmiştir. Deney numunelerinin 5, 10, 30, 60, 240 ve 1440 dakikalık sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su, nemli bir bez ile silinerek, 0.01 g hassasiyetli bir tartı ile kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kılcal su emme değerleri bulunmuştur. Kılcal su emme deneyi, TS 4045 (1984) [43] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kapilarite katsayısı, MS Excel programında en küçük kareler metodu kullanılarak Q/A ile $\sqrt{t}$ arasındaki lineer ilişkinin eğiminden elde edilmiş ve Şekil 3.5'te sunulmuştur.

Şekil 3.5 incelendiğinde polipropilen liflerin KYB' lerin kapiler su emme katsayılarına önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. 0.45 Kg/m³ polipropilen lif içeren KYB' nin kapiler su emme katsayısı lif içermeyen KYB' nin kapiler su emme katsayısından bir miktar fazlayken, polipropilen lif oranı arttıkça lif içermeyen KYB' nin kapiler su emme katsayısına yaklaşmıştır. Çelik liflerle güçlendirilmiş KYB' lerin kapiler su emme katsayılarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeninin SD' nin

ince yapısından dolayı çelik liflerin oluşturduğu boşlukların SD ile dolması ve boşluksuz bir yapı oluşturması düşünülmektedir.



Şekil 3.5. KYB ve KYLB' lerin kapilarite katsayıları

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen beton içerisine polipropilen lif, çelik lif ve polipropilen lif+çelik lif katılarak taze beton ve sertleşmiş beton üzerinde araştırma yapılmış, lifin kendiliğinden yerleşen beton üzerindeki etkileri araştırılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yapılan deneysel çalışmada polipropilen lif miktarının 1.8 Kg/m^3 ve çelik lifin 60 Kg/m^3 miktarında kullanılması durumunda katkı miktarını uygun sınırlarda arttırarak işlenebilirliğin korunabildiği, bu değerden daha yüksek miktarda lif kullanılması durumunda işlenebilirliğin bozulduğu görülmüştür.
- Sabit su/bağlayıcı oranında kendiliğinden yerleşen betona lif ilave edilmesiyle oluşan karışımın işlenebilirliğini korumak için kullanılan süperakışkanlaştırıcının (SA) miktarının arttırılması gerektiği belirlenmiş ve lif miktarının arttırılmasıyla da katkı kullanımının artacağı görülmüştür.
- KYB' de fazla miktarda lif kullanılması ve buna bağlı olarak katkı kullanımının artması segregasyon problemi ortaya çıkarmaktadır.
- Lifli betonların dökümleri lifsiz betonlara göre daha iyi planlama ve işçilik gerektirmektedir. Sertleşmiş KYLB' lerin davranışı işlenebilirliğine ve dolayısıyla boşluksuz bir şekilde kalıba yerleştirilebilmesine büyük ölçüde bağlıdır. Kendiliğinden yerleşebilmenin yeterince sağlanamaması, lifli kompozitte dayanım ve dayanıklılık açısından çok olumsuz durumlara yol açabilir.

1. Yapılan yayılma deneyi sonuçlarına göre;

- Karışıma eklenen liflerin taze KYB' nin yayılma çapını azalttığı, işlenebilirliğini düşürdüğü ve T_{500} süresini arttırdığı belirlenmiştir.
- Karışımındaki polipropilen lif miktarı arttırıldığında taze KYB' nin yayılma çapının azaldığı, işlenebilirliğin düştüğü ve T_{500} süresinin arttığı belirlenmiştir.
- Karışımındaki çelik lif miktarı arttırıldığında taze KYB' nin yayılma çapının azaldığı, işlenebilirliğin düştüğü ve T_{500} süresinin arttığı belirlenmiştir.
- Karışıma birlikte eklenen polipropilen lif+çelik lifin kontrol betonuna göre taze KYB' nin yayılma çapını azalttığı, işlenebilirliğini düşürdüğü ve T_{500} süresini

arttırdığı belirlenmiştir. Karışımdaki çelik lif miktarı arttıkça bloklaşma riskinin de arttığı gözlemlenmiştir.

