

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA
POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ
İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Burcu SERTBAŞ
(501021441)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Hasan YILDIRIM
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet UYAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü.)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocam Yar.Doç.Dr.Hasan YILDIRIM'a , çalışmalarımda ilgi ve yardımları dolayısıyla sayın hocam Prof.Dr. Mehmet Uyan ve Araş.Gör. Cengiz Şengül, deneysel çalışmalar sırasındaki malzeme temini ve yardımlarından dolayı SET Beton San. Tic.A.Ş. Ayazağa Tesisi Labratuarı çalışanlarına , lif temini sağlayan DRACO Yapı Kimyasalları ile, çalışmalarım süresince beraber çalıştığım arkadaşım Volkan Berbergil'e , gösterdikleri sevgi, destek ve sabır için aileme, teşekkür ederim.

Haziran 2006

Burcu SERTBAŞ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. KENDİLİNDEN YERLEŞEN POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLAR	3
2.1. KYB'un Genel Özellikleri	3
2.1.1. KYB'un karışım dizaynı	4
2.1.2. KYB'nun taze haldeki özellikleri	5
2.1.2.1. Doldurma yeteneği	6
2.1.2.2. Ayrışmaya karşı direnç yeteneği	6
2.1.2.3. Geçiş yeteneği	6
2.1.3. KYB'da deney metodları	
2.1.3.1. Serbest yayılma deneyi	7
2.1.3.2. V-hunisi deneyi	8
2.1.3.3. L-kutusu deneyi	9
2.1.3.4. U-kutusu deneyi	10
2.1.3.5. Doldurma kutusu deneyi	11
2.1.3.6. J-Halkası deneyi	12
2.2. KYB'da Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımı	13
2.3.1. Vizkozite arttırıcı katkı etkisi	16
2.3. KYB'da Uçucu Kül Kullanımı	17
2.3.1. Uçucu külün kimyasal ve morfolojik yapısı	17
2.3.2. Uçucu külün sınıflandırılması	18
2.3.3. Uçucu külün puzolanik özelliği	19
2.3.4. Uçucu külün beton özelliklerine etkisi	19
2.3.4.1. Taze beton özelliklerine etkisi	20
2.3.4.2. Sertleşmiş beton özelliklerine etkisi	21
2.4. KYB'da Polipropilen Lif Kullanımı	22
2.4.1. Betonun kırılma mekaniği üzerine lif etkisi	22
2.4.2. Lif çeşitleri	24
2.4.2.1. Doğal lifler	24
2.4.2.2. Metal lifler	25
2.4.2.3. Cam lifler	26

2.4.2.4. Sentetik Lifler	26
2.4.3. Polipropilen lifin KYB özelliklerine etkisi	27
2.4.3.1. Taze beton özellikleri ve işlenebilirliğe etkisi	28
2.4.3.2. Sertleşmiş beton özelliklerine etkisi	28
2.4.3.3. Durabiliteye etkisi	29
2.4.3.4. Yangına karşı dayanıma etkisi	29
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
3.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	31
3.1.1. Çimento	31
3.1.2. Uçucu kül	32
3.1.3. Agregalar	32
3.1.4. Polipropilen lif	34
3.1.5. Kimyasal katkıları	34
3.2. Beton Üretimi	35
3.2.1. Numune kodlarının verilmesi	36
3.2.2. Üretim sırası	36
3.3. Taze Beton Deneyleri	37
3.3.1. Serbest yayılma	37
3.3.2. V-hunisi	37
3.3.3. L-kutusu	37
3.3.4. U-kutusu	38
3.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri	39
3.4.1. Basınç dayanımı deneyi	39
3.4.2. Eğilme dayanımı deneyi	39
3.4.3. Ultrases hızı deneyi	40
3.4.4. Elastisite modülü deneyi	41
4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ	42
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirmesi	42
4.1.1. Birim ağırlık deney sonuçları	42
4.1.2. Serbest yayılma deney sonuçları	43
4.1.3. V-hunisi akış süresi sonuçları	45
4.1.4. L-kutusu deney sonuçları	47
4.1.5. U-kutusu deney sonuçları	50
4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları ve Değerlendirmesi	52
4.2.1. Basınç dayanımı deney sonuçları	53
4.2.2. Eğilme dayanımı deney sonuçları	54
4.2.3. Ultrases hızı deney sonuçları	56
4.2.4. Elastisite modülü deney sonuçları	58

5. GENEL SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	66

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: KYB’da İşlenebilirliği Belirleyen Deney Metodları	6
Tablo 2.2: Betonda Kullanılan Uçucu Külün Standartlara Uygunluk Sınırları	18
Tablo 2.3: Sentetik Liflerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	26
Tablo 3.1: Çimentonun Fiziksel Özellikleri.....	31
Tablo 3.2: Çimentonun Kimyasal Özellikleri.....	31
Tablo 3.3: Çimentonun Basınç Dayanımı	32
Tablo 3.4: Uçucu Külün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	32
Tablo 3.5: Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	33
Tablo 3.6: Agregaların Elek Analizi Sonuçları.....	33
Tablo 3.7: Polifer635 Tipi Polipropilen Lifin Teknik Özellikleri.....	34
Tablo 3.8: Kullanılan Süperakışkanlaştırıcıların Teknik Özellikleri	34
Tablo 3.9: Kullanılan Viskozite Arttırıcı Katkının Teknik Özelliği.....	35
Tablo 3.10: Teorik Beton Bileşimleri	36
Tablo 4.1: 1m ³ Betonda Gerçek Miktarlar.....	42
Tablo 4.2: Serbest Yayılma Deneyi Sonuçları.....	43
Tablo 4.3: V-hunisi Akış Süresi Deney Sonuçları.....	45
Tablo 4.4: L-kutusu Deney Sonuçları.....	48
Tablo 4.5: U-Kutusu Deney Sonuçları.....	50
Tablo 4.6: Küp ve Silindir Numunelerde Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	53
Tablo 4.7: Prizma Numunelerde Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	55
Tablo 4.8: Utrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları.....	56
Tablo 4.9: Elastisite Modülü Deneyi Sonuçları.....	58

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1: Serbest Yayılma Testi Deney Düzeneği.....	7
Şekil 2.2: V-Hunisi Testi Deney Düzeneği	8
Şekil 2.3: L-Kutusu Testi Deney Düzeneği.....	9
Şekil 2.4: U-Kutusu Testi Deney Düzeneği	10
Şekil 2.5: Doldurma Kutusu Testi Deney Düzeneği.....	11
Şekil 2.6: J-Halkası Testi Deney Düzeneği.....	12
Şekil 2.7: Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Moleküler Yapıları	14
Şekil 2.8: Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizmaları.....	15
Şekil 2.9: Farklı Oranlarda Lif İçeren Kompozitlerde Tipik Yük-Sehim Eğrisi.....	23
Şekil 2.10: Yüksek Sıcaklıkta Eriyen Polipropilen Liflerin Oluşturduğu Boşluklardan Su Buharının Çıkışı.....	30
Şekil 3.1: Agrega Karışımının Granülometrisi ve Referans Eğrileri.....	33
Şekil 3.2: Serbest Yayılma Deneyi Nihayi Yayılma Çapı Ölçümü	37
Şekil 3.3: L-Kutusu Deneyi- Akış Tamamlandıktan Sonra Beton Yüksekliklerinin Ölçümü.....	38
Şekil 3.4: U-Kutusu Deneyi – Ara Kapağın Kaldırılmasıyla Betonun Akışı.....	38
Şekil 3.5: Eğilme Dayanımı Deney Düzeneği.....	39
Şekil 3.6: 100 ton Kapasiteli Eğilme Dayanımı Deney Aleti.....	40
Şekil 3.7: 200 ton Kapasiteli Basınç Presinde Elastisite Modülü Deney Düzeneği...41	
Şekil 4.1: min. 60 cm Yayılma Değeri İçin Lif Oranı-Katkı Mikteri Değişimi.....44	
Şekil 4.2: Lif Oranı - V-Hunisi Akış Süresi Değişimi.....45	
Şekil 4.3: G Serisi Betonlarda Lif Oranı-Katkı Miktarı-Akış Süresi Grafiği.....46	
Şekil 4.4: W Serisi Betonlarda Lif Oranı-Katkı Miktarı-Akış Süresi Grafiği.....46	
Şekil 4.5: V Serisi Betonlarda Lif Oranı-Katkı Miktarı-Akış Süresi Grafiği.....46	
Şekil 4.6: L-Kutusu Deneyi Lif Oranı - H ₁ /H ₂ Oranı Değişimi.....48	
Şekil 4.7: L-Kutusu Deneyi Lif Oranı - T ₂₀ , T ₄₀ Süreleri Değişimi.....49	
Şekil 4.8: VP1,4 ve GP1,4 Numunelerinde L-Kutusu Deneyinde Tıkanma	50
Şekil 4.9: U-Kutusu Deneyi Lif Oranı - H ₁ -H ₂ Değeri Değişimi.....51	
Şekil 4.10: GP 1 Nolu Numunede U-Kutusu Deneyinde Liflerden Dolayı Donatılar Arasında Tıkanma Oluşması.....	52

Şekil 4.11: Lif Oranı - K�p Basıncı Dayanımı Değişimi.....	53
Şekil 4.12: Lif Oranı - Silindir Basıncı Dayanımı Değişimi	54
Şekil 4.13: Lif Oranı - Eğilme Dayanımı Değişimi.....	55
Şekil 4.14: GP 1,4 Numunesinde Eğilme Dayanımı Deneyi	56
Şekil 4.15: G Serisi Numunelerde Ultrases Hızı- Silindir Basıncı Day. Değişimi...57	
Şekil 4.16: W Serisi Numunelerde Ultrases Hızı- Silindir Basıncı Day. Değişimi...57	
Şekil 4.17: V Serisi Numunelerde Ultrases Hızı- Silindir Basıncı Day. Değişimi...57	
Şekil 4.18: Lif Oranı - Elastisite Modülü Değişimi.....	58

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ

ÖZET

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) gerek işlenebilirlik özellikleri, gerek dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından özel bir beton türü olup yüksek performanslı beton sınıfına girmektedir. Özellikle rötre nedeniyle oluşan mikroçatlakların önlemek böylece ileriki yaşlarda betonun geçirimliliğini azaltıp durabiliteyi arttırmak amacıyla kullanılan polipropilen liflerin KYB'larda işlenebilirliğini olumsuz etkilemesi kaçınılmazdır.

Bu tez çalışması kapsamında KYB'larda polipropilen lif kullanılmasının betonun işlenebilirliği üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla sabit 0.47 su/toplam bağlayıcı oranına sahip üç farklı seribeton üretilmiştir. Her üç seride de polikarboksilat esaslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı kullanılmış fakat kullanılan katkılar üç farklı firmadan temin edilmiştir. Her seride kullanılan polipropilen lif miktarı biri şahit olmak üzere 3.5, 5.0, 7.0 kg/m³ olacak şekilde hacimce % 3.68, 5.26, 7.37 olarak kullanılıp 12 karışım yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda karışımda kullanılan lif miktarı arttıkça betonun işlenebilirliğinin ne derece etkilendiği, kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkının miktarı arttırılırsa işlenebilirliğin korunmasının ne derece mümkün olduğu incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda betonda polipropilen lif kullanılmasıyla işlenebilirliğin olumsuz etkilendiği belirlenmiş , bu nedenle kullanılan katkı miktarı lif miktarına bağlı olarak arttırılarak bütün numunelerde 60-70 cm arası yayılma değeri elde edilmiştir. L-kutusu ve U-kutusu deneylerinde ise her üç seride üretilen betonlarda hacimce %3.68 (3.5 kg/m³) lif kullanılması durumunda işlenebilirliğin korunduğu , bu değerden daha yüksek miktarda lif kullanılması ile betonun kendiliğinden yerleşen 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 bunun yanında bütün serilerde hacimce % 7.37 (7.0 kg/m³) lif kullanılmasının eğilme mukavemetini ortalama %20 arttırarak betona daha sünek bir yapı kazandırdığı görülmüştür.

EFFECT OF USING POLYPROPYLENE FIBERS IN SELF COMPACTING CONCRETE ON ITS WORKABILITY

SUMMARY

Self compacting concrete (SCC) as a special concrete can be regarded as a high performance concrete due to its workability characteristics, strength and durability properties. Polypropylene fibers ,that can be especially used to prevent the microcracks occurred due to shrinkage so that decrease the durability of concrete , can effect the workability of concrete is unavoidable.

In this work three different concrete mixtures having the same volumetric water/binder ratio of 0,47 were produced to investigate the effect of polypropylene fibers on the workability of SCC. Three different polycarboxylate based new generation plasticizers were used four different mixtures were produced in every series. The content of the fibers are 0, 3.5, 5.0, 7.0 kg/m³.

Experiments have shown that using polypropylene fibers effect the workability negatively so that increasing the ratio of plasticizer , in every mixture 60-70 cm. slump flow volue can be reached.

On L-Box and U-Box tests shown that maximum 3,5 kg/m³ polypropylene fibers can be used in order to protect the workability but over this value the property of “self compacting” can be effected negatively. Hardened concrete tests shown that polypropylene fibers don’t effect so much the mechanical properties of the concrete but it can be seen that as the fiber volume increases the flexual strenght of concrete is increased at %20.

1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen betonlar yüksek işlenebilirlikleri sayesinde herhangi bir vibrasyon gerektirmeksizin kendi ağırlığı ile istenilen yere boşluksuz yerleşebilen, bu işlem sırasında ve sonrasında terleme ve segregasyon gibi problemlere neden olmayan betonlardır. İlk olarak 1980'lerin sonuna doğru Japonya'da H.Okamura tarafından geliştirilmiştir [1]. Vibrasyon gerektirmediği için gürültü kirliliğinin ortadan kaldırılması, işçiliğin azaltılması, daha hızlı üretime olanak sağlamasının yanında iri agrega hacminin sınırlandırılması, en büyük agrega dane boyutunun azaltılması ve etkin bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmasıyla akıcılık kazanıp sık donatılar arasından geçerek dar kesitlerde çalışma imkanı ve istenilen kalıpta boşluksuz beton üretimi sağlamaktadır [2]. Sınırlandırılmış iri agrega miktarı, azaltılmış en büyük agrega dane çapı, mikrofiller kullanılarak arttırılmış toplam ince malzeme miktarı, viskozite arttırıcı katkı kullanılarak arttırılmış segregasyon direnci KYB'ların bileşim özellikleridir. Bileşimlerinde kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkı ile düşük su/çimento oranında hem yüksek dayanıma hem de üstün durabiliteye sahip olması nedeniyle KYB'lar yüksek performanslı betonlar sınıfına girebilmektedir [3,4].

1980'lerden itibaren polimer esaslı, 1990'lardan itibaren de polikarboksilat eter esaslı süperakışkanlaştırıcıların geliştirilmesi ile KYB özelliğinin temelini oluşturan düşük su/bağlayıcı oranında yüksek işlenebilirlikte beton üretmek mümkün olması ile KYB üretiminde büyük gelişme sağlanmıştır. Yeni nesil süperakışkanlaştırıcı olarak adlandırılan bu katkılar geleneksel süperakışkanlaştırıcıların elektrostatik etkisinin yanında uzun polimer zincirleri ile sterik etki de yaratarak çimento tanelerini birbirinden ayırıp betonda işlenebilirliği arttırmaktadır [2]. KYB'larda yüksek işlenebilirlik süperakışkanlaştırıcılarla sağlanırken ayrılmaya (segregasyona) karşı direnç sağlamak ve betonun kararlılığını (stabilitesini) korumak amacıyla viskozite arttırıcı katkı kullanımı ve/veya ince malzeme miktarını arttırılması uygulanan yöntemlerdir. İnce malzeme 0,125 mm den küçük dane çaplı malzeme olarak tanımlanır ve çimento, kırma kum, tabii kum ve bunun yanında mikrofiller malzemeler bu tanıma girer. Mikrofiller malzeme olarak genelde uçucu kül, silis

dumanı tercih edilir. Böylece iri agregalar arası mesafe doldurularak içsel sürtünmeler azaltılıp betonun akıcılığının artmasıyla reolojik özellikler olumlu yönde etkilenmektedir [2,3]

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 da bilinmektedir [5]. KYB’larda 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 rötre çatlaklarına 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 sağlar [6].

Polipropilen lif takviyeli KYB’ların işlenebilirliği lif uzunluğuna ve miktarına bağlı olmakla beraber kullanılan katkı miktarı ile kontrol edilerek istenilen düzeyde tutulabilir. Bu tez çalışması kapsamında kendiliğinden yerleşen lifli betonların işlenebilirliklerini araştırmak amacıyla sabit 0,47 su/bağlayıcı oranına sahip, farklı üç firmanın üretimi olan 3 farklı polikarboksilat eter esaslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcısı kullanılarak 3 seri beton üretilmiştir. Her seride kullanılan polipropilen lif miktarları 0, 3.5, 5, 7 kg/m³ olarak belirlenerek her seriden 4 farklı karışım yapılmıştır. Ön üretimler sonucu lif oranı arttıkça kullanılan süperakışkanlaştırıcının hangi oranda artacağı tesbit edilmiş ve bu dizayna göre üretime geçilmiştir. Bağlayıcı olarak çimentoya hacimce ikame edilen 150 kg/m³ miktarında uçucu kül kullanılmıştır. İstenilen yayılma değerini sağlayan numuneler üzerinde KYB özelliklerini belirlemek amacıyla taze beton deneyleri yapılmış ve betonda polipropilen kullanılmasıyla işlenebilirliğin ne seviyede etkilendiği incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

2.1. KYB'nun Genel Özellikleri

Kendilinden yerleşen betonlar; süperakışkanlaştırıcı kullanılması ile düşük su/bağlayıcı oranda yüksek işlenebilirliğe sahip olup vibrasyon gerektirmeden kendi ağırlığı ile istenilen yere boşluksuz yerleşebilen betonlardır. Yerleşme sırasında da yeterli viskozitesi ile ayrışma (segregasyon) ve terleme gibi olumsuzluklar göstermemesi ile özel beton sınıfına girerler. İlk olarak 1988 yılında Japonya'da kalıcı betonarme yapılarda kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir.

Japonya'da 1983 yılından itibaren betonarme yapılarda durabilite probleminin büyük önem kazanmasıyla birlikte mevcut sistem gözden geçirilmeye başlanmış. Betonun dökümü sırasında yeterli sıkıştırmanın yapılarak boşluksuz beton üretmek durabilite için en önemli unsur olduğu bilinmektedir. Fakat mevcut inşaat sektöründe taze betonun sıkıştırılması için gerekli kalifiye işçinin yetersizliği beton kalitesinde de azalmaya yol açtığı görülmüştür. Bu nedenle durabiliteyi artırmak ve yapı kalitesini yükseltmek için bazı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İlk başta yeni bir beton üretilmesinin kolay olacağı düşünülmekteydi çünkü istenilen performansı gösterebilen su altı betonları kullanılmaktaydı ve bu betonlarda ayrışma (segregasyon) suda çözünebilen polimer esaslı katkıların kullanılmasıyla engellenmekteydi . Bunun yanında su altı betonlarının yüksek viskozitelerinin betonda büyük miktarda hava balonları içermesi ve sık donatılı yapı elemanlarındaki sıkıştırma problemi bu betonların hava ile temas halinde olan yapılarda kullanılmasını engellemekteydi. Bu nedenle betonun işlenebilirliğini incelemek amacıyla yapılan deneylerde betonun dar kesitlerden akışı sırasında iri agregaların birbiriyle teması sonucu tıkanmanın olduğu ve iri agregalar arasındaki bağıl konumun değişmesiyle de basınç gerilmesinin yanında kayma gerilmelerinin de olduğu gözlemlenmiştir. Kayma gerilmelerinin betonun su/çimento oranına önemli derecede bağlı olduğu önceki deneysel verilerden bilindiğinden, kayma gerilmelerinin azaltılması için su/çimento oranının optimum değerinin belirlenmesi

ve viskozitede uygun bir azalma sağlayıp işlenebilirliği arttırmak amacıyla süperakışkanlaştırıcıların kullanılması öngörülmüştür. Bununla beraber

betonun akışı sırasında dar kesitlerde oluşan blokaj problemi iri agregaların birbirleriyle temasından kaynaklandığı bilindiğinden bunu önlemek amacıyla iri agreganın toplam katı hacme olan oranının azaltılması ve hamurun deformasyonunu azaltan ince agrega miktarının kısıtlanması gerektiği anlaşılmıştır. Bütün bu çalışmalar ışığında sıkıştırma enerjisine ihtiyaç duyulmadan kendi ağırlığı ile sıkışarak kalıba boşluksuz yerleşebilecek işlenebilirliği yüksek KYB üretiminde önemli mesafeler alınarak üretim ve denetim teknikleri geliştirilmiştir. [1]

KYB'lar Japonya'da 1998 yılına kadar ülkenin yıllık beton üretiminin ancak %1'ini oluşturmaktaydı. Bunun nedeni o yıllarda KYB'nun üretim ve işletim teknolojisinin henüz istenilen düzeyde olamaması, karışım dizaynı ve üretimde yeterli deneyime sahip teknik personelin eksikliği, KYB üzerinde işlenebilirlik, rötire ve durabilite konularında yeterli çalışmanın yapılamamış olması ve maliyetinin geleneksel beton maliyetinin 1,5-2 katına ulaşması olarak sıralanabilir. [7] Günümüzde ise bu konularda yapılan araştırmaların ve çalışmaların ışığında KYB üretimi ve kullanımında büyük gelişmeler görülmektedir.