- Polipropilen lif miktarının çok az artırılmasında bile çökme-yayılma değerinde önemli oranda azalma oluşmaktadır. Çelik lif, polipropilen lif ile kıyaslandığında çelik lif miktarının önemli oranda artırılmasında bile çökme-yayılma değerinde çok az azalma oluşmaktadır.

2. V hunisi deney sonuçlarına göre;

- Karışıma eklenen liflerin V hunisinde taze KYB' nin akma süresini uzattığı belirlenmiştir.
- Karışıma eklenen polipropilen lifin V hunisinde taze KYB' nin akma süresini uzattığı, ayrıca polipropilen lif miktarının artmasıyla bu sürenin arttığı belirlenmiştir.
- Karışıma eklenen çelik lifin V hunisinde taze KYB' nin akma süresini uzattığı, ayrıca çelik lif miktarının artmasıyla bu sürenin arttığı hatta V hunisini tıkayarak akmayı durdurduğu belirlenmiştir.
- Karışıma eklenen polipropilen lif+çelik lif karışımının kontrol betonuna göre V hunisinde taze KYB' nin akma süresini uzattığı belirlenmiştir. Ayrıca polipropilen lif ve çelik lifin katılmasıyla oluşan karışık lifli karışımlarda çelik lif miktarının artması V hunisinde taze KYB karışımının akmasını durdurduğu belirlenmiştir.
- Akış süreleri incelendiğinde polipropilen lifli KYB' ler için 1.8 Kg/m^3 'ün üstünde ve çelik lifli KYB' ler içinse 40 Kg/m^3 'ün üstünde lif kullanımının karışımın işlenebilirliğini ciddi oranda düşürdüğü görülmektedir.

3. L kutusu deney sonuçlarına göre;

- Karışıma eklenen liflerin L kutusunda taze KYB' nin geçebilme oranını düşürdüğü belirlenmiştir.
- Karışıma eklenen polipropilen lifin L kutusu geçebilme oranını düşürdüğü, ayrıca polipropilen lif miktarının artmasıyla da bu oranın düştüğü belirlenmiştir.
- Karışıma eklenen çelik lifin L kutusu geçebilme oranını düşürdüğü, ayrıca çelik lif miktarının artmasıyla L kutusu haznesinin tıkanıldığı belirlenmiştir. Buradan çıkan sonuca göre bu çelik lifle üretilen KYB' lerin sık donatılı bölgelerde uygulanmasının sakıncalı olacağı anlaşılmaktadır.

- Karışıma eklenen polipropilen lif+çelik lif karışımının L kutusu geçebilme oranını düşürdüğü belirlenmiştir. Ayrıca bu karışımdaki çelik lif miktarının artmasıyla L kutusu haznesinin tıkanıdığı belirlenmiştir.
- H_2 / H_1 oranının sınır değerini 0.8-1 olarak aldığımızda sadece çelik lif içermeyen KYB' lerde ve polipropilen lif oranının az olduğu KYB' lerde istenilen sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir.

4. Sertleşmiş küp numunelerin üzerinde yapılan ultrasonik ses hızı deneyinin sonucuna göre;

- Hem tüm kür periyotları hem de tüm beton grupları arasında hızların birbirine yakın olduğu görülmüştür.
- Karışıma eklenen polipropilen liflerin KYB' nin ultrasonik ses geçirgenliğini pek değiştirmedığı belirlenmiş ve polipropilen lif miktarının artmasının da ultrasonik hıza bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Karışıma eklenen çelik liflerin KYB' nin ultrasonik ses geçirgenliğini pek değiştirmedığı belirlenmiş, artan çelik lif oranı ile ultrasonik hızların azalma eğiliminde olduğu zayıf olarak görülmüştür. Ancak bu azalma dayanımlar için görülmemiştir.
- Çelik lifli betonlar içerisinde geçen ses dalgasının hızı ile beton basınç ve eğilme dayanımları arasında doğrudan bir ilişki görülmemiştir.