2.1.1. KYB'nun Karışım Dizaynı

KYB'lar gerek karışım dizaynı, gerek yerinde dökümü sırasındaki işlemler gerekse de kullanım alanı bakımından geleneksel betondan farklı olup özel bilgi ve deneyim gerektirse de beton bileşenleri açısından genel olarak çok büyük bir farklılık göstermemektedir. KYB tasarımı ana unsur bu bileşenlerin kullanım oranları olup buna yönelik geliştirilen farklı yaklaşımların temelinde iri agreganın hacminin sınırlandırılması, süperakışkanlaştırıcı kullanılması ile harç özelliklerinin değiştirilmesi vardır. Okamura ve Ozawa (1995) tarafından geliştirilen KYB tasarımı iri agrega miktarı toplam katı hacmin %50'sini, ince agrega miktarı da harç fazının %40'ı kadar olması gerektiği öngörülmüştür. 90µ dan büyük taneler ince agrega olup bu değerden küçük taneler toz olarak tanımlanmış ve çimento, silis dumanı, uçucu kül de bu isim altında toplanmıştır. Buna göre su/toz oranının, tozun özelliğine de bağlı olarak, hacimce 0,9-1,0 arasında olması KYB'da istenilen işlenebilirliği sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Katkı miktarı ise harçlar üzerinde yapılan yayılma ve V hunisi testleri ile belirlenip minimum 650 mm lik çökme yayılma değeri ve 10-20sn arasında V-hunisi akış zamanına sahip betonlar KYB

olarak tanımlanmıştır. Domone ve arkadaşlarının (1999) optimum karışım dizaynı için matematiksel yaklaşımlarının temelinde Ozawa ve Okamura (1995) nın geliştirdiği metod bulunmaktaydı. Su miktarı maksimum 200kg/m³ olarak alınıp su/toz oranı 0,5 e kadar kullanılabilen bir karışım dizaynı geliştirmişlerdir [2,3]. Japon Hazır Beton Birliği tarafından yayınlanan [8] kendiliğinden yerleşen betonlar için standartlaştırılmış karışım dizaynında toz miktarı arttırılmış ve su/bağlayıcı oranı 0,3 de sınırlandırılmıştır. İri agrega hacmi ise toplam hacmin %30'una kadar olması durumunda KYB'da istenilen işlenebilirliğin elde edilebileceği belirtilmiştir. LCPC (Laboratory Central Des Ponts et Chausses) KYB'nun reolojisi üzerine araştırmalar yapıp bununla ilgili yazılım geliştirmiştir. CBI 'nin (İsviçre Çimento ve Beton Araştırma Enstitüsü) yaklaşımı da KYB'nin geçiş yeteneği üzerine olup blokaj problemi üzerine çalışmalar yapılmıştır. [9] . Avrupada birçok şirketin üyesi olduğu yapı kimyasalları ve beton sistemleri üzerine kurulmuş olan EFNARC 2002 yılında KYB için yayınladığı “Specification and Guidelines for SCC” [10] KYB için geliştirdiği karışım dizaynında 0,125 mm altı toplam ince malzeme miktarı 400-600 kg/m³, su miktarı da maksimum 200 kg/m³ alınarak su/toz oranı hacimce 0,8-1,0 de tutulup, 4mm altı ince agrega miktarının harç hacminin minimum %40'ı , iri agraga miktarının da toplam birim ağırlığın %50 si ile sınırlandırılması gerektiği bildirilmiştir.

2.1.2 KYB' nun Taze Haldeki Özellikleri:

Kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirliğinin sağlanması 3 parametreye bağlı olup ancak bu üç özelliğin bir arada olduğu betonlar KYB olarak adlandırılabilir: doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç yeteneği ve geçiş yeteneği.[10]

2.1.2.1 Doldurma Yeteneği

KYB'nun kendi ağırlığı altında şekil değiştirip istenilen kalıba vibrasyona gerek duyulmadan boşluksuz yerleşebilmesi çimento hamurunun deformasyon (akış) yeteneğine ve taneler arası sürtünmeye bağlı olup doldurma yeteneğini tanımlayan unsurlardır. İri agrega hacmini düşürüp kullanılan çimentoya da bağlı olarak optimum gradasyonun geliştirilmesiyle taneler arası sürtünme azaltılabilirken su/bağlayıcı oranı dengelenip süperakışkanlaştırıcı kullanılmasıyla da çimento hamuru fazının deformasyon yeteneği arttırılabilir. Yayılma deneyi ile ölçülen

yayılma çapı ve bu çapa ulaşması için geçen süre ile doldurma yeteneği olarak değerlendirilir. [10,11]

2.1.2.2 Ayırmaya Karşı Direnç

Betonun gerek durağan gerekse de akış halinde görülebilen terleme, çimento hamuru fazı ile agrega ayrışması, kaba agreganın ayrışarak blokaja neden olması, hava boşluğundaki dağılımındaki düzensizlik gibi problemler bileşenlerin düzensiz bir şekilde dağılıp segregasyon oluşumuna neden olurlar. Süperakışkanlaştırıcılar ve vizkozite düzenleyici katkı kullanılarak su/bağlayıcı oranı azaltılıp terlemenin minimuma indirilmesi segregasyonun önlenmesinde birinci yöntemken, iri agrega hacminin sınırlandırılması ve en büyük agrega tane çapının düşürülmesiyle katı maddelerin ayrışmasını azaltmak da diğer bir yöntemdir. V-hunisi deneyi ile ölçülen T5 dakika sonrası akış süresi ve GTM deneyleri ile KYB'nun segregasyon direnci değerlendirilir. [10,11]

2.1.2.3 Geçiş Yeteneği

KYB'nin dar kesitlerden ve sık donatılar arasından geçebilmesi için doldurma ve ayırmaya karşı direnç özelliklerinin yanında geçiş yeteneğinin de incelenmesi ve geliştirilmesi gereklidir. İri agrega hacmi ve en büyük agrega tane çapı azaltılarak kullanımını sınırlandırmanın yanında su/bağlayıcı oranını düşürüp viskozite arttırıcı katkı kullanılarak kohezyon artışı sağlamak da agrega ayrışmasını azaltıp blokajlanmayı önleyeceğinden geçiş yeteneğinin artmasını sağlamaktır. L-Kutusu, U-kutusu, doldurma kutusu ve J-halkası deneyleri uygulanarak KYB'nun geçiş yeteneği değerlendirilir[10,11]. Tablo 2.1'de KYB'nun taze haldeki özelliklerini belirlemede uygulanan deney metodları ve bunlar için kabul edilen sınır değerler verilmiştir:

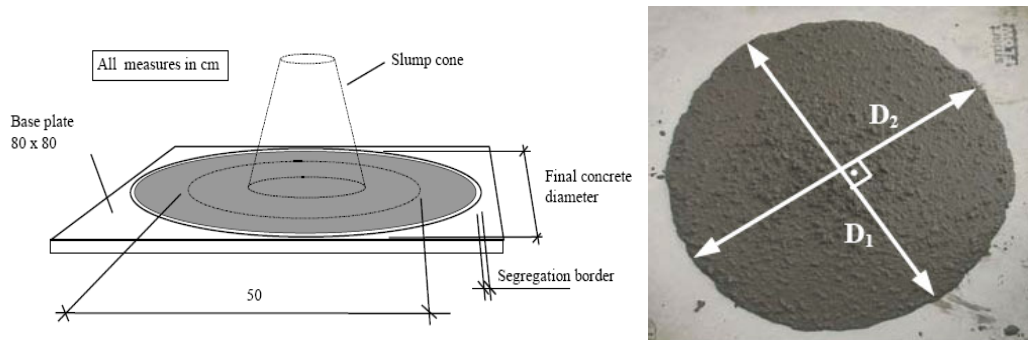
Tablo 2.1: KYB'nin işlenebilirliğini belirleyen deney metodları [10]

	Deney Metodu	Özellik	Birim	Değerler	
				maximum	minimum
1	Yayılma Tablası	Doldurma Yeteneği	mm	650	800
2	T50 yayılma süresi	Doldurma Yeteneği	sn	2	5
3	V – Hunisi	Doldurma Yeteneği	sn	6	12
4	V-Hunisi T5 dak.	Segregasyon Direnci	sn	0	3
5	L-Kutusu	Geçiş Yeteneği	h_2 / h_1	0,8	1
6	U-Kutusu	Geçiş Yeteneği	(h_2-h_1) mm	0	30
7	Doldurma Kutusu	Geçiş Yeteneği	%	90	100
8	J Halkası	Geçiş Yeteneği	mm	0	10

2.1.3 KYB’larda Deney Metodları

2.1.3.1 Serbest Yayılma Deneyi

İlk defa Japonya’da su altı betonlarının incelenmesi amacıyla geliştirilen bu yöntem daha sonra yüksek akışkanlı betonlarda ve kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılmaya başlanmıştır. Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini yani doldurma yeteneğini ölçmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Çok yaygın olarak kullanılan bu deney yönteminde betonun hiçbir engel olmadan, serbest olarak, kendi ağırlığı ile bir koniden akarak yayılma tablası üzerinde serbest yayılması sağlanır. 100*100 cm boyutlarındaki yayılma tablası düz bir zemine yerleştirilip yüzeyi nemlendirilir. Boyutları; üst çap 10cm, alt çap 20cm, yükseklik 30cm olan kesik koni tablanın merkezine yerleştirilerek yaklaşık 6 lt betonla şişleme yapılmadan doldurulur. Huni dik olarak çekilerek betonun önceden tabla üzerine çizilen 50cm çaplı daireye yayılması için geçen süre ölçülür. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yöndeki çap ölçülerek ortalaması alınır. Çökme-yayılma değeri olarak adlandırılan bu değer yüksek olmasıyla betonun akıcılığının dolayısıyla doldurma yeteneğinin iyi olduğu sonucuna varılır. Kendiliğinden yerleşen beton için sınır değer 65-80cm olarak belirlense de bazı araştırmalarda [12] min 60cm’e kadar yayılma gösteren betonun kendiliğinden yerleşen beton özelliği gösterebileceği bildirilmiştir. Akıcılığın diğer bir değerlendirme parametresi olan T_{50} süresi ise akıcılık ile ters orantılıdır. Bu süre ne kadar az ise akıcılık o kadar fazladır. T_{50} süresi için sınır değer 2-5sn olarak kabul edilmektedir. Bu deney yöntemi betonun hiçbir engel bulunmayan bir ortamdaki akıcılık özelliği hakkında fikir verir. Buna karşılık donatıların var olduğu bir ortamda betonun tıkanma olmadan donatıların arasından geçebilme yeteneği ile ilgili bilgi edilemez. Yine de segregasyon direnci gözlemlenebilir. Şekil 2.1 de serbest yayılma deney düzeneği görülmektedir. [10,13]

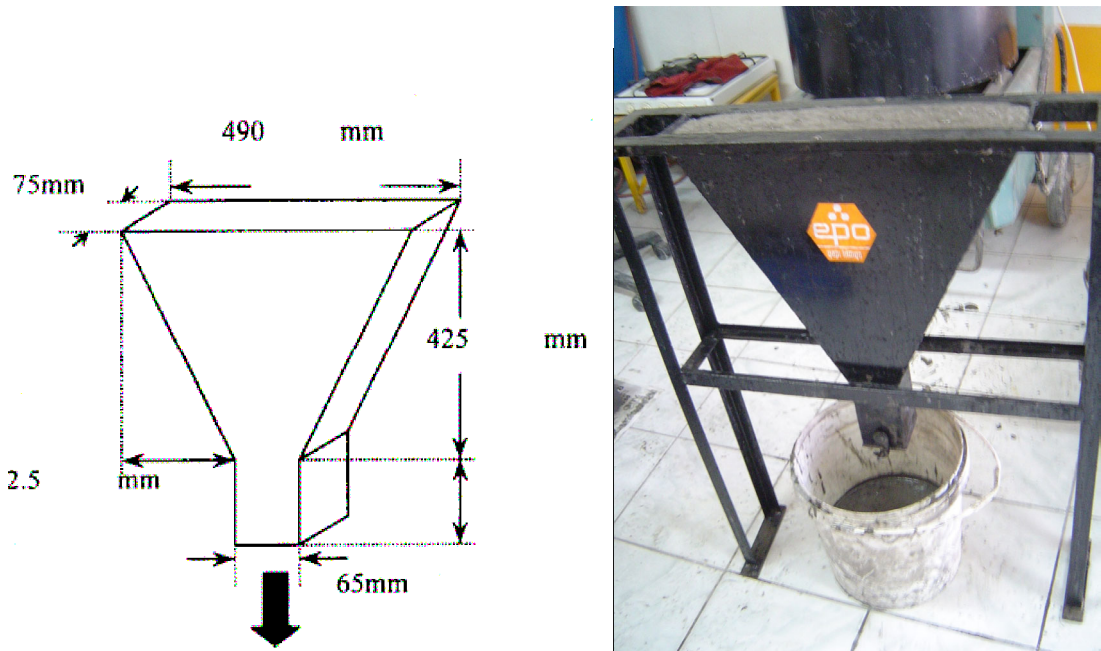


Şekil 2.1: Serbest Yayılma Testi Deney Düzeneği [12]

2.1.3.2 V-Hunisi deneyi

Japonya’da geliştirilen ve Ozawa tarafından kullanılan bu deney yöntemi betonun viskozitesini ve geçiş yeteneğini ölçmek amacıyla yüksek akışkanlı betonlar, su altı betonları ve kendiliğinden yerleşen betonlar için uygulanmaktadır.

En büyük agrega tane çapı 20mm’nin altında olan betonlar için uygulanan bu deneyde betonun dar bir kesitten kendi ağırlığı ile akışı sağlanarak geçiş yeteneği incelenir. Boyutları Şekil 2.2’de görülen V şeklindeki huninin iç yüzeyi nemlendirildikten sonra en altta bulunan kapak kapatılır. Yaklaşık 12 lt hacmindeki huni üst yüzeyine kadar şişleme yapılmadan betonla doldurulur. Yerleşmesi için 10sn kadar beklendikten sonra alt kapağın açılmasıyla süre başlatılır. Akışın tamamen bitimine kadar geçen süre ölçülür. Bitiş anı üstten bakıldığında alttan ışık geçmeye başladığı andır. Deney kullanılan betonla 5 dakika sonra huninin yüzeyi temizlenmeden tekrar uygulanır ve süre ölçülür. Kendiliğinden yerleşen beton için yaklaşık 10sn olması beklenen akış süresinin azalması betonun yüksek akışkanlıkta olduğunu gösterir. 5 dakika beklendikten sonra betonda oluşabilecek segregasyon akışın homojenliğini bozup akış süresinin artmasına neden olabilir. İki değer arasındaki fark segregasyon direnci hakkında fikir verebilir [10,13]. Şekil 2.2’de V-hunisi deney düzeneği görülmektedir .

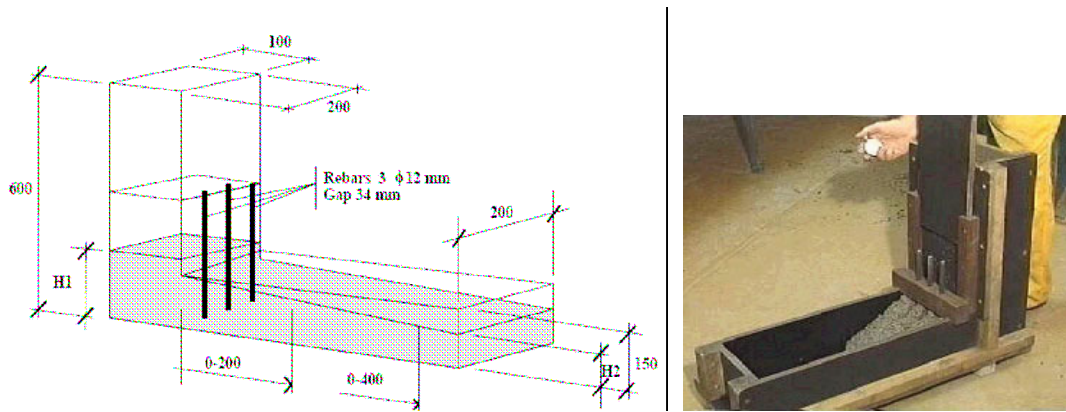


Şekil 2.2: V-Hunisi Testi Deney Düzeneği [13]

2.1.3.3 L- Kutusu deneyi

İlk olarak Japonya’da M.Sonebi tarafından L-Flow ismiyle su altı betonlarında kullanılan bu deney yöntemi daha sonra Ö.Petersson tarafından geliştirilmiş ve Fransa’da kendiliğinden yerleşen beton ön çalışmalarında önerilmiştir.

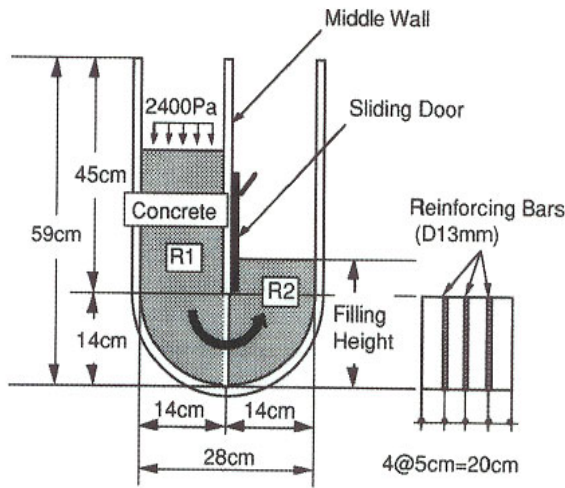
Kendiliğinden yerleşen betonun akıcılığının ve donatılar arasından geçiş yeteneğinin belirlenmesi amacıyla uygulanan bu yöntemle betonun tıkanma riski değerlendirilir. Deney düzeneği olarak yatay ve dikey hazneden oluşan, Şekil 2.2’de ölçüleri verilen, ahşap ya da çelikten yapılabilen L şeklindeki kutu kullanılır. Dikey hazne ile yatay hazne birbirinden dik yönde yerleştirilmiş 3 adet 12 mm çaplı donatı ile ayrılır. Ayrıca dikey haznenin sonunda bir de kapak bulunmaktadır. Düzeneğin iç yüzeyi nemlendirilip ara kapak kapatıldıktan sonra dikey hazne yaklaşık 13 lt betonla, şişleme yapılmadan, doldurulur. 1 dakika beklenip betonun yerleşmesi sağlandıktan sonra ara kapak kaldırılarak betonun donatılar arasından geçip yatay hazneye dolması sağlanır. Deneye başlamadan önce yatay hazne üzerinde kapaktan itibaren 200 mm ve 400 mm lik mesafeler işaretlenir. Kapağın kaldırılmasıyla süre başlatılır ve betonun bu mesafelere kadar ulaşma süreleri ölçülür. Akış tamamlandıktan sonra düzeneğin her iki ucundaki beton seviyeleri ölçülerek birbirine oranlanır. Bu değer “bloklanma oranı” olarak adlandırılır ve KYB'nin akıcılık ve geçiş yeteneğinin bir ölçüsü olup min 0,8 olarak kabul edilir. T₂₀ VE T₄₀ süreleri betonun akış özelliği ile ilgili bilgi verirken sınır değerler konusunda bir kabul henüz yoktur. Bu deneyle; betonun donatılar arasından geçiş durumuna göre tıkanma olasılığı, iri agreganın hazne boyunca ilerleme durumuna göre de segregasyon direnci hakkında bilgi elde edinilir [10,13]. Şekil 2.3’ de L-Kutusu deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 2.3: L-Kutusu Testi Deney Düzeneği [12]

2.1.3.4 U-Kutusu deneyi

Japonya'daki Taisei Şirketi Teknoloji Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen bu deney yöntemi su altı betonlarında, max agrega tane çapı 25mm 'nin altında olan betonlarda ve kendiliğinden yerleşen betonlarda uygulanmaktadır. KYB'nun doldurma kapasitesini ve akış yeteneğinin incelenmesi amacıyla uygulanmaktadır. U şeklindeki deney aletinin orta kısmında düzeneği iki hazneye ayıran ama tabana kadar inmeyen bir orta duvar bulunmaktadır. Bu duvar ile düzeneğin tabanı arasında düşey yönde 13 mm çaplı 35 mm net açıklıklı donatılar ve bu donatıların önünde de kayıcı bir kapak bulunmaktadır. Deney düzeneğinin iç yüzeyi nemlendirilip kayıcı kapak kapatılır ve birinci hazne yaklaşık 20 lt betonla, şişleme yapılmadan, doldurulur. Yerleşmesi için 1 dakika beklenip ara kapak kaldırılarak betonun donatılar arasından geçip ikinci hazneye dolması sağlanır. Akış tamamlandıktan sonra her iki haznedeki beton seviyeleri ölçülerek aralarındaki fark hesaplanır. Doldurma yüksekliği denilen bu değer KYB için max 30mm olarak kabul edilir. Bundan daha düşük değerlerde betonun donatılar arasından geçiş ve doldurma yeteneğinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılır [10,13]. Şekil 2.4' de U –kutusuu deney düzeneği görülmektedir.



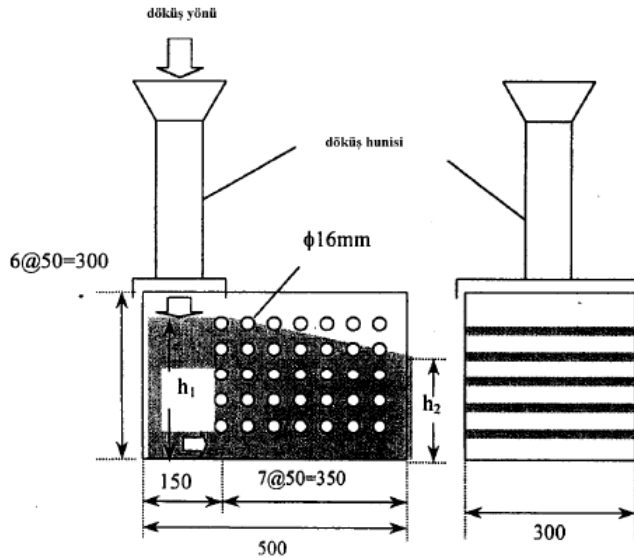
Şekil 2.4: U-Kutusu Testi Deney Düzeneği [13]

2.1.3.5 Doldurma kutusu deneyi

Simule edilmiş doldurma testi olarak da adlandırılan bu deney yöntemi Japonya’da Ozawa tarafından geliştirilmiştir. Yüksek akışkanlı betonlar su altı betonları ve kendiliğinden yerleşen betonlarda betonun kendi ağırlığı ile donatılar arasından geçerek akış hareketinin gözlemlenip geçiş yeteneğinin ölçülmesi amacıyla uygulanmaktadır. Düşeyde 5, yatayda 7 adet olmak üzere toplam 35 adet 20mm çaplı donatıdan oluşan sistemde deney düzeneğinin yüzeyleri şeffaf bir malzemedendir yapılmış olup betonun akış hareketi gözlemlenebilmektedir. Hazneye bir ucundaki 500 mm yükseklikteki borudan belirli bir hız ile (5 saniyede 1,5-2 lt) doldurulan betonun donatılar arasından akışı sağlanır. Akış tamamlandıktan sonra haznenin karşılıklı iki ucundaki beton seviyesi üç noktadan ölçülerek ortalaması alınır. Bu iki değer kullanılarak “doldurma oranı” hesaplanır:

$$F(\%) = (h_1 + h_2) \times \frac{350}{2} / (h_1 \times 350) \times 100 = \frac{h_1 + h_2}{2h_1} \times 100 \quad (2.1)$$

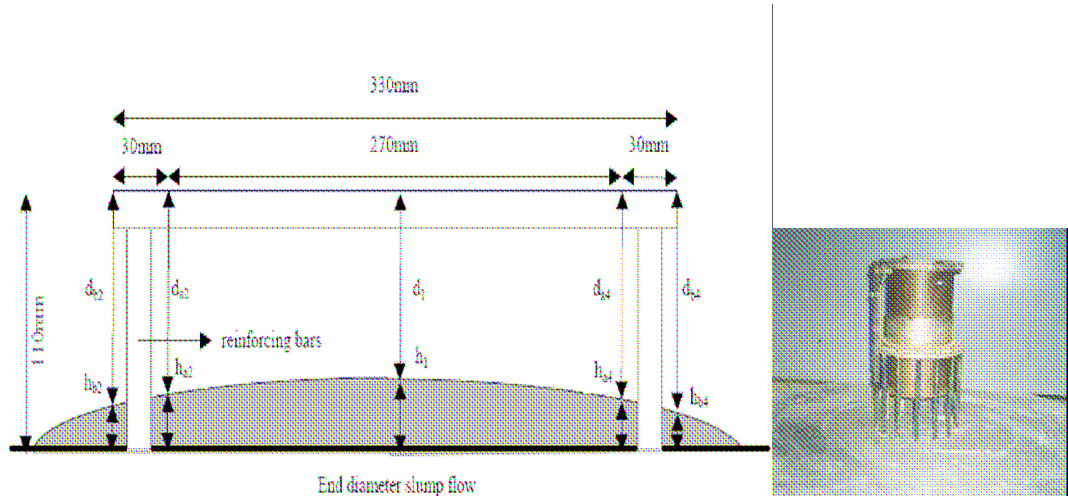
KYB için min. %90 olarak kabul edilen bu değer in büyüklüğü betonun doldurma yeteneğinin yüksek olduğunu gösterir [10,13] . Şekil 2.5’ de doldurma kutusu deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 2.5: Doldurma Kutusu Testi Deney Düzeneği [13]

2.1.3.6 J- Halkası deneyi

Kaynağı tam olarak bilinmesede Japon kökenli olan J- Halkası deneyi Paisley Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Abrahams konisi, yayılma tablası ve belli aralıkta yerleştirilmiş donatılardan oluşan deney düzeneği ile betonun geçiş yeteneğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. 300 mm çaplı halkanın üzerine boyları 100mm olan çapı ve açıklığı beton özelliğine göre değişebilen düşey yönde yerleştirilmiş donatılar bulunmaktadır. Gerçek donatı ile karşılaştırma yapmak amacıyla açıklık max agrega çapının 3 katı olarak alınabilir. Deney aletlerinin yüzeyleri nemlendirilir. Düz bir zemine oturtulan yayılma tablasının ortasına J –halkası yerleştirilip içerisine Abrahams konisi konulur. Koni üst yüzeyine kadar şişleme yapılmadan betonla doldurulduktan sonra sabit bir hızla dikey olarak çekilir ve betonun tabla üzerinde donatılar arasından geçerek yayılması sağlanır. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yöndeki yayılma çapları ölçülerek ortalaması alınır. Donatılar arasından geçemeyip blok halinde kalan beton yayılma değerini doğrudan etkiler . Bununla beraber halkanın hemen dışındaki ve içindeki beton seviyeleri 4 farklı noktadan ölçülüp seviye farkı hesaplanır. KYB için max 10 mm olarak kabul edilen bu fark betonun donatılar arasından geçebilme yeteneği hakkında bilgi verir [10,13]. Şekil 2.6’ da J halkası deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.6: J-Halkası Testi Deney Düzeneği [12]

2.2 KYB’da Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımı

Betonun üç temel özelliği olan dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik özelliğinin diğerlerine kıyasla daha yüksek olduğu yüksek performanslı betonlarda ana hedef su/çimento oranını olabildiğince düşük tutarak ayrışma ve boşluk olmadan yerleşme yeteneğini arttırmaktır. Klasik beton teknolojisinde kullanılan akışkanlaştırıcıların temel görevi su/çimento oranını değiştirmeden işlenebilirliği arttırmak olduğundan, düşük su/çimento oranında yüksek işlenebilirlik sağlamak, ancak yüksek oranda su azaltıcıların (süperakışkanlaştırıcıların) bulunması ve gelişmesiyle sağlanmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkıların betonda akıcılık kazandırma etkisi normal akışkanlaştırıcılar ile benzer özellik göstermekle beraber kimyasal yapıları ve polimer moleküllerinin çimento taneleri üzerinde yapışıp parçacıkların elektrostatik yüklerini değiştirmesi bakımından farklılık göstermektedir [14,15].

Süperakışkanlaştırıcılar kimyasal yapılarına göre üç farklı sınıfa ayrılırlar [14]:

- 1-) Sülfone edilmiş sentetik polimer
- 2-) Karboksile edilmiş sentetik polimer
- 3-) Karma işlevli sentetik polimer

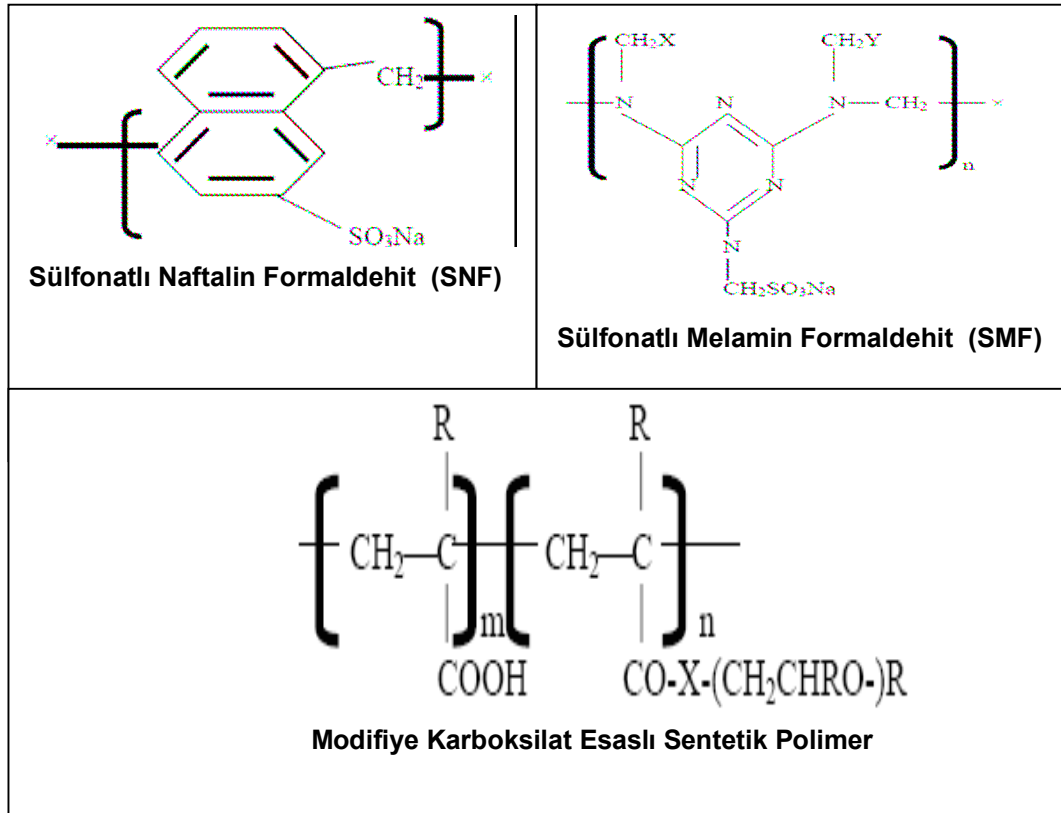
Sülfone edilmiş sentetikler sülfonatlı naftalin formaldehit (SNF) veya sülfonatlı melamin formaldehit (SMF) den oluşmuş olup süperakışkanlaştırıcıların temelini oluştururlar. İkinci grup olan karboksilatlı sentetik polimerler ise polikarboksilat ve poliakrilatlardan oluşur. Aminosülfatlar ve modifiye edilmiş linyosülfatların örnek olarak gösterilebileceği üçüncü grup süperakışkanlaştırıcılar kimyasal yapılarında farklı anodik ve kutupsal fonksiyon gruplarına sahiptir.

Süperakışkanlaştırıcı katkıların özelliği yüksek oranda dağıtıcılık (dispersiyon) özellikleri ile çimento taneciklerini birbirinden uzaklaştırmasıdır. Dağılma, süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin bağlayıcı tanecikler tarafından absorbe edilmesi sonucu oluşur. Dispersiyon olayı farklı teorilerle açıklanmıştır.

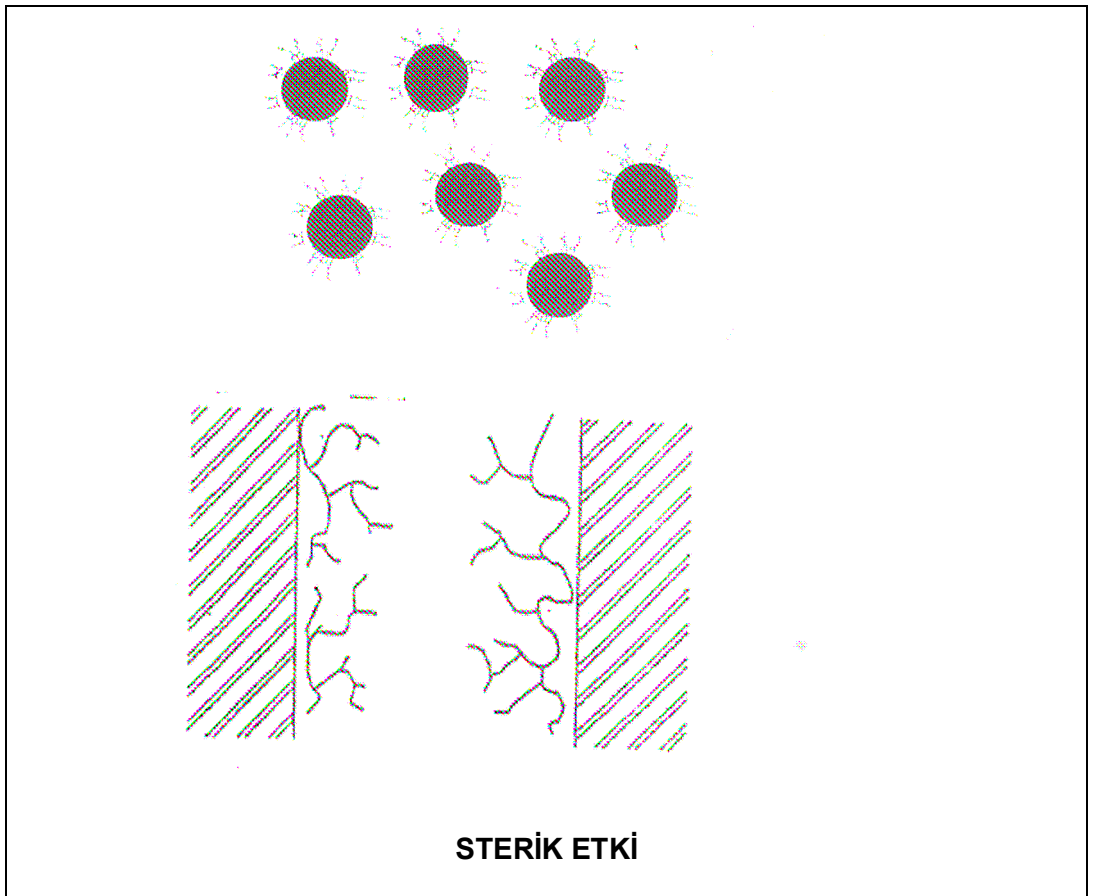
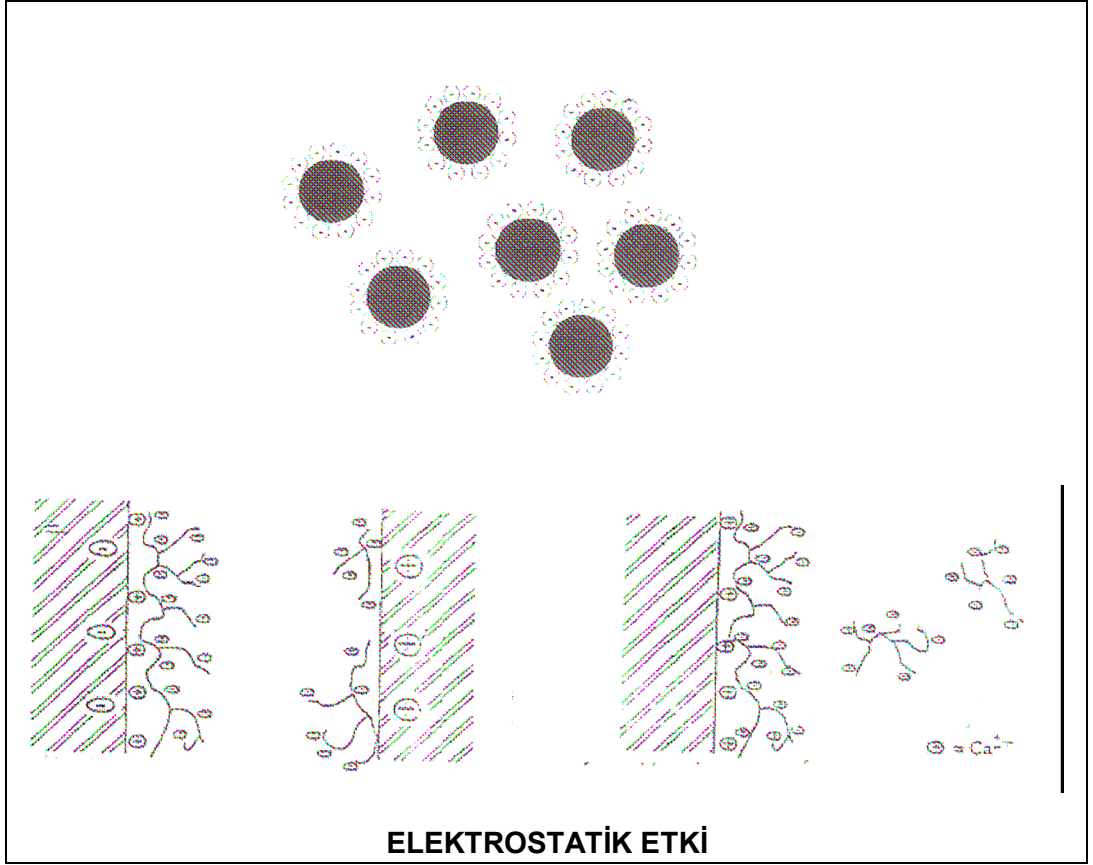
- a) DLVO (Derjaguin, Landau, Verweck, Overbeck) liyofobik kolloid teorisi
- b) Sterik etki teorisi

Çimento taneleri su ile temas edip çözünmeye başlayınca ortama Ca^{++} iyonları verir. Çimento tane yüzeyinde artan Ca^{++} iyonu konsantrasyonu, absorbe edilen akışkanlaştırıcının polimer moleküllerinin tane yüzeylerine yapışmasını sağlar. [16] Böylece negatif yükle yüklenen çimento taneleri arasında elektrostatik bir itme

oluşur ve dispersiyon gerçekleşir. Birinci teoriye göre gerçekleşen bu elektrostatik itme, geleneksel sülfonatlı naftalin formaldehit (SNF) ve sülfonatlı melamin formaldehit (SMF) polimerler için geçerli olup polikarboksilat kökenli katkılarda buna ilave olarak sterik etki de söz konusudur. Bu ikinci teoriye göre polikarboksilatların uzun ana molekülleri polietilen ya da polieter yan bağlardan daha geniş bir hacim kaplamakta ve bu sayede çimento taneleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir yapı oluşturmaktadır. Böylece elektrostatik etkiyle beraber sterik etki ile dağılan çimento taneleri kararlı hale gelerek daha etkin bir hidratasyona olanak sağlarlar. Daha yüksek oranda su kesme özelliği kazanan betonda içsel sürtünmeleri azalmasıyla, kayma gerilmesi ve viskozite de azalır. Böylece uzun süre en küçük detaylara kadar ayrışma göstermeden ve vibrasyon gerektirmeden kendiliğinden yerleşebilen betonlar üretilmektedir [14,15,16]. Süperakışkanlaştırıcı katkıların moleküler yapıları Şekil 2.7’ de, etki mekanizmaları ise Şekil 2.8’ de görülmektedir.



Şekil 2.7: Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Moleküller Yapıları [17]



Şekil 2.8: Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizmaları [14]

KYB üretiminde; yüksek akışkanlık, yüksek ayrışma direnci gösterip betonun kararlılığını koruyarak işlenebilirliğinin uzun süre devam etmesini sağlamak büyük ölçüde kullanılan bu polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcı katkıya bağlıdır. Polikarboksilatlar kendi aralarında su kesme ve işlenebilirliği korumak bakımından farklılık gösterirler. Bunun temel nedeni katkı üretiminde kullanılan hammadde farkı, katı madde oranı, molekülü oluşturan ana zincir ve yan zincirin kimyasal yapısı ve molekül ağırlığı gibi faktörlerdir. Yapılan çalışmada [18] polikarboksilatların farklı kimyasal yapıları nedeniyle betonda işlenebilirliği koruma özelliklerinin değişim gösterdiği görülmüştür. Bir diğer çalışmada [4] da taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından katkının çimento ile etkileşiminin önemli olduğu, bunun için uygulamadan önce çimento-katkı uyum deneylerinin yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. KYB katkısı olan polikarboksilatlar, portlant çimentosu, doğal puzzolan katkılı çimento ve portlant kompoze çimento ile iyi bir uyum sağladığı fakat traslı çimento ve puzzolonik çimento ile uyumsuzluk gösterdiği yapılan bir başka çalışmada görülmüştür [19].

2.2.1 Vizkozite Arttırıcı Katkı Etkisi

Yüksek oranda su azaltan süperakışkanlaştırıcı katkıların dağıtma (dispersiyon) gücünün çok yüksek olması betonda plastik viskoziteyi düşürüp segregasyonun (ayrışma) ve terlemenin oluşmasına neden olmaktadır. Bunun için bu katkıların kullanılması durumunda ayrışmayı önlemek için bazı önlemler almak gerekir. Karışımında ince malzeme miktarını arttırmak bir yöntemdir. İnce malzeme olarak 100 mikrondan ince taneler düşünülüp uçucu kül, taş unu, cüruf, silis dumanı kullanılabilir [4]. Bir diğer yöntem de, süperakışkanlaştırıcı ile beraber vizkozite düzenleyici kimyasal katkıların kullanılmasıdır. Betonda terlemeyi azaltıp ayrışmanın önüne geçebilmek için kullanılan vizkozite arttırıcı katkıları, doğal polisakkaritler, akrilik bazlı polimerler, selüloz türevleri ve nişasta kökenli ürünlerdir. Bu maddeler betonda kararlılığın korunmasını ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını sağlamakla beraber düşük kalitede agrega veya düşük çimento dozajında etkinliklerini kaybederler [20]. KYB lar üzerinde yapılan çalışmalarda toplam ince malzeme miktarının 400 kg/m³ ile sınırlandırılması durumunda viskozite arttırıcı katkı ilave edilmeden üretilen betonlarda akışkanlığın yüksek olduğu fakat bunun yanında segregasyonun da olduğu bu nedenle bu şartlar altında kendiliğinden yerleşen beton tanımının yapılamayacağı belirtilmiştir [21].