5. Sertleşmiş küp numunelerin üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyinin sonucuna göre;

- Karışıma eklenen polipropilen liflerin KYB' nin basınç dayanımına önemli ölçüde etkisinin olmadığı belirlenmiş, ayrıca karışımdaki polipropilen lif miktarı arttıkça KYB' nin basınç dayanımının da azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.
- Çelik lifin, betonların basınç dayanımları üzerindeki etkisi lif hacmine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Karışıma eklenen çelik liflerin KYB' nin basınç dayanımında önemli bir artışa veya azalmaya neden olmadığı söylenebilir. Çelik liflerin miktarı arttıkça basınç deneyi sırasında betonların daha sünek davrandığı, patlamadıkları ve basınç altında da enerji yutma özelliğinin arttığı görülmüştür.
- Karışıma eklenen polipropilen lif+çelik lifin betonun basınç dayanımında önemli bir artışa veya azalmaya neden olmadığı söylenebilir.

6. Sertleşmiş kiriş numunelerin üzerinde yapılan üç noktalı eğilme deneyi sonuçlarına göre;

- Karışıma eklenen polipropilen liflerin KYB' nin eğilme dayanımına pek etki etmediği belirlenmiş, ayrıca karışımdaki polipropilen lif miktarının artması ile betonun eğilme dayanımının önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir.
- Karışıma eklenen çelik liflerin KYB' nin eğilme dayanımını arttırdığı belirlenmiştir. Çelik lifli KYB' lerin nihai eğilme dayanımları normal betonlara göre %50- 100 arasında artış göstermektedir. Ayrıca karışımdaki çelik lif miktarı arttıkça KYB' nin de eğilme dayanımının önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir.
- Karışıma eklenen polipropilen lif+çelik lifin KYB' nin eğilme dayanımını kontrol betonuna göre arttırdığı belirlenmiştir. Bu karışımdaki çelik lif miktarı arttıkça KYB' nin de eğilme dayanımının arttığı belirlenmiştir. Yani bu karışık karışımlarda çelik lif KYB' nin eğilme dayanımına önemli oranda etki etmektedir.
- Yapılan bu deneyde lifsiz numunelerin ani kırılma gösterdiği lifli numunelerin ise daha geç ve sünek bir şekilde kırıldığı gözlemlenmiştir.

7. 100 mm'lik sertleşmiş küp numunelerin üzerinde yapılan kapiler su emme deneyi sonucuna göre;

- Polipropilen liflerin KYB' lerin kapiler su emme katsayılarına önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Artan polipropilen lif miktarı da kapiler su emme katsayısını azaltmıştır ve lifsiz betonun (kontrol betonu) kapilerite kat sayısına yaklaştırmıştır.
- Çelik liflerle güçlendirilmiş KYB' lerin kapiler su emme katsayılarının oldukça düşük olduğu görülmüştür. Çelik lif miktarının artmasıyla da bu katsayının azaldığı belirlenmiştir. Bunun nedeni çelik lifler rötreyi azalttığından kapiler su emme katsayıları düşük çıkmıştır.
- Liflerin birlikte kullanıldığı karışımlarda kapilerite katsayısı kontrol betonunkinden düşük çıkmıştır. Bu karışımdaki çelik lif miktarının artması ve polipropilen lif miktarının azalması kapilerite katsayısını azaltmıştır.