2.3 KYB’da Uçucu Kül Kullanımı

Betonun mekanik dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik gibi özelliklerini iyileştirmek amacıyla uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özellikte mineral katkıları kullanılmaktadır. Puzolanlar kendi başına bağlayıcılık özelliği olmayan, ancak ince öğütülmüş olarak su ile beraber normal çevre sıcaklığında kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek kalsiyum silikat + kalsiyum aluminat bileşiklerini oluşturup bağlayıcılık özelliği gösteren maddelerdir [22,23]. Bu puzolanik özellikte mineral katkılardan biri olan uçucu kül, termik enerji santrallerinde öğütülmüş (pulvanize) kömürün yakıldığı fırınların baca gazlarındaki toz taneciklerinin elektrostatik veya mekanik olarak çöktürülmesiyle elde edilir. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğutularak gaz akışı ile camsı, çapları 0,5—150 µm arasında değişen kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşür.

Uçucu küllerin ilk kullanımı 1940’lı yıllarda ABD’de Hoover&Hungry Horse barajları, Türkiye’de ise 1960’lı yıllarda Gökçekaya ve Porsuk barajları olmuştur. Kullanım alanı çok geniş olan uçucu küller; çimento ve betonda katkı maddesi olarak, çimento hammaddesi olarak, özel işlemlerle dayanıklı hafif agrega üretiminde, yol temel tabakalarında filler olarak, zemin stabilizasyonunda, ağırlık barajlarında, kireç-kumtaşı blok, endüstriyel seramik ve refrakterlerin üretiminde kullanılır [24].

2.3.1 Uçucu külün kimyasal ve morfolojik yapısı

Uçucu külün kimyasal yapısı kullanılan kömürün yapısına, bileşimine ve yakılma işlemine bağlı olarak değişiklik gösterir. Genellikle silisli ve alüminli bileşime sahip olan türü puzolanik özellik gösterdiğinden çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılması yararlı olur. Linyit kömürünün yakılmasıyla elde edilen uçucu külden ise kireç oranı yüksek olup bu tür küller puzolanik özelliğin yanında bağlayıcılık özelliği de gösterirler. Ana bileşikler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO olup MgO ve SO_3 minör bileşen olarak yapısında bulunur. Ayrıca yanmamış karbon, titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden de az miktarda bulunur. Temel oksitlerin miktarı külün silisli veya kireçli yapıda olmasına göre değişir [24].

2.3.2 Uçucu külün sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılması kimyasal bileşimlerinin yüzdesine bağlı olarak ASTM C618 [22] ve TSEN 197-1 [23] de ikiye ayrılmıştır. ASTM C618 'e göre uçucu küller F ve C sınıfı olarak adlandırılır.

- **F Sınıfı :** Bitümlü kömürden üretilip toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70' den fazladır. CaO yüzdesi de %10'un altında olup düşük kireçli olarak adlandırılır.
- **C Sınıfı:** Linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilip toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %50'den fazladır. CaO yüzdesi ise %10'dan fazla olup yüksek kireçli uçucu kül çeşitidir. Pozolanik özelliğinin yanında bağlayıcılık özelliğine de sahiptir.

TSEN 197-1 'e göre uçucu küller silisli (V) ve kalkerli (W) olarak adlandırılır.

- **V (Silisli Uçucu Kül) :** Çoğunluğu pozolanik özellikte olan küresel partiküllerden oluşup esas olarak reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşur. Geri kalan kısmı ise Fe_2O_3 ve diğer bileşikler içerir. CaO oranı kütlece %10'dan az, reaktif SiO_2 oranı da kütlece %25'den fazla olmalıdır.
- **W (Kalkersli Uçucu Kül):** Hidrolik ve/veya pozolanik özellikte olup esas olarak CaO , SiO_2 ve Al_2O_3 den oluşur. Geri kalan kısmı Fe_2O_3 ve diğer bileşikler içerir. CaO oranı kütlece %10'dan , SiO_2 oranı da kütlece %25'den az olmamalıdır.

Tablo 2.2: Betonda Kullanılan Uçucu Külün Standartlara Uygunluk Sınırları

Oksit (%)	ASTM C618		TSEN 197 -1		TSEN 450
	F	C	V	W	
SiO_2					
Al_2O_3					
Fe_2O_3					
S+A+F	> 70	> 50			
CaO					
MgO					
SO_3	< 5	< 5			< 3
K_2O					
Na_2O					
Kızdırma Kaybı	< 6	< 6	< 5	< 5	< 5
Cl^-					< 0,1
Reaktif SiO_2			> 25	> 25	> 25
Reaktif CaO			< 10	> 10	
Serbest CaO					< 1

Uçucu külde kızdırma kaybı kömürdeki yanmamış karbona karşılık gelmekte olup kömürdeki hidratlar ve karbonatların bozulması ile ortaya çıkan bağlanmamış su veya CO₂ kaybını da içine almaktadır. Genel olarak kızdırma kaybı %1-10 arasındadır.

Reaktif silis ve reaktif kireç çimentonun hidratasyonu sırasında oluşan ve dayanımı arttırmada önemli rolü olan kalsiyum silikat hidrat jeli oluşturan silisyum ve berilyum oksitlerdir. Reaktif silis miktarı minimum %25 , reaktif silis miktarı ise düşük kireçli küllerde maximum %10 , yüksek kireçli küllerde ise %10-15 arasındadır [23,24].

Uçucu kül tanecikleri 0,5 µm – 150 µm arasında değişen camsı küresel veya düzensiz şekille sahiptir. Bu taneciklerin şekil ve büyüklük açısından farklılıkları uçucu külün tipinden (düşük/ yüksek kireçli) kaynaklanır. Tanecikleri şekil ve büyüklük dağılımları taze betonun su ihtiyacını ve işlenebilirlik gibi reolojik özelliklerini etkiler. Küresel tanecikler kayganlaştırıcı özellikte olup mikrofiller özelliğine sahiptir. Bunun yanında şekilsiz, pürüzlü olanlar ise gerekli su ihtiyacını arttırmalar [25].

2.4.3 Uçucu külün puzolanik özelliği

Uçucu küllerde puzolanik özellik oldukça yavaş gelişir. Puzolanik etki külün bileşimine ve inceliğine bağlı olarak değişir. SiO₂ ve Al₂O₃ miktarının artması ve amorf yapıda olması puzolanik etkiyi arttırırken boşluklu yanmamış C miktarının artması ise puzolanik etkiyi azaltmaktadır. C boşluklu bir yapıya sahip olup dayanımı düşüktür ve suya düşkündür. Puzolanik özellik kül tanesinin yüzeyinde başladığından incelikte beraber külün puzolanik özelliği ve mekanik dayanımı da artmaktadır [26]. Uçucu külün inceliğini arttırmak için birçok yöntem kullanılabilir: Kül elenebilir, hava ile iri ve ince taneler ayrılabilir veya öğütme yapılabilir [27].

2.3.4 Uçucu külün beton özelliklerine etkisi

Uçucu kül çimento hammaddesi olarak, klinkerle birlikte öğütülerek uçucu kül katkılı çimento üretiminde, çimento miktarı azaltılarak çimento yerine (ikame) ve ince agrega miktarı azaltılarak ince agrega yerine (ilave) olmak üzere 4 farklı yolla betonda kullanılmaktadır [28]. Uçucu külün ilave yolla agrega gibi karışıma katılması ekonomik açıdan yarar sağlamamaktadır. Bunun yanında ikame yolla

azalan çimento ağırlığına eşit ağırlıkta uçucu kül katılması durumunda da dayanımda azalma görülmektedir. Külün özgül ağırlığının çimentonun özgül ağırlığından daha düşük olması nedeniyle ağırlıkça azalan çimento ile aynı miktarda kullanıldığında yüzey hacmi artar ve daha fazla suya ihtiyaç duyar. Bu da dayanımı olumsuz etkilemektedir. Dayanımı düşürmemek amacıyla azaltılan çimento miktarından daha yüksek miktarda uçucu kül kullanılması gerekir [29].

KYB üretiminde ise yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılarak yüksek çökme değeri elde edilirken taşıma ve yerleştirme sırasında segregasyon ve terleme ortaya çıkabilir. Segregasyonu önlemek için iri agrega miktarını azaltıp ince agrega miktarını arttırmak yeterli kohezyon sağlanır fakat çimento miktarının artması hem hidrasyon ısısının yükselmesi hem de maliyetin artmasına neden olur. Bir diğer yöntem de çimento miktarını değiştirmeden viskozite düzenleyici katkı kullanarak kohezyonu sağlamaktır. Maliyetin yüksek olması gene kaçınılmaz bir sonuçtur [30,31]. KYB’da kullanılacak uçucu kül miktarı optimum değerde seçilip hem işlenebilirlik hem de dayanım açısından istenilen sonuçlar alınmalıdır. Bu konuda yapılan çalışmalarda [27,30] yüksek hacimde uçucu kül kullanılarak KYB üretilebileceği ve işlenebilirliğin istenilen değerlerde olabileceği görülmüştür. Bunun yanında karışımlarda uçucu kül miktarı arttıkça genel olarak basınç dayanımında azalma olduğu, bu azalmanın kül miktarı toplam bağlayıcı miktarının %50’ sine kadar varan numunelerde dikkate değer olmadığı fakat bu değerden daha yüksek kül içeren numunelerin basınç dayanımlarında önemli bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir.

2.3.4.1 Taze beton özelliklerine etkisi

Betona uçucu kül ilavesiyle genel olarak işlenebilirliğin arttığı kabul edilir. Azalan çimento ağırlığı kadar uçucu kül ilave edilmesi durumunda hacim artışı görüleceğinden hacimce su/bağlayıcı oranının artması ile reolojik özellikler etkilenecek plastiklikte iyileşme ve kohezyon artışı görülür. Küresel ve camsı yapıda olan çok ince taneli uçucu küller, bu yapılarından dolayı istenilen çökme değeri için su miktarını azaltılabilirler. Pürüzlü, şekilsiz, boşluklu ve yüksek C içerikli uçucu küllerde ise su miktarını arttırarak istenilen çökme değerini sağlamak mümkündür. Uçucu kül inceliği ile terlemeye yol açan kanalların tıkanmasını sağlayarak ve ince agreganın yetersiz olduğu durumlarda bu yetersizliği telafi ederek terlemeyi azaltır

Mikro yapıdaki uçucu kül bağlayıcı matrisin homojenliğini arttırıp betonda segregasyonu önleyerek pompalanabilirliği de arttırır.

Uçucu küllerin yavaş kimyasal reaksiyona girmesiyle betonda hidratasyon ısını düşürüp pik değeri zaman içinde ötelemekte böylece de kütle yapılarında bu sıcaklık artışının etkisiyle oluşabilecek zararları azaltmaktadır. Priz süreleri açısından bakıldığında F sınıfı uçucu küller betonun hidratasyonunu geciktirerek priz süresini uzatırken C sınıfı uçucu küllerde ise priz süresi üzerinde önemli bir etki oluşmadığı görülür. [28,32]

2.3.4.2 Sertleşmiş beton özelliklerine etkisi

Uçucu küllerin betonun dayanımı üzerine etkisi külün kullanım oranına, puzolanik aktivitesine, fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve kür şartlarına bağlıdır. Çimentonun C_2S ve C_3S bileşenlerinin hidratasyonu sırasında esas hidratasyon ürünü olan kalsiyum silikat hidratların (C-S-H) yanında betonun en zayıf kısmını oluşturan $Ca(OH)_2$ de açığa çıkar. Puzolanik özellikteki uçucu kül bu zayıf kısım ile reaksiyona girip bağlayıcılık özelliği kazanarak daha yoğun ve dayanımı daha yüksek beton elde edilmesini sağlar. İnceliklerinin yüksek olması ile de betondaki boşlukları doldurarak dayanım ve geçirimsizliliği arttırırlar [32]. Yapılan bazı çalışmalarda [33,34] toplam bağlayıcı miktarının %35 ine kadar uçucu kül içeren karışımların erken yaşlarda uçucu kül içermeyen karışımlara göre daha düşük dayanım verdiği, nihayi dayanımlarının ise uçucu kül miktarı ve kalitesine bağlı olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir. F sınıfı uçucu küllerin erken yaş dayanımları düşük iken C sınıfı küllerde dayanım kazanma hızı daha yüksek olabilmektedir [32] . Geçirimsizlik açısından kür koşulları da dikkate alındığında; minimum oranda uçucu kül kullanımında havada kür edilen betonların kılcallık katsayılarının suda kür edilen betonlarınkinden yaklaşık 3 katı olduğu maksimum oranda kül kullanımında ise bu farkın 30 katı aştığı tespit edilmiştir. [35]

Uçucu küllü betonlara 28.gün ve daha erken yaşlarda yükleme yapıldığında çimentolu ve eşit hacimli bağlayıcı içeren betondan daha yüksek sünme şekil değiştirmesi gösterir. İleri yaşlarda ise eşit dayanıma sahip olacak şekilde dizayn edilmiş küllü ve külsüz betonlar karşılaştırıldığında uçucu küllü betonlar ileri yaşta daha az sünme şekil değiştirmesi gösterir. [32]

2.4 KYB’da Polipropilen Lif Kullanımı

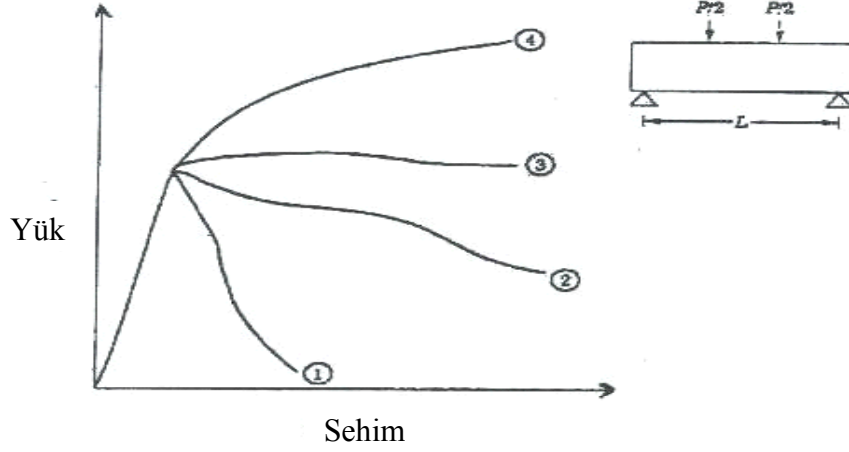
Doğal kaynaklardan ya da üretim sonucu, yapay yolla elde edilen lifler betonda ana faz olan çimento hamuru içine betonun çeşitli mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ilave edilerek kompozit bir malzeme oluştururlar. Çimento esaslı malzemelerde kullanılan liflerin görevi yük altında çimento matrisindeki çatlak oluşumunu engellemek veya geciktirmek böylece çatlağın hızlı ve kontrolsüz ilerleyişini önlemektir. Özellikle çelik lif kullanılması durumunda görülen bu özellik ile betonda ani göçme riski azaltılırken tokluğun ve eğilme dayanımının artmasını sağlarlar. Polipropilen lif kullanılması durumunda ise esas olarak rötre çatlaklarının engellenmesi ile betonun durabilitede artış sağlanması beklenir.

Günümüzden yaklaşık 100 yıl önce asbest ile başlayan lifli beton teknolojisi son 50 yıldır selülozik lifler, son 30 yıldır da polipropilen ve cam lifler ile gelişmeye devam etmektedir. [36]

2.4.1 Betonun Kırılma Mekanikliği Üzerinde Lif Etkisi

Betonun kırılma davranışı incelendiğinde agrega yüzeyi ile çimento harcı arasındaki geçiş bölgesinde oluşan mikroçatlakların malzemenin kırılmasına yol açan potansiyel çatlakları doğurduğu görülmektedir. Bu noktada beton içine katılan liflerin görevi homojen bir yapı oluşturup her yönde dağılarak matrisin içindeki kılcal boşlukların oluşmasını engellemek veya geciktirerek çatlakların hızlı ve kontrolsüz gelişimini durdurmaktır. Mikroçatlaklar başladıktan sonra matris içine ana taşıyıcı olarak yükün büyük bir kısmını alan liflerin birarada tutulması ve birbirlerine yük transfer etmelerini sağlamak da matrisin yani çimento hamurunun görevidir.

Matrisin yük altında, en zayıf olduğu noktada taşıma kapasitesinin aşılması ile çatlak oluşmaya başlar ve aderansı sağlamak için yeterli miktarda lif var ise ve şayet matris boşluksuz, rijit bir yapıya sahipse yük lifler tarafından taşınır. Böylelikle çatlakların önünde bir köprü oluşturup kontrol altında tutan lifler, ani kırılmaların önüne geçerek gevrek bir malzeme olan betonun sünek bir yapıya dönüşmesini sağlar [27]. Şekil 2.9’da çeşitli oranlarda lif içeren betonlarda içerdikleri lif miktarına bağlı olarak yük taşıma kapasiteleri ve kırılma davranışı görülmektedir.



Şekil 2.9: Farklı Oranlarda Lif İçeren Kompozitlerde Tipik Yük–Sehim Eğrileri [16]

Şekil 2.9’da lif miktarına bağlı olarak değişen yük-sehim diyagramı incelendiğinde yüksek oranda lif içeren 4.numunede liflerin taşıma kapasitesi matrisin taşıma kapasitesinden daha fazla olduğu, düşük oranda lif içeren 1. ve 2. numunelerde liflerin taşıma kapasitesinin matrisinkinden daha az olduğu, 3. numunede ise eşit taşıma kapasitelerine sahip oldukları görülmektedir. Kompozitlerin içerdikleri lif oranı arttıkça ilk çatlaktan sonra yük taşıma kapasitelerin de arttığı böylelikle betonun daha yüksek dayanım ve süneklik gösterdiği görülmektedir. Eğri altındaki alan tokluğu yani enerji yutma kapasitesini tanımladığından lif oranının artmasıyla toklukunda artış gösterdiği söylenebilir. [37]

Çekme dayanımını düşük bir malzeme olan betonda lifler çekme gerilmelerin olduğu yönde yerleştirildiği zaman maksimum verim elde edilir. Betonarmede çekme gerilmeleri doğrultusunda yerleştirilen donatılar ile bu sonuç elde edilir ama ince ve kısa olan liflerle böyle bir yerleştirme mümkün olmamaktadır. Ancak lifler çimento matrisi içinde homojen bir yapı oluşturduğundan malzemenin her yönünde etki gösterirler. Özellikle KYB da bu homojenlik daha fazla olmaktadır. İri agrega miktarının azaltılması, agrega granülometrisinin ayarlanması, düşük su/çimento oranıyla kohezyonun (viskozitenin) sağlanması liflerin matris içinde homojen olarak her yönde dağılmasını sağlar. [16]

Betonda yük altında çatlakların kontrolü için geliştirilen bir yöntem de karma lif kullanılmasıdır. Burada amaç çatlağın mikro boyuttan başlayarak kontrol altına alınması olduğundan mikro, mezo ve makro düzeydeki çatlaklar için yine mikro (polipropilen vb.), mezo ve makro (çelik) düzeyde lifler kullanılmalıdır. Mikro lifler boyutlarından dolayı matris içinde daha sık dağılım gösterip çatlakları makro düzeye

gelmeden durdurmalarıyla elastik bölgedeki davranışı iyileştirirler. Makro lifler betonun çekme, eğilme, elastisite modülü gibi mekanik özelliklerini arttırarak makro düzeydeki çatlakların kontrolünü sağlarlar. Mikro lifler boyutlarının küçük olmasıyla matrisin her bölgesine dağılarak makro liflerin bulunmadığı ara bölgelerdeki küçük çatlakların başlamasını ve gelişimini kontrol ederler. [11]

Liflerin betonda çatlak oluştuktan sonra yükü karşılayabilmeleri için matris ile kuvvetli bir fiziksel ve mekanik bağ oluşturması gerekir. Liflerin birbirine yük aktarımını ve birarada tutulmasını sağlayan matrisin homojen bir yapıda olması gerekir. Birçok araştırma ve deneyler göstermiştir ki liflerin matris ile istenilen düzeyde etkileşim gösterebilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. Öncelikle liflerin çekme gerilmesi betonun çekme gerilmesinden daha büyük olmalı. Aynı şekilde lifin matris ile aderansının kuvvetli olabilmesi için aderans kuvvetinin betonun çekme gerilmesinden daha büyük olması beklenir. Lif geometrisi (çengelli, dalgalı, kanca uçlu) ve yüzey özelliği (pürüzlü) değiştirilerek aderans kuvveti arttırabilir [27,37].

Lif donatılı betonlarda lif içeriği ve narinlik oranı beton özelliğini önemli ölçüde etkiler. Narinlik oranı lif uzunluğunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen değerdir. Eşdeğer lif çapı da alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanır. Narinliğin artması işlenebilirliği olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle narinlik arttıkça lif miktarı azaltılarak optimum bir karışım dizaynı yapılmalıdır. Çimento matrisi içinde lif içeriği hacimce lif oranı olarak değerlendirilir. Özgül ağırlıklarının çok farklı olması nedeniyle aynı oranda kullanılmaları durumunda bile neredeyse ağırlık olarak 10 kat fark gösterebilirler [37].

2.4.2 Lif Çeşitleri

Lifli beton kompozitlerinde kullanılan lifler özelliklerine göre çeşitli sınıflara ayrılabilir [37]:

1- Malzemelerine göre:

- a- Doğal : Selüloz, bambu, hindistancevizi kabuğu, şekerkamışı, hint keneviri, asbest
- b- Yapay: Metal, Cam, Sentetik (Akrilik, aramid, karbon, naylon, polyester, polietilen, polipropilen)

2- Fiziksel / Kimyasal özelliklerine göre:

- a- Özgül ağırlık
- b- Yüzey yapısı
- c- Kimyasal dayanım
- d- Isı dayanımı
- e- Narinlik

3- Mekanik özelliklerine göre:

- a- Çekme dayanımı
- b- Elastisite modülü
- c- Süneklik
- d- Tokluk
- e- Yüzey aderansı

2.4.2.1 Doğal Lifler:

Su ve su buharını kolay emmeleri , sıcaklık karşısında yumuşamamaları,yüksek sıcaklık karşısında fiziksel değişim göstermemeleri, donma noktası altında kırılmamaları doğal liflerin başlıca özellikleridir. Alkali ortamında parçalanma eğiliminde olmaları betonda kullanımları açısından sıkıntı yaratır. Bu nedenle durabiliteyi arttırmak için betonun alkalitesini azaltacak katkıları kullanılmalıdır. Beton uygulamalarında en çok kullanılan çeşitleri selüloz, bambu, şeker kamışı, hint keneviri ve asbesttir [5].

2.4.2.2 Metal Lifler:

Karbon çeliği yada paslanmaz çelikten yapılan bu lifler düz, dairesel, eğrisel, kancalı geometriye sahip olup boyları 6,5-76 mm , uzunluk/çap (narinlik) oranı da 20-100 arasında değişim göstermektedir. Çekme dayanımının ve elastiklik modülünün yüksek olması nedeniyle betonun çekme ve eğilme dayanımını , diğer liflere göre daha fazla etkiler. Döner kesitli düz lifler, zayıf tellerin kesilmesi sonucu çapı 0,25-1 mm şeklinde, plaka kesitli düz lifler; ince levhaların bir araya getirilmesiyle kalınlığı 0,15-0,41 mm, genişliği 0,25- 1 mm şeklinde, eğri lifler de ; düz uzun liflerin kıvrılmasıyla üretilirler [5].

2.4.2.3 Cam Lifler:

Cam liflerin başlıca iki türü olan brosilika (E- glass) ve kuvars (A- glass) cam lifleri betonda alkali reaksiyonuna maruz kalıp özelliklerini yitirdiklerinden beton uygulamalarında kullanılmamaktadırlar. Bunun için alkali reaksiyonuna direnç gösterebilen zirkon içeren cam lifleri geliştirilmiş ve beton uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır [5].

2.4.2.4 Sentetik Lifler:

Petrokimya ve tekstil endüstrisinin araştırmaları sonucu geliştirilen sentetik lifler, betonun çekme ve darbe dayanımını arttırdığı , çatlak oluşumundan sonra betona sünek bir yapı kazandırdığı ve rötre çatlaklarının önlenip durabilitede artış sağladığı anlaşılmıştır. 60'lı yıllarda yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özgül ağırlıklarının diğer lif çeşitlerine göre çok düşük değerde olması nedeniyle betonda kullanım miktarları da çok düşüktür (hacimce %2'den az). Polipropilen lif başta olmak üzere portlant çimentosu betonunda kullanılan lifler olan aramid, karbon, naylon, polyester ve polietilen liflerin özellikleri Tablo 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3: Sentetik Liflerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [5]

Sentetik Lif Türü	Etkili Çap (mm)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Gerilmesi (Mpa)	Elastiklik modülü (Mpa)	Nihai Uzama (%)	Erime sıcaklığı (°C)	Su Emme (%)
Akrilik	12,7-105	1,16-1,18	269-1000	13790-19306	7,5-50	238-253	1-2,5
Aramid I	11,9	1,44	2930	62055	4,4	500	4,3
Aramid II	10,1	1,44	2344	117215	2,5	500	1,2
Karbon	9,9-12,9	1,6-1,7	482-793	27580-34475	2,0-2,4	417	38901
Naylon	22,8	1,14	965	5171	20	217-238	2,8-5
Polyester	19,8	1,34-1,39	227-1103	17237	12-150	275	0,4
Polietilen	25,4-1016	0,92-0,96	76-586	5000	Mar.80	151	-
Polipropilen	--	0,9-0,91	138-689	3447-4826	15	183	-

Akrilik

%85 oranında akronilit içeren akrilik lifler, beton teknolojisinde asbestin yerini almıştır. Tekstil endüstrisinde kullanılanlarının çekme dayanımı 207-345 MPa iken lifli betonlarda kullanılan çeşitlerinin çekme dayanımı 1000 MPa 'a kadar çıkabilmektedir.

Aramid

Cam liflerin 2,5 katı, çelik liflerin 5 katı kadar daha dayanıklı olan aramid, yüksek elastisite modülüne sahiptir. Çekme ve eğilme dayanımlarının yüksek olmasıyla beraber maliyetinin fazlalığı bu liflere üretim kısıtlaması getirmektedir.

Karbon

Karbon lifler yüksek dayanım , yüksek elastisite modülü ve rijitlik özelliği ile ilk olarak uzay araştırmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Petrol ve kömür ziftinden de üretilebileceği anlaşıldıktan sonra maliyet aşağı çekilmiş ve beton endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır. İplik formunda üretilen liflerin her biri 12000 tekil lif içerir.

Naylon

Naylon -CONH grubu içeren polimer ailesinin genel ismidir. Lifli betonlarda iki çeşit naylon kullanılır:Naylon 6 ve Naylon 66. Yüksek elastiklik ve dayanıklılık özelliği ile tercih edilir.

Polyester

Etil asetat monomerlerinden oluşan polyesterlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri üretim tekniğine bağlı olarak farklılık gösterir. Yüksek elastiklik modülüne sahip olan bu lifler ısıya karşı duyarlı olup 280 °C den sonra moleküler yapıları bozulur.

Polietilen:

Lif hamuru formunda olup yüzey deformasyonlarında beton ile iyi bir bağ oluşturur. Geleneksel karışım dizaynı ile %4 oranına kadar kullanıldığında kolaylıkla ayrıştırılabilir.

Polipropilen:

Hem tekil hem de hamur halinde bulunabilen polipropilen liflerin boyları 3- 50mm arasında değişmektedir. Erime sıcaklığının ve elastiklik modülünün diğer liflere kıyasla daha düşük olması kullanımda dikkat gerektirir. Betonun bazı özelliklerini iyileştirmek amacıyla en sık kullanılan ve en iyi sonuç veren sentetik lif çeşididir.

2.4.3 Polipropilen lifin KYB özelliklerine etkisi

Özellikle zemin betonlarında kullanılan polipropilen lifler, özel olarak püskürtme betonlarında, prefabrikasyonda, geçirimsizlik gerektiren yerlerde, yüzme havuzlarında , su depolarında 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Boyları 12-50mm arasında olan bu lifler çelik lifler kadar betonun mekanik özelliğini

arttırmada çok fazla etkili olmazlar. Asıl kullanım amacı betonda plastik rötrenin azalması sağlayarak durabilitenin artmasıdır. Bunun yanında az da olsa betona enerji yutma özelliği kazandırıp tokluğu arttırmak, darbeye ve yangına karŗı direnç sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. [36]

2.4.3.1 Taze Beton  zellikleri ve  şlenebilirliğe Etkisi

Yoğunluğu çok düşük olan polipropilen lifler, beton karışımında hacimce toplam hacmin %0,1-2 oranında kullanılırlar. Fazla miktarda lif ilave edilmesiyle (>%2)  şlenebilirliğin azalması kaçınılmazdır. Betonda yayılma, yayılma süresi, Ve-be testi uygulanarak  şlenebilirlik kontrol edilebilir. Bunu önlemek için akışkanlaştırıcı katkı dozajı, hava miktarı göz önüne alınarak, ayarlanmalıdır. [5] Bu çalışmada da lif oranı, buna bağlı olarak da katkı miktarı arttırılarak betonda  şlenebilirliğin değişimi incelenmektedir.

2.4.3.2 Sertleşmiş Beton  zelliklerine Etkisi

Polipropilen liflerin elastisite modülleri betonun elastisite modülünden daha düşük olması nedeniyle, betona polipropilen lif ilave edilmesi ile basınç dayanımının çok fazla etkilenmediği , eğilme dayanımında ise küçük de olsa artış sağlandığı görülmüştür. Fakat asıl etkisi betonun kırılma-şekil değişiminde olmaktadır. [36,5]. Yüksek oranda lif kullanılması betonun  şlenebilirliğini olumsuz etkileyerek segregasyon, yığılma, hava miktarının artması ve birim ağırlığın azalmasına neden olacağından basınç dayanımında azalmanın görülmesi kaçınılmazdır. Bunun yanında hacimce % 0,1-1 oranında lif içeren betonlarda bu etki görülmemektedir. [5]

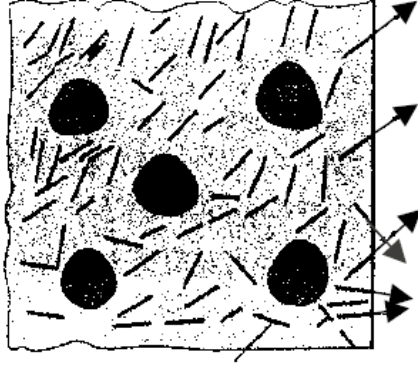
Colleparti S. ‘nın polipropilen lif ve metalik lifler üzerinde yaptığı çalışmada [38] ağırlıkça aynı miktarlarda kullanılan polipropilen lif ile metal lif betonun basınç dayanımında kontrol numuneye göre çok küçük bir artış gösterdiği görülmüştür. Aynı şekilde, farklı oranlarda lif kullanılması durumunda da eğilme dayanımı açısından çok önemli bir değişim olmamaktadır. Hatta lif miktarının artması ile eğilme dayanımında düşüş saptanmıştır.

2.4.3.3 Dürabiliteye Etkisi

Betonun plastik davranışta olduğu dönemde gerilme taşıma kapasitesi iç gerilmelere kıyasla daha düşük olup bunları taşımakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle beton yüzeyinde plastik rötre çatlakları denilen yapısal olmayan kılcal çatlamlar oluşur. Betona büyük zararlar veren bu rötre çatlaklarının önlenmesinin bir yolu iç gerilmeleri azaltmaktır. Aşırı ve kontrolsüz su kaybı büzülmeye yol açıp iç gerilmelerin artmasına neden olacağından betonda kullanılan suyu priz süresince kontrol altında tutmak gerekir. Bir diğer yöntem de betonun şekil değiştirme kapasitesini arttırmaktır. Bu da polipropilen lif kullanılarak sağlanabilir. Tipine, miktarına, cinsine bağlı olarak iç gerilme kuvvetlerini taşıyabilen bu lifler köprüler oluşturarak plastik rötre çatlaklarını azaltırlar [39]. Özellikle yüksek performanslı betonlarda süperakışkanlaştırıcı kullanımıyla azalan su/bağlayıcı oranı ve su içeriği terlemenin azalmasına neden olur. Bağlayıcı olarak da çimentoya ilave uçucu kül, silis dumanı gibi mineral katkıları kullanımında yüzey alanlarının artmasıyla serbest suyun büyük bir kısmı bağlanır ve terleme daha da azalır. Bu nedenle de beton plastik rötre çatlaklarına karşı daha hassas hale gelir. Yapılan bir çalışmada [6] polipropilen lif kullanılan betonlarda serbest rötre sonuçlarının lif kullanılmayan betona göre %30-35 azalma gösterdiği, lif boyunun arttıkça bu etkinliğin daha arttığı saptanmıştır.

2.4.3.4 Yangına Karşı Dayanıma Etkisi

Yüksek dayanımlı betonların çok az boşluklu yapıları nedeniyle yangına karşı dayanımları düşüktür. Yüksek sıcaklık altında beton bünyesindeki serbest su ve çimento hamurundaki kimyasal olarak bağlanmış su buharlaşır fakat yüksek performanslı betonların yoğun yapılarından dolayı buharlaşma gerçekleşemez. Bunun sonucunda beton yüzeyinde dökülmeler görünür ve donatı çeliği yüksek sıcaklıktan korunamaz hale gelir. Sonuç olarak betonarme elemanların taşıma kapasitesini azaltan bu problemi çözmek için beton karışımına polipropilen lif katılarak yüksek sıcaklıkta eriyerek su buharının sınır bölgelerden çıkabileceği kanallar oluşturması, böylece beton yüzeyinde dökülmelerin engellenmesi sağlanır [40].



Şekil 2.10: Yüksek sıcaklıkta eriyen polipropilen liflerin oluşturduğu boşluklardan su buharının çıkışı [40]

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada farklı oranlarda polipropilen lif içeren ve üç farklı firmanın yeninesil süperakışkanlaştırıcı katkısı kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda taze beton deneyleri olarak birim ağırlık, yayılma, V-hunisi, L-kutusu ve U-Kutusu deneyleri yapıp üretilen betonlardan numuneler alınmıştır. 28 gün suda kür edilen numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı deneyleri yapılarak elastisite modülleri hesaplanmıştır.

3.1 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

3.1.1 Çimento

Deneysel çalışma sırasında beton üretimde SET Çimento Fabrikasına ait PÇ 42.5 (CEM I) tipinde çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile basınç dayanımı üretici firmadan temin edilmiştir. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile basınç dayanımları sırasıyla Tablo (3.1) ,Tablo (3.2) ,ve Tablo (3.3) 'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler		Analiz Sonuçları	Standart: TSEN 197-1	
			min	max
Blaine Özgül Yüzey	cm ² /gr	3504	2800	-
µ90 elekte kalan	%	1,90	-	-
µ45 elekte kalan	%	18,98	-	-
Priz Başlangıcı	saat	3:51	1	-
Priz Sonu	saat	4:46	-	10
Hacim Genleşmesi	mm	1		
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	3,16	-	-

Tablo 3.2 : Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler		Analiz Sonuçları	Standart: TSEN 197-1
			max
MgO	%	1,25	5,0
SO ₃	%	3,18	3,5
Cl	%	0,01	0,1
Kızdırma Kaybı	%	2,47	5,0
Çözünmeyen Kalıntı	%	0,25	1,5

Tablo 3.3 : Çimentonun Basınç Dayanımı

Basınç Dayanımı N/mm ²		Standart TSEN 197-1 min
2 günlük	26,5	20,0
7 günlük	41,4	31,5
28 günlük	53,3	42,5

3.1.2 Uçucu Kül

Deneylerde bağlayıcı görevindeki çimentonun miktarını azaltmak, kohezyonu sağlamak amacıyla puzolanik özellikte olan uçucu kül kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan uçucu kül Seyitömer Termik Santralinden elde edilmiş olup toplam SiO₂+Al₂O₃+FeO₃ yüzdesi %70 den fazla, CaO yüzdesi de %10 dan az olduğundan ASTM C618'e göre F sınıfına (düşük kireçli uçucu kül) girmektedir. TS EN 197-1 göre ise SiO₂ yüzdesi %25 den fazla ve CaO yüzdesi %10 dan az olduğundan V sınıfına (silisli uçucu kül) girmektedir. Uçucu külün miktarı bütün numuneler için 150 kg/m³ olarak belirlenmiş olup Tablo (3.4)'de kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.4 : Uçucu Külün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

<u>Kimyasal Özellikler</u>	<u>(%)</u>	<u>Fiziksel Özellikler</u>	
SiO ₂	53,22	μ40	28,9
Al ₂ O ₃	19,96	μ90	11,3
Fe ₂ O ₃	11,44	μ200	2,73
CaO	3,79	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,10
MgO	4,67	Blaine (cm ² /gr)	4242,67
SO ₃	0,70	Genleşme	1
K ₂ O	2,69	Kızdırma Kaybı	1,92
Na ₂ O	0,37		
SCaO	0,02		

3.1.3 Agregalar

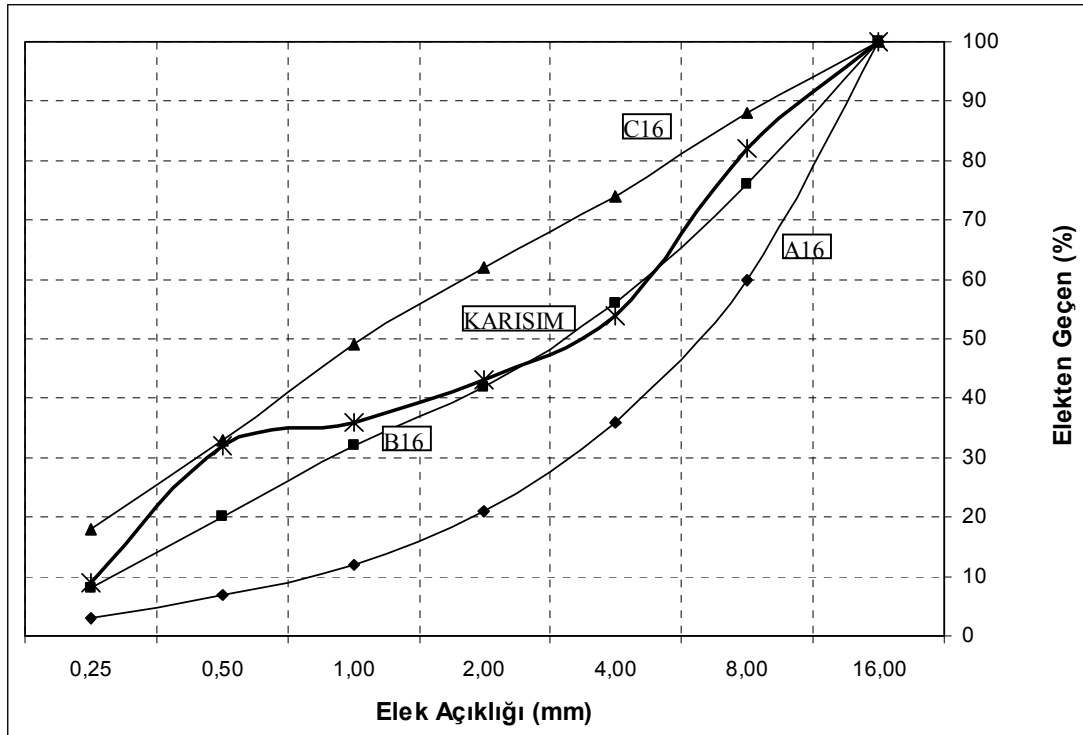
Deneylerde iri agrega olarak 1 nolu kırmataş , ince agrega olarak da tabii kum ve kırma kum kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo (3.5)'de verilmiştir. Agrega karışım granülometresi B16 referans eğrisine yakın olacak şekilde kırmataş I ; %50, kırmakum ; %25, doğal kum ;%25 oranlarında kullanılmıştır. Agregaların elek analizi Tablo (3.6)'da, agrega granülometresi ise Şekil (3.1)'de verilmiştir.

Tablo 3.5: Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Türü	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Su Emme (%)
Doğal Kum	2,64	1,2
Kırma Kum	2,70	1,4
Kırma Taş No: I	2,71	0,5

Tablo 3.6: Agregaların Elek Analizi Sonuçları

Elek açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)			
	Doğal Kum (%25)	Kırma Kum (%25)	Kırma Taş I (%50)	Karışım
16	100	100	100	100
8	100	100	63	82
4	100	98	8	54
2	100	70	1	43
1	100	42	1	36
0,5	99	30	0	32
0,25	16	19	0	9

**Şekil 3.1:** Agregra karışımının granülometrisi ve referans eğrileri

3.1.4 Polipropilen Lif

Tez çalışması kapsamında beton takviyesinde kullanılan İtalyan La Matassina firmasının ürettiği Polifer 635 cinsi polimer katkılı polipropilen lif kullanılmıştır. Polifer635 tipi lifin teknik özellikleri Tablo (3.7)'de verilmiştir.

Tablo 3.7: Polifer635 Tipi Polipropilen lifin Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	Polifer 635
Tel uzunluğu (mm)	35
Tel genişliği (mm)	< 2
Tel kalınlığı (mm)	0,20
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	0,95
Çekme dayanımı (N/mm ²)	700
Elastisite (Kn/mm ²)	3,8
Esneklik (%)	10
Erime Noktası (°C)	180
Su tutma (%)	0,01-0,02
Renk	Gri

3.1.5 Kimyasal Katkılar

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda üç farklı firmanın “kendiliğinden yerleşen beton” üretiminde kullandıkları su oranını yüksek oranda azaltan üç farklı polikarboksilat esaslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bunlarla beraber bütün betonlarda terlemeyi ve segregasyonu önlemesi amacıyla viskozite arttırıcı katkı ilavesi yapılmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcılar G, W, V olarak kodlandırılıp teknik özellikleri Tablo (3.8)'de, viskozite arttırıcı katkının teknik özellikleri ise Tablo (3.9)'da verilmiştir.