KAYNAKLAR

1. ÖZYILDIRIM, C. and LANE, D.S., “Investigation of Self Compacting Concrete”, Transportation Research Board 2003, Washington, USA.
2. OKAMURA, H., OUCHI, M., 1999. “Self Compacting Concrete: Development, Present Use and Future”, In Self Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium, A. Skarendahl, O. Petersson, Eds. RILEM Publications, Cachan Cedex, France.
3. OKAMURA, H., OUCHI, M., 1999. “Self Compacting Concrete Development, Present and Future”, Proceeding of 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Sweden.
4. WALRAVEN, J., 2003. “Structural Aspects of Self Compacting Concrete”, Proceeding of 3rd International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland.
5. DUYAR, O., 2006. “Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 75, ss. 46-52.
6. www.grandbeton.comurun.html “ Kendiliğinden Yerleşen Beton Polipropilen Lif Miktarı”, 13.01.2011.
7. GÜRDAL, H. ve YÜCEER, Z., 2004. “Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları”, Beton 2004 Kongre Bildiri, İstanbul.
8. OKAMURA, H., 1997. “Self-Compacting High-Performance Concrete”, Concrete International, Vol.19, No.7, pp. 50-54.
9. ÖZKUL, M.H., 2002. “Beton Teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 52, ss. 64-71.
10. BÜRGE, T., (1999). Viscocrete, Latest Development, Madrid, Spain.
11. UCHIKAWA, H., HAREHARA, S., ve SAWAKI D., (1997). The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in cement paste prepared with organic admixture, *Cement and Concrete Research*, **27**, 1, 37-50.
12. YOSHIOKA, K., SAKAI, E., DAMIAN, M., ve KITAHARU, A., (1997). Role of steric hindrance in the performance of superplasticizers for concrete, *5th American Ceramic Society Journal*, **80**, 10, 2667- 2771.
13. HOUST, Y.F., MAEDER, U., FLATT, R.J., WIDMER, J., BOWEN, P., HOFFMANN, H., SULSER, U. ve BUERGE, T.A., (1999). New superplasticizers: from research to application, creating with concrete, international conf. on modern concrete

materials: binders, additives and admixtures, Ed. by Dhir R.K., Dundee, Scotland, 445-456.

14. ÖZKUL, M.H., DOĞAN, A.U., ÇAVDAR, Z., SAĞLAM, A.R. ve PARLAK, N., (2000). Effects of self compacting concrete admixtures on fresh and hardened concrete properties, *Proceedings*, Cement and Concrete Technology in the 2000's, Second International Symposium, Ed. by Yeginobalı, A., 6-10 September, Istanbul.

15. SEMİOLİ, W. J., 2001. "Self-Placing Concrete", *Concrete International*, Vol. 23, No.12, pp. 69-72.

16. SAHMARAN, M., CHRISTİANTO, H.A., YAMAN, İ.O., 2006, "The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars", *Cement & Concrete Composites* 28, 432-440.

17. TOPCU, İ. B., ÜNAL, O., UYGUNOĞLU, T., 2007.b. "Kendiliğinden yerleşen betonda mineral katkıların taze beton özelliklerine etkilerinin araştırılması", 2. Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu (Beton ve Harçlarda), 12-13 Nisan, Ankara, ss. 181-193.

18. UYGUNOĞLU, T., 2008. "Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 155 s.

19. http://www.linsaat.com/uploads/TrbBlogs/docs_2/23424_1196862177_63.doc, Çelik lifli Beton. 15.05.2010.

20. ŞİMŞEK, O., Haziran 2009. "Beton ve Beton Teknolojisi", Seçkin Yayıncılık, Ankara.

21. BALIK, F. ve KAMANLI, M., Mart 2003. "Beton Teknolojisi", Nobel Basımevi, İstanbul.

22. ACI 544.1R-96, 1996. State of the Art Report On Fibre Reinforced Concret.

23. ALKAN G., 2004. "Polipropilen Lifli Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

24. KYAHAT, K.H. and ROUSSEL, Y., (2000). "Testing and performance of fiber reinforced, self consolidating concrete, *Materials and Structures*, Vol. 33, pp. 391 – 397.

25. GRÜNEWALD, S., WALRAVEN, J. C., (2001). Parameter – study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self – compacting concrete, *Cement and Concrete Research* 31, 1793 – 1798.