Tablo 3.8: Kullanılan Süperakışkanlaştırıcıların Teknik Özellikleri

ÖZELLİK	G	W	V
Yoğunluk (gr/cm ³) (20°)	1,08	1,07	1,07
Klor % (EN 480-10)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Görünüm	Amber, sıvı	Kahverengi, sıvı	Açık kahve, sıvı
Homojenite	Homojen	Homojen	Homojen
Kimyasal içeriği	Modifiye Karboksilat Esaslı Sentetik Polimer		

Tablo 3.9: Kullanılan Viskozite Arttırıcı Katkının Teknik Özelliği

Viskozite Arttırıcı Katkı	
Yoğunluk (gr/cm ³) (20°)	1,011
Viskozite (20°C) (mPas)	700
Görünüm	Şeffaf,sıvı
Homojenite	Homojen

3.2 Beton Üretimi

Bu çalışmada herbir süperakışkanlaştırıcı katkı için biri şahit olmak üzere lif oranı farklı 4 bileşim hazırlanarak toplamda 12 adet bileşim üzerinde deneyler yapılmıştır. Kullanılan polipropilen lif çeşidi bütün bileşimler için aynı olup kullanım miktarları 3.5, 5.0 ve 7.0 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Böylece kullanım oranları hacimce %3.68, %5.26 ve %7.37 olmaktadır. Bileşimlerde lif katıldıkça oluşabilecek işlenebilirlik kaybının önlemek amacıyla süperakışkanlaştırıcı katkı miktarı lif oranına bağlı olarak arttırılmıştır. Buna ilave olarak kullanılan vizkozite arttırıcı katkının miktarı bütün bileşimler için sabit olup hacimce %1 olacak şekilde 1 kg/m³ oranında kullanılmıştır. Bütün bileşimlerde çimento dozajı 350 kg/m³, uçucu kül dozajı da 150 kg/m³ 'te sabit tutulmuştur. Bütün bileşimler için basınç dayanımının C40 değerinde olması ve istenilen yayılmanın sağlanıp, homojen bir karışım elde edilebilmesi amacıyla su miktarının bütün karışımlarda 235 kg/m³ olması gerektiği yapılan ön üretimlerde görülmüş olup su/toplam bağlayıcı oranı 0,47 olarak belirlenmiştir. Her bir karışım için hava boşluğu oranı üretimden önce % 2 olarak öngörülmüş, üretim yapıldıktan sonra taze betonun birim ağırlığı bulunarak gerçek malzeme ve hava miktarlarına ayrıca ulaşılmıştır. Herbir karışım için 50 dm³'lük beton üretilerek önce çökme- yayılma deneyi yapılmıştır. Yayılma değeri olarak min 60 cm kabul edilip istenilen değere ulaşan karışımlarda diğer taze beton deneyleri yapılarak numuneler alınmıştır. Üretilen betonların teorik bileşimleri Tablo (3.10)'da verilmiştir.

Tablo 3.10: Teorik Beton Bileşimleri

BİLEŞENLER		NUMUNE KODU											
		G0	GP-0,7	GP-1	GP-1,4	W0	WP-0,7	WP-1	WP-1,4	V0	VP-0,7	VP-1	VP-1,4
Çimento	kg	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
U.Kül	kg	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Su	lt	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
Tabii Kum	kg	369	367	364	362	369	366	365	363	367	364	363	361
Kırma Kum	kg	377	374	372	370	377	375	373	372	375	373	371	370
Kırma Taş no:1	kg	757	751	747	743	757	752	750	746	754	748	746	742
Polipropilen lif	kg	0	3,5	5	7	0	3,5	5	7	0	3,5	5	7
	% *	0	0,7	1	1,4	0	0,7	1	1,4	0	0,7	1	1,4
Akışkanlaştırıcı katkı	kg	3,5	4,5	5,5	6,5	3	3,5	3,8	4	6	6,5	6,8	7,3
Vizkozite arttırıcı katkı	kg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hava	%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

3.2.1 Numune Kodlarının Verilmesi

Bu çalışmada üretilen 12 farklı betonun kodlamasında ilk bölüm karışımında kullanılan katkı çeşidi , ikinci bölüm ise kullanılan polipropilen lifin miktarını açıklamaktadır.. G0,W0,V0 kodlu numuneler her üç katkı için lif içermeyen şahit numunelerini tanımlamaktadır. Kodlama lif miktarının toplam bağlayıcı miktarına göre oranı olarak yapılmıştır. GP0,7; G kodlu katkılı betonda hacimce %3,68 (3,5 kg/m³) oranında , GP1; %5,26 (5 kg/m³) oranında, GP1,4 ise %7,36 (7 kg/m³) oranında lif içerdiğini temsil etmektedir. Benzer şekilde W ve V katkıları kullanılan numunelerde de aynı tür kodlama yapılmıştır.

3.2.2 Üretim Sırası

- Agregalar , çimento ve uçucu külden oluşan kuru karışım 60 sn süre ile karıştırılması
- Karma suyunun yarısı katılarak 60sn süre ile karıştırmaya devam edilmesi
- Akışkanlaştırıcı ve viskozite arttırıcı katkıların bir miktar suyla karıştırılıp eklenmesi
- Karma suyunun geri kalanının katılması

- Lifli karışımlarda 60 sn süre ile karıştırmaya devam edildikten sonra liflerin katılması
- Toplamda 5 dakika süre ile beton karışımının tamamlanması.
- Birim ağırlık, yayılma, V-hunisi, L-kutusu, U-kutusu deneylerinin yapılması
- Betonun kalıplara alınması

3.3 Taze Beton Deneyleri

3.3.1 Serbest Yayılma

Yayılma deneyi üst çapı 13 cm, alt çapı 20 cm, yüksekliği 20 cm olan yayılma konisi ile düz bir zemin üzerinde yapıldı. Birbirine dik yayılma çaplarının ortalaması alınarak çökme- yayılma değeri bulundu. Çalışmada, çökme-yayılma değeri min 60 cm kabul edilerek, bu değerin üstündeki karışımlar KYB olarak tanımlandı.



Şekil 3.2: Serbest Yayılma Deneyi- Nihai yayılma çapı ölçümü

3.3.2 V-Hunisi Akış Süresi Ölçümü

5x5 cm kapak açıklıklı, 10lt kapasiteli V- hunisi kullanılarak yapıldı..Huni en üst seviyeye kadar herhangi bir şişleme yapılmadan doldurulduktan sonra alt kapak açılarak betonun huniden boşalma süresi tesbit edildi.

3.3.3 L-Kutusu Deneyi

60cm yükseklikte, 80 cm genişlikte L-şeklindeki kutunun dikey haznesinin en üst seviyesine kadar herhangi bir şişleme yapılmadan beton dolduruldu. Ara kapak açılarak betonun ara bölmedeki 3ø12 lik donatılar arasından geçerek yatay hazneye geçişi sağlandı. Birinci ölçümde , betonun yatay haznede 20cm ve 40 cm lik

mesafelere ulaşma süreleri tesbit edildi.İkinci ölçümde ise beton akışının bitimiyle L-Kutusunun her iki ucundaki yükseklikleri ölçülerek yükseklik oranı hesaplandı.



Şekil 3.3: L-Kutusu Deneyi – Akış tamamlandıktan sonra beton yüksekliklerinin ölçümü

3.3.4 U-Kutusu Deneyi

60 cm yükseklikte U-şeklindeki kutunun ilk haznesine herhangi bir şişleme yapılmadan beton dolduruldu. İki hazne arasındaki kapak açılarak betonun ara yüzeydeki 4Ø12 lik donatı arasından geçerek ikinci hazneye dolması sağlandı. Akış tamamlandıktan sonra her iki haznedeki beton yükseklikleri ölçülerek yükseklik farkları hesaplandı.



Şekil 3.4: U-Kutusu Deneyi- Ara kapağın kaldırılmasıyla betonun akışı

3.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri

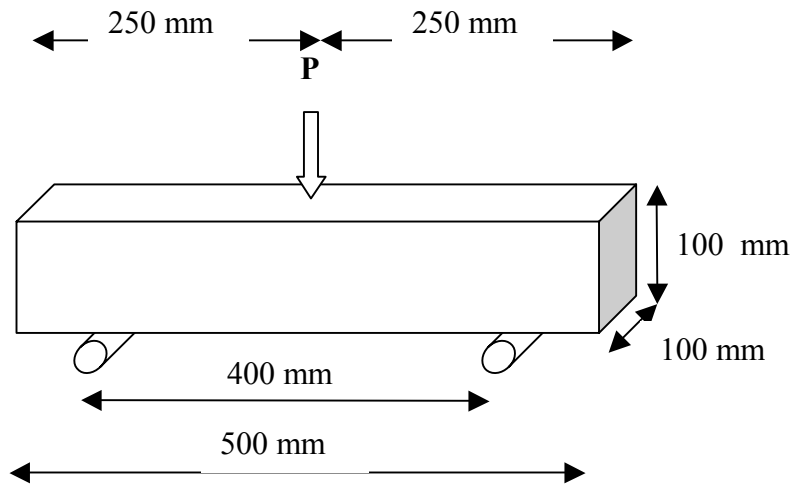
Taze beton deneyleri yapıldıktan sonra her bir bileşim için 2 adet küp, 3 adet silindir, 3 adet prizma numune alınarak toplamda 96 numune üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapıldı. Silindir numuneler üzerinde sırasıyla ultrases geçiş hızı, elastisite modülü tayini ve basınç deneyi yapıldı. Küp numuneler üzerinde basınç, prizma numunelerde ise eğilme dayanımı deneyleri yapıldı.

3.4.1 Basınç Dayanımı Deneyi

28. günde kür havuzundan çıkarılan 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler ile gene 28. günde kür havuzundan çıkarılıp başlıkları yapılan 150mm çaplı , 300 mm yükseklikteki silindir numuneler üzerinde 30-35. gün aralığında basınç deneyi yapıldı. Yükleme hızı sabit olan basınç presinde deneye tabi tutulan numunelerin kırılma yükleri tesbit edildikten sonra kesit alanına bölünerek basınç dayanımları hesaplandı.

3.4.2 Eğilme Dayanımı Deneyi

28. günde kür havuzundan çıkarılan 100x100x500 mm boyutlarındaki prizma numuneler üzerinde 30-35. gün aralığında 100 ton kapasiteli eğilme dayanımı deney aletinde (Şekil 3.6) 3 noktalı eğilme deneyi uygulandı. Şekil 3.5’de deney düzeneği görülmektedir. Numunelerin kırılma yükleri bulunup (3.1) bağıntısı kullanılarak eğilme dayanımları hesaplandı.



Sekil 3.5: Eğilme dayanımı deney düzeneği

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (3.1)$$

σ : Eğilme dayanımı (N/mm²)

P : Kırılma yükü (N)

l : Mesnetler arası uzaklık (mm)

b : Numune kesitinin genişliği (mm)

h : Numune kesitinin yüksekliği (mm)



Şekil 3.6: 100 ton Kapasiteli Eğilme Dayanımı Deney Aleti *

3.4.3 Ultrases Hızı Deneyi

Silindir numuneler üzerinde uygulanan ultrases hız ölçümünde önce numunelerin boyları ölçüldü sonra numunenin karşılıklı iki yüzüne gres yağı sürülüp numune ses verici ve ses alıcı probaların arasına yerleştirilerek sesin numune boyunca geçiş süresi mikro saniye cinsinde ölçüldü. Daha sonra bulunan bu değer numunenin boyuna bölünerek ultrases geçiş hızı km/sn cinsinden hesaplandı .

* 10 ton kapasite ile çalıştırılmıştır.

3.4.4 Elastisite Modülü Deneyi

Silindir numunelere basınç deneyi uygulanmadan önce numunelerin düşey yerdeğiştirmelerini ölçmek amacıyla her bir silindir numuneye çerçeve takıldı. Çerçeve üzerinde bulunan kompratör yardımıyla her 25 kN luk yüke karşılık gelen eksenel şekil değiştirme değeri okundu. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinde, yükün 1/3'üne kadar olan eğrinin eğiminden elastisite modülü hesaplandı.



Şekil 3.7: 200 ton Kapasiteli Basınç Presinde Elastisite Modülü Tayini İçin Deney Düzenegi

4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ

4.1 Taze Beton Deneyleri

4.1.1 Birim Ağırlık Deney Sonuçları

Üretilen betonlar silindir şeklinde darası alınmış 8 dm³ hacminde ölçü kabına boşluk kalmayacak şekilde doldurularak tartıldı ve birim ağırlıkları kg/m³ cinsinden bulundu. Tablo 4.1 de numunelerin birim ağırlık deney sonuçları, gerçek malzeme miktarları ve gerçek hava oranı verilmiştir.

Tablo 4.1: 1m³ Betondaki Gerçek Malzeme Miktarları

BİLEŞENLER		NUMUNE KODU											
		G 0	GP 0,7	GP 1	GP 1,4	W 0	WP 0,7	WP 1	WP 1,4	V 0	VP 0,7	VP 1	VP 1,4
Çimento	kg	342	343	343	338	321	327	331	338	335	337	337	346
U.Kül	kg	147	147	147	145	138	140	142	145	143	145	146	148
Su	lt	243	239	239	236	224	229	231	236	237	236	236	240
Tabii Kum	kg	356	354	352	347	335	339	342	349	347	348	346	355
Kırma Kum	kg	363	366	364	357	346	346	349	355	354	355	354	362
Kırma Taş no:1	kg	736	732	728	715	692	701	706	719	717	719	716	734
Polipropilen lif	kg	0	3,4	4,9	6,8	0	3,3	4,7	6,8	0	3,4	4,8	6,9
Katkı	kg	3,4	4,4	5,4	6,3	2,8	3,3	3,6	3,9	5,7	6,3	6,5	7,2
Vizkozite artırıcı katkı	kg	1	1	1	1	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1
Birim ağırlık	kg/m ³	2190	2190	2190	2150	2060	2090	2110	2150	2140	2150	2150	2200
Hava	%	3,4	3,4	3,4	4,7	9,5	7,7	6,7	4,7	5,5	4,9	4,9	2,5

Numunelerin teorik birim ağırlıkları ile üretim sonunda bulunan gerçek birim ağırlık değerleri yardımıyla hesaplanan hava miktarlarının, üretim öncesi kabul edilen %2 lik değerden çok daha yüksek olduğu Tablo 4.1’de görülmektedir. Şahit numuneler incelendiğinde en düşük hava içeriğinin %3,4 ile G0 numunesinde olduğu, en yüksek hava içeriğinin de % 9,5 ile W0 numunesi olduğu görülmektedir. Lif oranının artması ile bütün betonlarda hava miktarının lifsiz betona göre giderek azaldığı görülmektedir. GP1,4 numunesinde görülen artışın ise betonda yerleşme problemlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

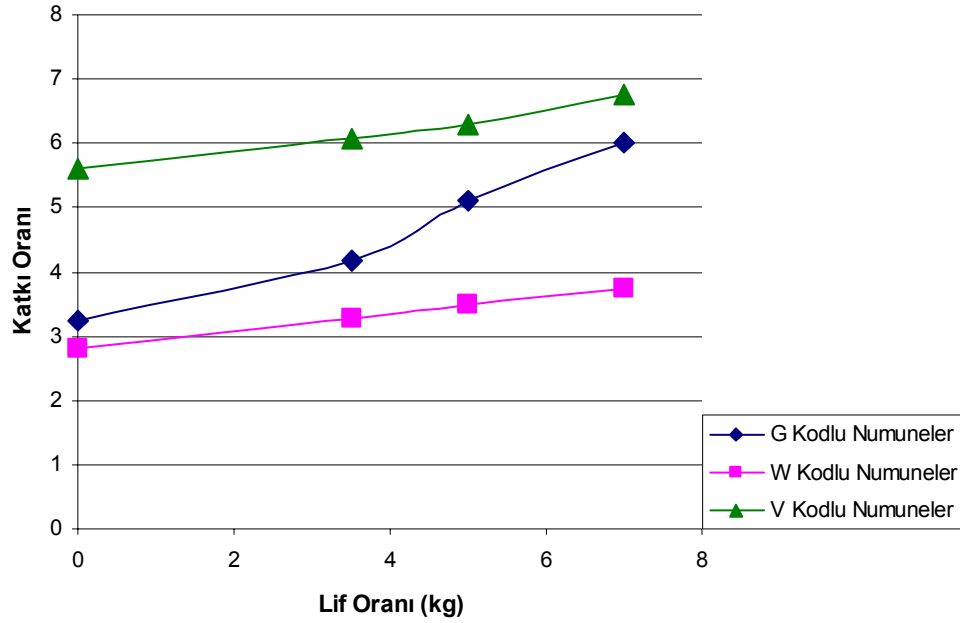
Süperakışkanlaştırıcı katkıların betonda yüksek miktarda hava sürüklemesi şahit betonlarda hava içeriğini arttırırken betona katılan liflerin bu boşlukların bir kısmının doldurduğu böylece de hava içeriğinin azaldığı görülmektedir.

4.2.2 Serbest Yayılma Deney Sonuçları

Bilindiği gibi betona lif ilave edildikçe işlenebilirliğin etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak amacıyla kullanılan katkı miktarı lif oranı arttıkça arttırılmalıdır. Üç farklı akışkanlaştırıcı üzerinde yapılan bu çalışmada, önce her bir katkı için şahit karışım üretilip yayılmasına bakıldı, istenilen yayılma değerini veren numunelerde diğer taze beton deneyleri yapıldı. Lifli üretimlerde ise katkı miktarı, her bir katkının şahit karışımında kullanılan katkı miktarı baz alınarak arttırılmıştır. Çalışmada, çökme-yayılma değeri min 60 cm kabul edilerek, 60 -70 cm arasında yayılma değeri veren karışımlar kendiliğinden yerleşen lifli beton olarak tanımlandı. Tablo (4.2) de kullanılan katkı türü ve hacimce oranına bağlı olarak numunelerin çökme-yayılma değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2: Serbest Yayılma Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	Katkı Dozajı (%)	Serbest Yayılma (cm)
G 0	3,24	67
GP 0,7	4,16	69
GP 1	5,10	70
GP 1,4	6,02	67
W 0	2,80	63
WP 0,7	3,27	70
WP1	3,50	69
WP 1,4	3,73	64
V 0	5,60	66
VP 0,7	6,07	63
VP 1	6,30	62
VP 1,4	6,77	64



Şekil 4.1: min. 60cm Yayılma Değeri İçin Lif Oranı-Katkı Miktarı Değişimi

Serbest yayılma deney sonuçları incelendiğinde; su/çimento oranları sabit olan bütün numunelerde uygulanan karışım dizaynı ile 60-70 cm arasında yayılma sağladığı görülmektedir. Lif içermeyen numunelerde istenilen değerde yayılma sağlanması için kullanılan katkı miktarı, V0 numunesinde %5.6, G0 numunesinde %3.24, W numunesinde ise %2.8 olduğu görülmektedir. Su/çimento oranı sabit tutulup lif oranı arttırılarak üretilen numunelerde kullanılan katkı miktarı da şahit numune baz alınarak arttırılmıştır. Böylece maksimum oranda (%1,4) lif kullanılan numunelerde katkı miktarı; G serisinde %85’lik artışla %1,3, W serisinde %33’lük artışla %0,8, V serisinde ise %20’lik artışla %1,45 oranına ulaştığı görülmektedir. Bu artış değerlerine bakıldığında W ve V serisi betonlarında lif oranının artmasıyla oluşacak işlenebilirlik kaybını önlemek için uygulanan katkı miktarındaki artış G serisi betonlarına göre çok daha düşük seviyede kalmaktadır.

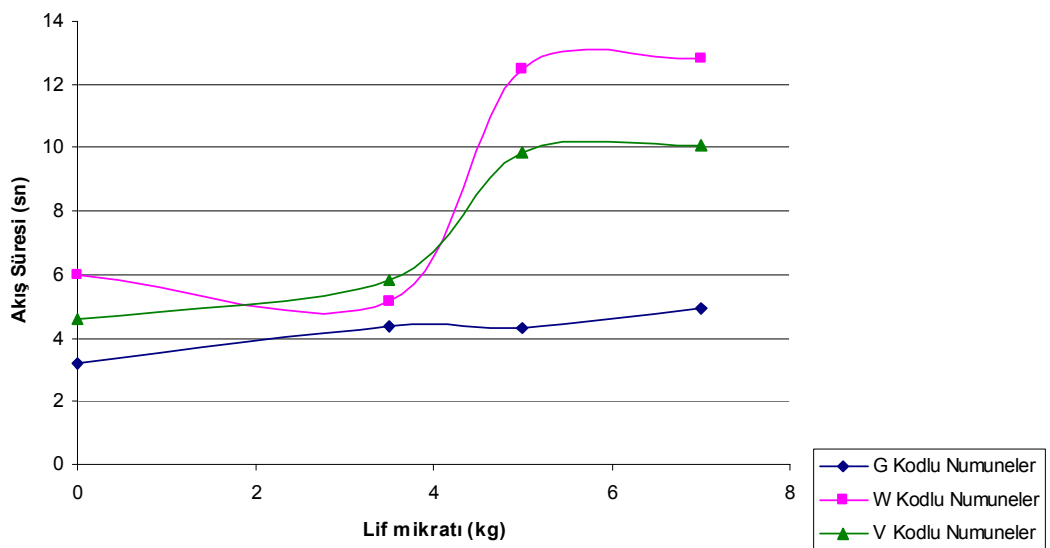
Yayılma deneyi sonuçlarına göre üretilen betonlar “Kendilinden Yerleşen Lifli Beton” olarak kabul edilebilmektedirler ancak yerinde döküm sırasındaki donatı ve kalıp şekli dikkate alınarak diğer işlenebilirlik deneyleri de uygulanmalıdır.

4.1.3 V-Hunisi Akış Süresi Ölçümü

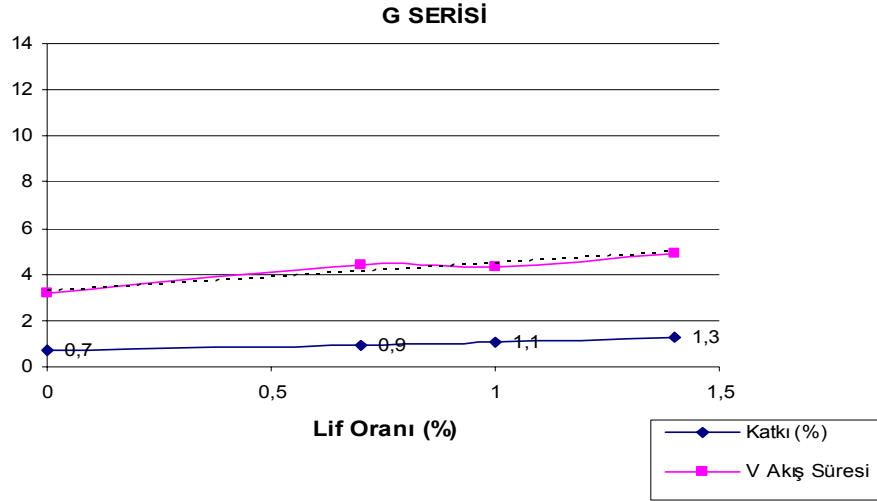
5x5 cm kapak açıklıklı,10lt kapasiteli V- hunisi kullanılarak yapıldı..Huni en üst seviyeye kadar herhangi bir şişleme yapılmadan doldurulduktan sonra alt kapak açılarak betonun huniden boşalma süresi tesbit edildi. Tablo (4.3) de V-Hunisi deney sonucu verilmiştir.

Tablo 4.3: V-Hunisi Akış Süresi Deney Sonuçları

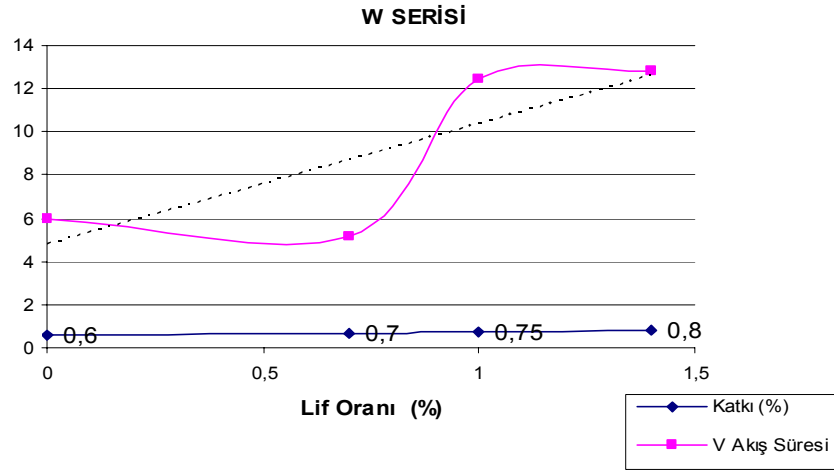
Numune Kodu	Katkı Miktarı (%)	V-Hunisi Akış Süresi (sn)
G0	3,24	3,17
GP-0,7	4,16	4,39
GP-1	5,10	4,32
GP-1,4	6,02	4,93
W0	2,80	5,98
WP-0,7	3,27	5,15
WP-1	3,50	12,47
WP-1,4	3,73	12,82
V0	5,60	4,57
VP-0,7	6,07	5,84
VP-1	6,30	9,86
VP-1,4	6,77	10,1



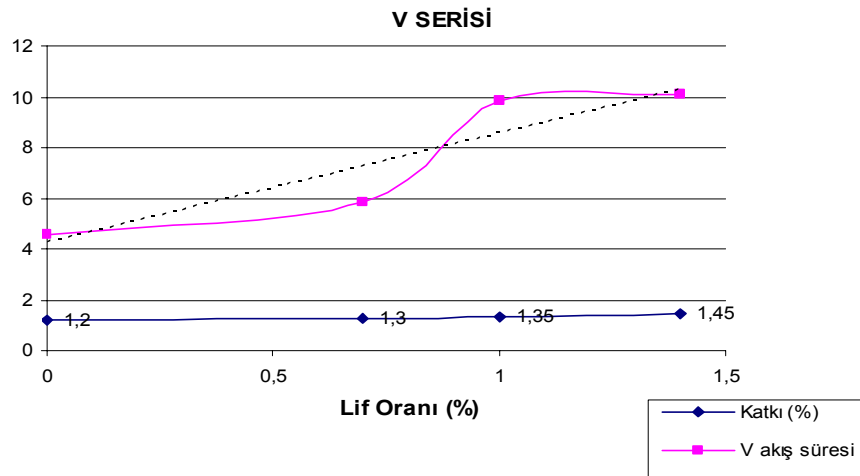
Şekil 4.2: Lif Oranı- V-Hunisi Akış Süresi Değişimi



Şekil 4.3: G Serisi Betonlarda Lif Oranı-Katkı Miktarı- Akış Süresi Grafiği



Şekil 4.4: W Serisi Betonlarda Lif Oranı-Katkı Miktarı- Akış Süresi Grafiği



Şekil 4.5: V Serisi Betonlarda Lif Oranı-Katkı Miktarı- Akış Süresi Grafiği

Şekil 4.2 deki V hunisi akış süresi deney sonuçları incelendiğinde şahit numunelerde en düşük akış süresi değerinin G0 numunesinde olduğu ve bütün serilerde lif oranı arttıkça akış süresinin de arttığı görülmektedir. Bu artış G serisinde %55 ile en az seviyede iken W ve V serilerinde sırasıyla %114, %121 olarak çok farklı değerlere ulaşmıştır. Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5 deki lif oranı-katkı miktarı-akış süresi grafikleri incelendiğinde; G serisinde lif oranının artmasıyla arttırılan katkı miktarındaki artış diğer serilere göre en yüksek değerdeyken akış süresindeki artış en düşük seviyededir. V serisi betonlar bu davranışın tam tersini göstererek en düşük katkı miktarı artışında en yüksek akış süresi artışı göstermişlerdir. Bu değerler incelendiğinde görülmektedir ki G serisi numunelerde lif oranının artması, buna bağlı olarak da katkı miktarının artması akış süresinin artışını diğer iki seri numunelere göre minimum düzeyde etkilemektedir.

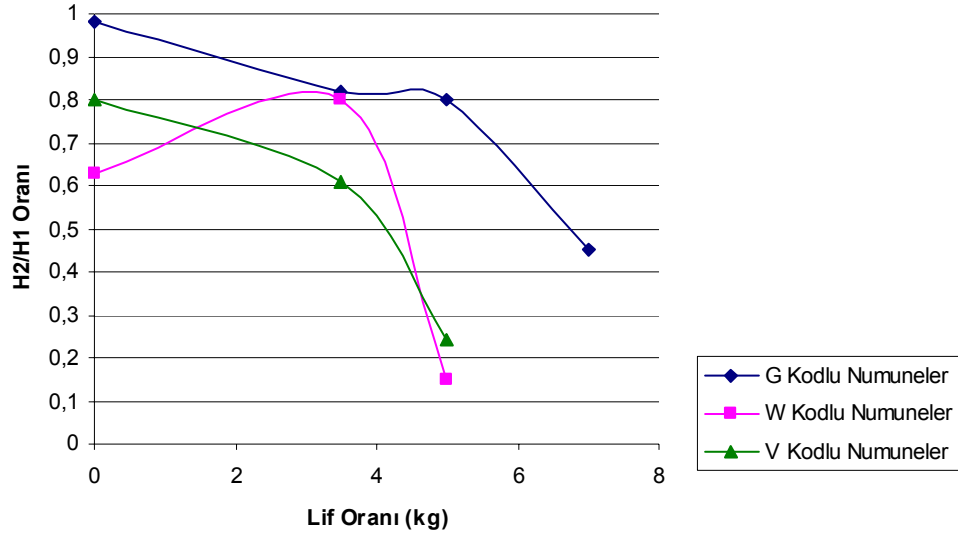
Genel olarak bütün numuneler için lif oranı arttıkça akış süresinin arttığı görülmüştür. Buna neden olarak liflerin beton ile deney aleti arasındaki sürtünmeyi arttırdığı düşünülmektedir. Akış süresi grafiği incelendiğinde G serisi numunelerde hacimce %7,36 (7 kg) 'e kadar, diğer W ve V serisi numuneler için ise %3,68 (3,5kg/m³) oranından daha fazla lif kullanılması betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliğinin azalmasına neden olduğu görülmektedir.

4.1.4 L-Kutusu Deneyi

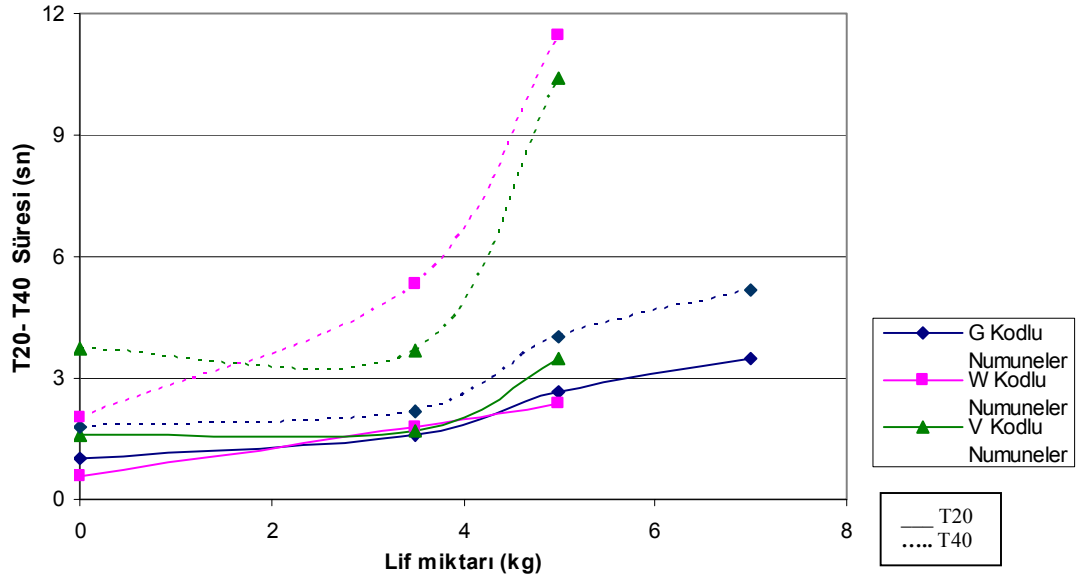
60cm yükseklikte, 80 cm genişlikte L-kutusuyla yapılan deneyde ilk olarak betonun donatılar arasından geçerek deney düzeneğinin yataydaki 20 ve 40 cm lik mesafelere ulaşma süreleri tesbit edildi. Akış tamamlandıktan sonra düzeneğin her iki ucundaki beton seviyeleri ölçülerek birbirine oranlandı. Tablo (4.4) de L-Kutusu deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.4: L-Kutusu Deney Sonuçları

Numune Kodu	L-Kutusu Deneyi	
	H ₂ /H ₁	T ₂₀ - T ₄₀ (sn)
G0	0,98	1,0-1,8
GP-0,7	0,82	1,60-2,20
GP-1	0,80	2,68-4,01
GP-1,4	0,45	3,50-5,20
W0	0,63	0,58-2,05
WP-0,7	0,80	1,78-5,33
WP-1	0,15	2,38-11,48
WP-1,4	X	X
V0	0,80	1,59-3,73
VP-0,7	0,61	1,68-3,70
VP-1	0,24	3,48-10,39
VP-1,4	X	X



Şekil 4.6: Lif Oranı - L-Kutusu Deneyi H_2/H_1 Oranı Değişimi



Şekil 4.7: Lif Oranı – L-Kutusu Deneyi T₂₀-T₄₀ Süreleri

L-kutusu deney sonuçları incelendiğinde bütün serilerde lif oranının artmasıyla H₂/H₁ oranının azaldığı görülmektedir. Lifsiz numunelerde G0 numunesinin diğer numunelere göre daha homojen bir yapı oluşturup yatay hazne boyunca akışının sürekli olduğu, böylece de akış oranının %98 ile en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Üretilen betonlarda lif miktarı arttıkça donatılar arasından geçemeyip tıkanma oluşturan lifler betonun homojenliğini ve akış sürekliliğini bozduğu böylece de akış oranını düşürdüğü görülmektedir. Akış oranındaki azalmanın en düşük olduğu G serisinde hacimce %7.36 ile maksimum oranda lif kullanılması durumunda bile betonun hazne boyunca yayıldığı fakat istenilen homojeniteyi koruyamadığı deney sırasında görülmüştür. W ve V serisinde ise %7.36 oranında lif kullanılan WP1,4 ve VP 1,4 numuneleri deney sırasında donatılar arasından geçemeyerek tıkanma yaratmış bu nedenle de bu numunelerden sonuç alınamamıştır.

T₂₀ , T₄₀ süreleri incelendiğinde akış süresinin en düşük G serisinde görüldüğü, lif oranı arttıkça da diğer numuneler göre rölatif olarak daha az bir artış gösterdiği Şekil 4.7'de de görülmektedir.

L-Kutusu deney sonuçları incelendiğinde genel olarak görülmektedir ki G serisi için hacimce %5.26 (5 kg) lif oranına kadar , W ve V serisi için de % 3,68 (3,5 kg) lif oranına kadar olan betonlar “kendiliğinden yerleşen lifli beton” olarak tanımlanabilir.



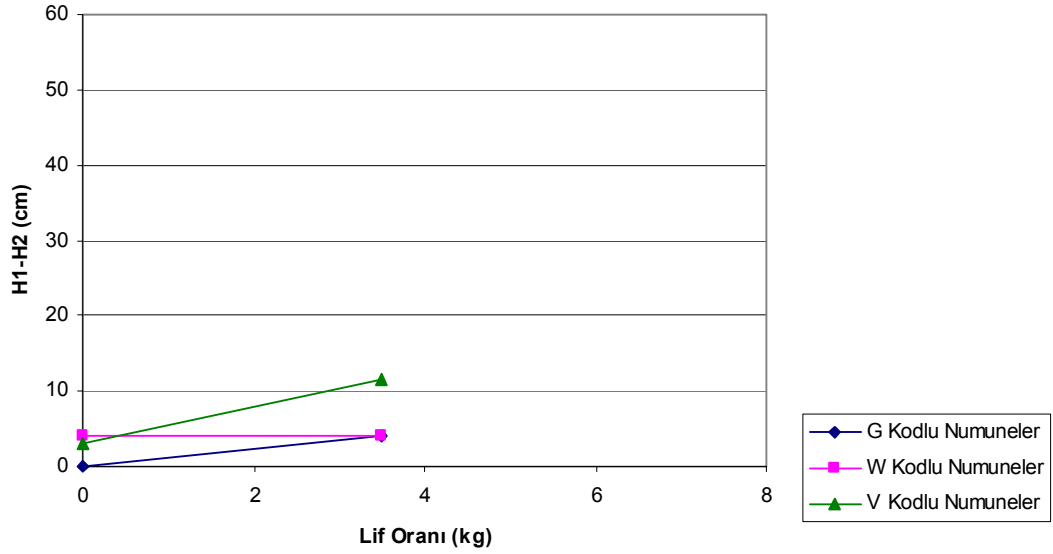
Şekil 4.8: VP1,4 ve GP1,4 Numunelerinde L-Kutusu Deneyi Sırasında Betonun Donatılar Arasından Geçemeyip Tıkanma Oluşması

4.1.5 U-Kutusu Deneyi

60 cm yükseklikte U-şeklindeki kutunun ara yüzeyindeki kapağın açılmasıyla donatılar arasından geçen betonun ikinci hazneye dolması sağlandı. Akış tamamlandıktan sonra her iki haznedeki beton yükseklikleri ölçülerek yükseklik farkları hesaplandı. Tablo (4.5) de deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.5: U-Kutusu Deney Sonuçları

Numune Kodu	U-Kutusu Deneyi
	H ₁ -H ₂ (cm)
G0	0
GP-0,7	4
GP-1	-
GP-1,4	-
W0	4
WP-0,7	4
WP-1	-
WP-1,4	-
V0	3
VP-0,7	11,5
VP-1	-
VP-1,4	-



Şekil 4.9: Lif Oranı - U-Kutusu H₁-H₂ Değeri Değişimi

U-kutusu deneyi sonunda elde edilen veriler incelendiğinde lifsiz numunelerde G0 numunesinin homojen bir yapı oluşturup donatılar arasından tamamen geçerek ikinci hazneyi tamamen doldurduğu, böylece iki hazne arasındaki beton seviye farkının 0 olduğu görülmektedir. W0 ve V0 numuneleri için de benzer özellik gösterdiği söylenebilir. Lif oranının artmasıyla betonun donatı çubukları arasından rahat geçiş sağlayamayıp yığılma oluşturması ile hazneler arasındaki beton seviye farkının arttığı görülmektedir. V serisinde ise V0 kodlu lifsiz numune ile VP0,7 kodlu %0,7 lif içeren numunede deney sonucunda aynı değerler elde edilmiş fakat lif oranının artırılmasıyla diğer VP1 ve VP1,4 numunelerinde donatılar arasında tıkanma meydana gelmiş ve deneyden sonuç alınamamıştır. W serisi betonların da V serisi ile benzer özellik gösterdiği ve hacimce %3,68 den daha fazla oranda lif içeren numunelerde U kutusu deneyinden sonuç alınamayacağı görülmüştür.

U-Kutusu deneyinde genel olarak G serisi betonların akış özeliği diğer iki seriye kıyasla daha iyi olduğu tesbit edilmiştir. Bununla beraber bütün numuneler için “kendiliğinden yerleşen lifli beton” tanımı hacimce %3.68 (3,5 kg) oranından daha yüksek oranda lif kullanılan numuneler için kullanılamamaktadır.



Şekil 4.10: GP 1 Nolu Numunede U-Kutusu Deneyi Sırasında Liflerden Dolayı Donatılar Arasında Tıkanma Oluşması

Uygulanan bütün taze beton deneyleri incelendiğinde; serbest yayılma deneyinde segregasyon oluşumuna izin verilmeden katkı miktarının artırılmasıyla bütün betonlar “kendiliğinden yerleşebilen lifli beton” olarak tanımlanmıştır. Bununla beraber herhangi bir donatı engelini olmadığı V-Hunisi akış süresi deneyinde W ve V serisinde hacimce %3,68 (3,5 kg), G serisinde ise %7,36 (7 kg)’ oranına kadar lif kullanılması uygun olduğu görülmüştür. Donatıların olduğu ve lifli betonun donatılar arasından geçebilmesi istenen bir ortamda ise uygulanan L-Kutusu ve U-Kutusu deneyleri sonucunda G katkısı ile üretilen betonlarda L-Kutusu deney sonuçlarına göre hacimce % 5,26 (5 kg) kadar lif içeriğine sahip, W ve V katkılarıyla üretilen betonlarda ise % 3,68’e (3,5 kg) kadar lif içeriğine sahip betonlar, U-kutusu deney sonucuna göre ise bütün numunelerde hacimce %3.68 oranına kadar lif içeren betonlar “kendiliğinden yerleşen lifli beton” olarak tanımlanabilir.

4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

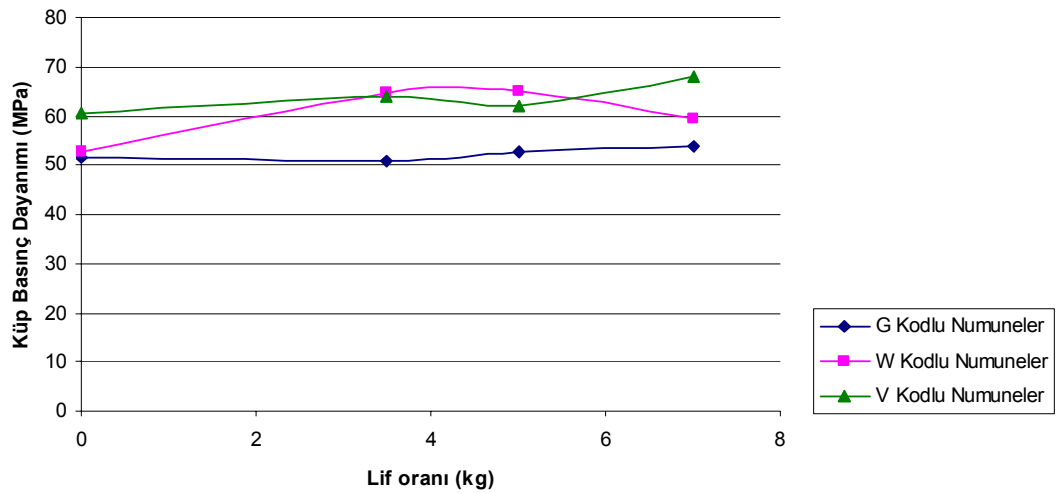
Taze beton deneyleri yapıldıktan sonra her bir bileşim için 2 adet küp, 3 adet silindir, 3 adet prizma numune alınarak toplamda 96 numune üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapıldı. Silindir numuneler üzerinde sırasıyla ultrases geçiş hızı, elastisite modülü tayini ve basınç deneyi yapıldı. Küp numuneler üzerinde basınç deneyi ve prizma numunelerde ise eğilme dayanımı tayini yapıldı.