26. BALAGURU, P. and SHAH, S., (1991). Fiber reinforced cement composites, Mc. Graw Hill Inc.

27. BAYASI, M.Z. and SOROUSHIAN, P., (1992). Effect of steel fiber reinforcement on fresh mix properties of concrete, *ACI Materials Journal*, V.89, No.4 pp. 369 – 374

28. BAYRAMOV, F.C., TASDEMİR, M.A. (2004), Cement and concrete composites, Vol. 26-6, pp. 665-675.
29. www.fbe.deu.edu.tr/ALL_FILESTez_Arsivi2008DR_p530.pdf “Çelik Lif Donatılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özellikleri”, 13.01.2011.
30. SERTBAŞ, B., Haziran 2006. “Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 76 s.
31. BERBERGİL, V., Haziran 2006. “Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 63 s.
32. www.düzce.edu.tr/~serkansubasiyayinlarB7.pdf “Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik ve Polipropilen Lif Kullanımının Akışkanlık Parametreleri ve Basınç Dayanımına Etkisi”, 13.01.2011.
33. ÇAKIROĞLU M. Alkan, KASAP, S. ve ERENOĞLU, E., 16-18 Mayıs 2011. “Betona Değişik Geometrik Formlarda Çelik Lif Eklenmesinin Basınç Dayanımına Etkisi”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ.
34. BARADAN, B., YARDIMCI, M. YÜCEL, FELEKOĞLU, B., YAZICI, H. ve YİĞİTER, H., 2004-2005. “Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özelliklerinin Lif Katkısı İle Geliştirilmesi”, DPT Üniversiteler İçin İleri Araştırma Projesi.
35. ÖZCAN, D. Mehmet, VEKLİ, M. ve ALTUN, F., “Betonarme Kiriş Elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Erciyes Üniversitesi, Trabzon, Kayseri.
36. SUBAŞI, S. ve EMİROĞLU, E., 2008. “Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi”, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (3), s. 527-539.
37. EFNARC (2005) European guidelines for self-compacting concrete: Specification, Production and Use; <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>
38. TS EN 12350-2, 2002. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
39. TS EN 12390-4, 2002. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 4: Basınç Dayanımı-Deney Makinelerinin Özellikleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
40. TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
41. TS EN 12390-5, 2002. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

42. TS 10515, 1992. Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
43. TS 4045 (1984) Yapı Malzemelerinde Kılcal Su Emme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
44. “The European Guidelines for Self Compacting Concrete Specification, Production and Use”, Self-Compacting Concrete European Project Group, www.efnarc.org, 2005.
45. HUANG, W-H., 2001. Improving the Properties of Cement-Fly Ash Grout Using Fiber and Superplasticizer. *Cement and Concrete Research*, 31:1033-1041.
46. UĞURLU, A., 1994. “Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton”, DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara, 175s.
47. LOOK, T.S., XIAO, J.R., 1999. Flexural Strength Assessment of Steel Fiber Reinforced Concrete. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(3):188-196.
48. BANTIA, N., 1997. Fibre Reinforced Concrete: Present and Future. *Proc., Asia- Pacific Spec. Conf. On the Fibre Reinforced Concrete*, CI-Premier Singapore, 1-10.
49. YILDIRIM, S.T., 2002. Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 193s.
50. TABAK, V., 2004. Çelik Lifli Betonda Lif ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 134s.
51. YILDIRIM, M.A., 1994. Hafif ve Yarı Hafif Betonlarda Çelik Lif Kullanımının Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 64s.

ÖZ GEÇMİŞ

Abdulkadir GÜNEŞ, 1985 yılında Malatya’ da doğdu. 2002 yılında Malatya Kubilay Lisesinden mezun oldu. 2005-2009 yılları arasında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimi aldı ve bu bölümden 90,2/100 not ortalamasıyla bölüm ikincisi olarak mezun oldu. 2009-2011yılları arasında aynı bölümde yapı alanında yüksek lisans eğitimini tamamladı.