4.2.1 Basınç Dayanımı Deneyi

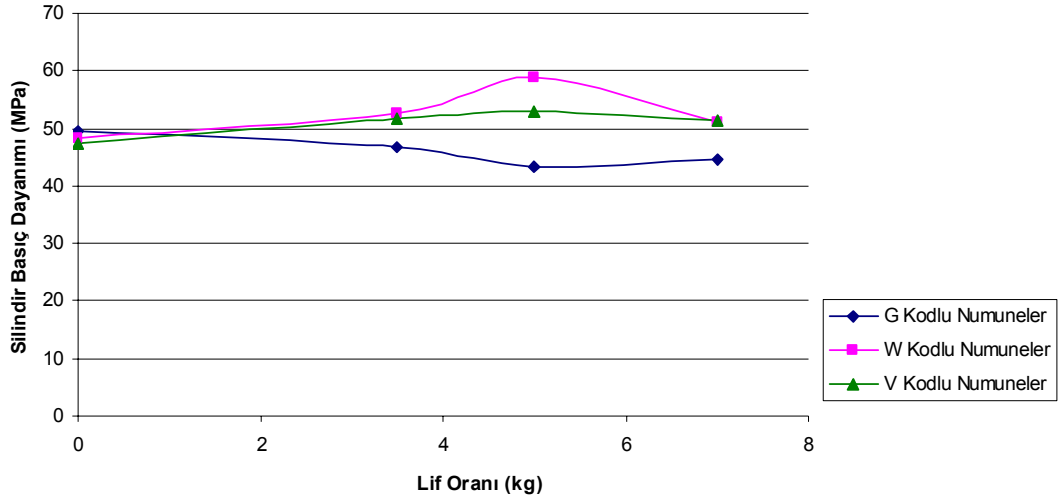
28. günde kür havuzundan çıkarılan 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler ile gene 28. günde kür havuzundan çıkarılıp başlıkları yapılan 150mm çaplı , 300 mm yükseklikteki silindir numuneler üzerinde 30-35. gün aralığında basınç deneyi yapıldı. Yükleme hızı sabit olan basınç presinde deneye tabi tutulan numunelerin kırılma yükleri tesbit edildikten sonra kesit alanına bölünerek basınç dayanımları hesaplandı. Tablo (4.6) da numunelerin küp ve silindir basınç dayanımları verilmiştir.

Tablo 4.6: Küp ve Silindir Numunelerde Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	Küp Basınç Mukavemeti (Mpa)	Silindir Basınç Mukavemeti (Mpa)
G 0	51,5	49,5
GP 0,7	50,8	46,8
GP 1	52,8	43,5
GP 1,4	53,9	44,5
W 0	52,8	48,4
WP 0,7	64,7	52,6
WP 1	64,9	58,8
WP 1,4	59,5	51,1
V 0	60,5	47,2
VP 0,7	63,9	51,6
VP 1	62,1	52,9
VP 1,4	68,2	51,3



Şekil 4.11: Lif- Oranı - Küp Basınç Dayanımı Değişimi



Şekil 4.12: Lif Oranı - Silindir Basınç Dayanımı Değişimi

Su/bağlayıcı oranı eşit olan bütün numunelerde C40-50 arasında basınç dayanımları elde edilmiştir. G serisinde hacimce %7,36 (7 kg) oranına kadar lif kullanılmasıyla dayanımda %10'luk bir azalma görülürken, V serisinde %8 lik bir artış görülmektedir. W serisinde ise % 5,26'ya (5 kg) kadar betona lif katılmasının basınç dayanımında genel olarak %20' lik bir artış sağlarken %7.36 oranında lif kullanıldığında dayanımda %15 lik bir düşüş görülmektedir.

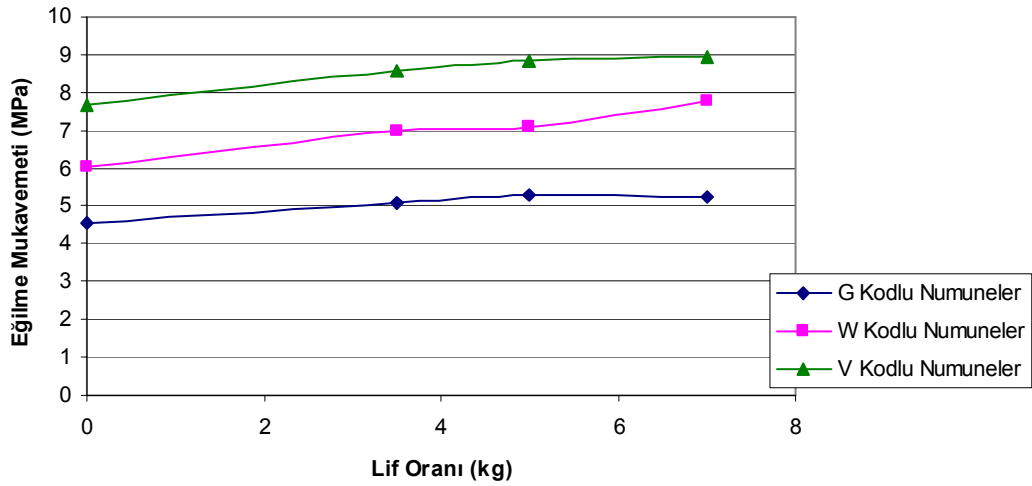
Su/çimento oranı bütün numuneler için eşit olduğundan betona katılan lif miktarının artmasının grafikte de görüldüğü gibi basınç dayanımı üzerinde fazla bir etkisi olmamaktadır.

4.2.2 Eğilme Dayanımı Deneyi

28. günde kür havuzundan çıkarılan 100x100x500 mm boyutlarındaki prizma numuneler üzerinde 30-35. gün aralığında 3 noktalı eğilme deneyi uygulandı. Numunelerin kırılma yükleri bulunarak (3.1) bağıntısı kullanılarak eğilme dayanımları hesaplandı. Tablo (4.7) de eğilme deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.7: Prizma Numunelerde Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	Eğilme Mukavemeti (Mpa)
G 0	4,6
GP 0,7	5,1
GP 1	5,3
GP 1,4	5,2
W 0	6,0
WP 0,7	7,0
WP 1	7,1
WP 1,4	7,8
V 0	7,8
VP 0,7	8,6
VP 1	8,8
VP 1,4	8,9



Şekil 4.13: Lif Oranı- Eğilme Dayanımı Değişimi

Tablo 4.7 de kendiliğinden yerleşen beton numunelerinde lif miktarına bağlı olarak eğilme dayanımlarındaki değişim görülmektedir. Lifsiz numuneler incelendiğinde G0 numunesinin 4,6 MPa ile en düşük eğilme dayanımına sahip olduğu, bunun yanında V0 numunesinin ise 7,7 MPa ile en yüksek değerde olduğu görülmektedir. V0 numunesinin eğilme dayanım değeri W serisinde maksimum lif içeren WP1,4 numunesinin 7.7 Mpa eğilme dayanımı değeri ile çok az bir farklılık göstermesi ilginçtir. Şekil 4.7 deki grafik incelendiğinde bütün serilerde lif oranının artmasıyla eğilme dayanımları da artış gösterdiği görülmektedir. Bu artış G serisinde %15, W serisinde %29, V serisinde ise %16 dır. Deney sırasında lifsiz numunelerde betonun

gevrek yapısı sonucu daha düşük yük altında ani kırılma gözlemlenmiş, lifli numunelerde ise betonun daha sünek bir yapıya kavuşması sonucu kırılmanın yavaş , kırılma yükünün de daha yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.14: GP 1,4 Numunesinde Eğilme Dayanımı Deneyi

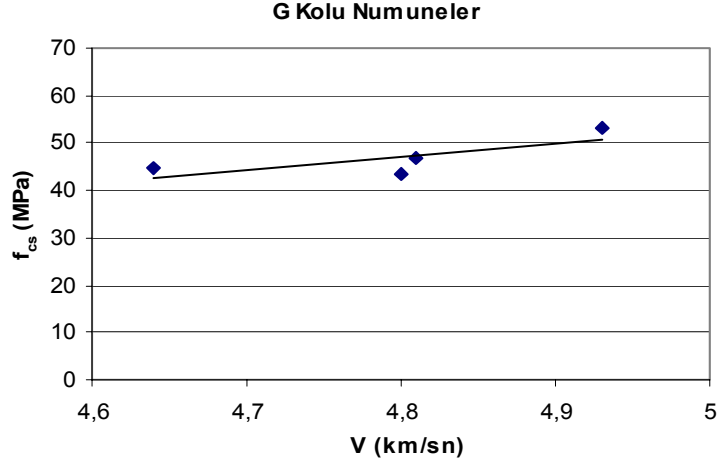
Eğilme dayanımı deney sonuçları incelendiğinde genel olarak betonda hacimce %7,36'ya (7 kg) kadar lif ilave edilmesinin eğilme dayanımını ortalama %20 kadar arttırdığı görülmektedir. Yapılan eğilme deneyinde lifsiz numunelerin kırılmalarının ani ve erken olduğu, lifli numunelerde ise betonun daha sünek bir yapı kazanması sonucu kırılmanın daha geç ve sünek bir kırılma özelliğinde olduğu deney sırasında gözlemlenmiştir.

4.2.3 Ultrases Hızı Deneyi

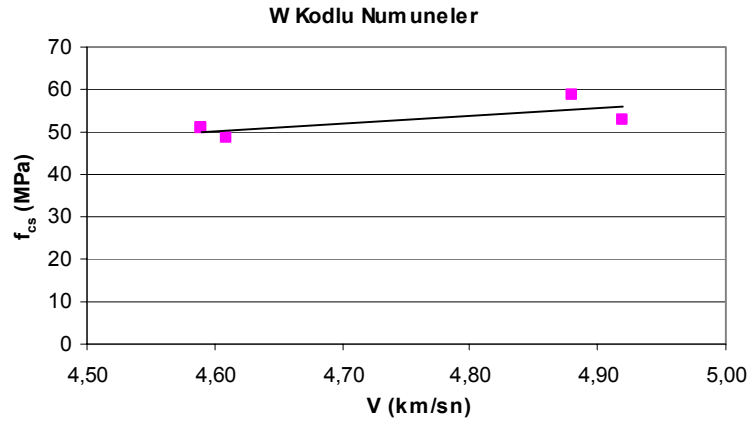
Silindir numuneler üzerinde uygulanan ultrases geçiş hız ölçümünde önce numunelerin boyları ölçüldü sonra numunenin karşılıklı iki yüzüne gres yağı sürülüp numune ses verici ve ses alıcı probaların arasına yerleştirilerek sesin numune boyunca geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçüldü. Daha sonra bulunan bu değer numunenin boyuna bölünerek ultrases hızı km/sn cinsinden hesaplanarak Tablo (4.8) de deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.8: Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

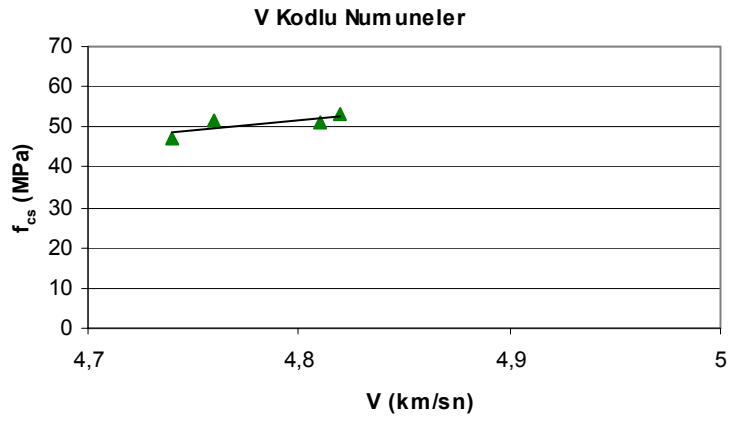
Numune Kodu	Ultrases Geçiş Hızları (km/sn)
G 0	4,93
GP 0,7	4,81
GP 1	4,8
GP 1,4	4,64
W 0	4,61
WP 0,7	4,92
WP 1	4,88
WP 1,4	4,59
V 0	4,74
VP 0,7	4,76
VP 1	4,82
VP 1,4	4,81



Şekil 4.15: G Serisi Numunelerde Ultrases Hızı – Silindir Basınç Dayanımı Değişimi



Şekil 4.16: W Serisi Numunelerde Ultrases Hızı– Silindir Basınç Dayanımı Değişimi



Şekil 4.16: V Serisi Numunelerde Ultrases Hızı – Silindir Basınç Dayanımı Değişimi

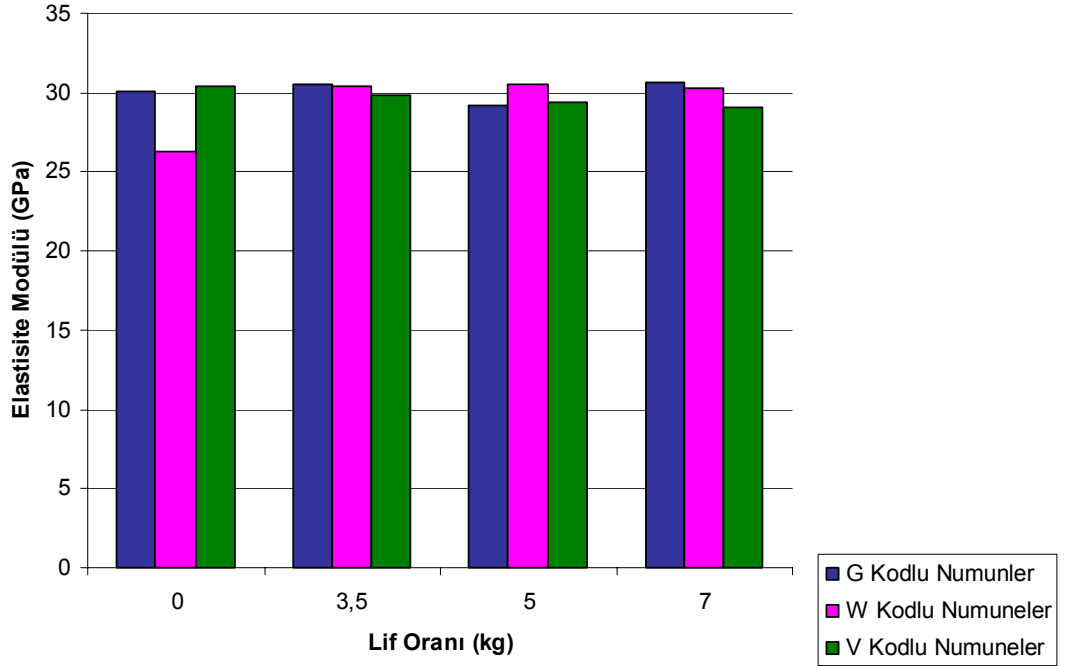
Ultrases geçiş süreleri ölçülüp hızları hesaplanan silindir numunelerin bası dayanımları ile ultrases hızları arasındaki ilişki şekil 4.8, şekil 4.9, şekil 4.10’da verilmiştir. Bu grafiklerden bütün numuneler için basıc dayanımındaki artışın ultrases hızını da arttırdığı görülmektedir.

4.2.3 Elastisite Modülü Deneyi

Silindir numunelere basıc deneyi uygulanmadan önce numunelerin düşey yer değiştirmelerini ölçmek amacıyla her bir silindir numuneye ereve takıldı. ereve üzerinde bulunan kompratr yardımıyla her 25 kN luk yüke karşılık gelen düşey yer değiştirme değeri okunarak elastisite modülleri hesaplandı. Tablo (4.9) da numunelerin elastisite modüllerinin değerleri verilmiştir.

Tablo 4.9: Elastisite Modülü Deneyi Sonuçları

Numune Kodu	Elastisite Modüllü (Gpa)
G 0	30,07
GP 0,7	30,53
GP 1	29,20
GP 1,4	30,59
W 0	26,26
WP 0,7	30,38
WP 1	30,49
WP 1,4	30,25
V 0	30,42
VP 0,7	29,86
VP 1	29,45
VP 1,4	29,038



Şekil 4.17: Lif Oranı - Elastisite Modülü Değişimi

Beton numunelerin elastisite modüllerinin değişimini gösteren Şekil 4.1 deki grafik incelendiğinde, lif oranının artışıyla G ve V serilerinde genel olarak fazla bir değişim görülmezken W serisinde %15 lik bir artış olduğu görülmektedir.

Numuneler üzerinde uygulanan sertleşmiş beton deneyleri incelendiğinde bütün numunelerde su/çimento oranının aynı olması ile basınç dayanımı ve elastisite modülünde lif etkisinin çok fazla etkili olmadığı bununla beraber basınç dayanımındaki değişime doğru orantılı olarak ultrases geçiş hızının da değişim gösterdiği söylenebilir. Polipropilen lif bu yönde betonda fazla etki oluşturmazken eğilme dayanımını her üç seride de ortalama %20 oranında arttırmış ve deney sırasında numunenin sünek kırılma gösterdiği gözlenmiştir. Enerji deneyleri ile numunelerin kırılma enerjileri ve şekil değiştirme kapasitelerinin incelenmesi bu konuda daha gerçekçi sonuçlar vereceği kesindir.

5. GENEL SONUÇLAR

- Sabit 0,47 su/bağlayıcı oranına sahip betonlarda polipropilen lif miktarının değişimi basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisi olmadığı , 235 kg/m³ su ve 350 kg/m³ çimentoya ilave 150 kg/m³ uçucu kül kullanılarak C40-C50 değerinde betonlar üretmek mümkün olduğu görülmüştür.
- KYB' da sabit su/çimento oranında lif ilave edilmesiyle işlenebilirliği arttırmak kullanılan süperakışkanlaştırıcının miktarını artırılmasıyla sağlanacağı ve lif miktarının artmasıyla da katkının kullanım miktarının da artacağı görülmüştür. Bunun yanında betonda fazla miktarda lif ve buna bağlı olarak katkı kullanımı segregasyon problemini ortaya çıkarmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada polipropilen lif miktarının hacimce en fazla % 7,36 (7kg/m³) oranında kullanılması durumunda işlenebilirliğin katkı miktarını uygun sınırlarda artırılarak korunabildiği bu değerden daha yüksek miktarda lif kullanılması durumunda işlenebilirliğin bozulduğu görülmüştür. Katkı miktarının artışı G serisi için %85 iken W serisi için %33 ve V serisi için % 20'dir.
- Üretilen numuneler üzerinde yapılan serbest yayılma deneyinde hacimce %7.36' a kadar lif içeren bütün numuneler 60-70 cm arası yayılma değeri vermiş ve bunlar yayılma deneyi sonucuna göre kendiliğinden yerleşen lifli beton olarak tanımlanmıştır.
- Donatıların bulunduğu bir ortamda ise lif miktarının artışının işlenebilirliğe etkisini belirlemek amacıyla uygulanan L-Kutusu ve U-kutusu deneylerinde görülmüştür ki her üç seride üretilen betonlarda lif miktarının hacimce %3,68 (3,5 kg/m³) kadar kullanılması durumunda KYB'nun işlenebilirlik özelliğini koruduğu ve bu betonların kendiliğinden yerleşen lifli beton olarak tanımlanıp donatıların bulunduğu yapı elemanlarında kullanılabileceği görülmüştür.
- G serisinde hacimce %5,26 oranında (5kg/m³) lif kullanılan numunelerde V-Hunisi akış süresi ve L-Kutusu deneyleri sonuçları bu numunelerin istenilen işlenebilirliği sağlanması diğer W ve V katkılarına göre daha yüksek miktarda kullanılması olarak düşünülebilir.

- Eğilme dayanımlarında üç farklı süperakışkanlaştırıcı katkı ile üretilen betonlarda lif miktarının artmasıyla artmasıyla G ve V serisinde %15, W serisinde ise %30 luk bir artış görülmüştür. Gevrek bir malzeme olan betonun lif katılmasıyla sünek bir yapı kazandığı bilinmektedir. Yapılan üç noktalı eğilme deneyinde lifsiz numunelerin ani kırılma gösterdiği lifli numunelerin ise daha sünek bir kırılma oluşturduğu görülmüştür. Daha somut bir veri elde edilebilmesi açısından Enerji deneyi yapılarak betonun kırılma enerjisinin belirlenmesi şekil değiştirme kapasitesinin incelenmesi gerekir.
- Betona polipropilen lif ilave edilmesinin asıl amacının betonda oluşabilecek rötre çatlaklarını önlemek ve durabiliteyi arttırmak olduğundan polipropilen lifli betonların bu amaca değerlendirilmesinde fayda vardır.

KAYNAKLAR

- [1] **Okamura, H.**, 1997. Self Compacting High Performance Concrete, Concrete International, **V.19, No:7**, 50-54
- [2] **Gaimster, R. and Dixon, N.**, 2003. Self-Compacting Concrete, in Advanced Concrete Technology.
- [3] **Özkul, M.,H.**, 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, **52**, 64-71.
- [4] **Sağlam, R.,A., Parlak, N., Doğan, A., Ü. ve Özkul, M.,H.**, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Çimento Katkı Uyumu, 6.Ulusan Beton Kongresi, İTÜ, İstanbul, 16-18 Kasım 2005, s. 213-224
- [5] **ACI 544.1R-96**, 1996. State of the Art Report On Fibre Reinforced Concrete
- [6] **Alkan G.**, 2004. Polipropilen Lifli Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] **Nakara, Y.**, 1998. Will Self Compacting High Performance Concrete be Used More Widely in Japan?, May 1998, 65
- [8] **Japanese Ready Mixed Concrete Association**, 1998. Manual of Producing High Fluidity (Self Compacting) Concrete, Japanese Ready Mixed Concrete Association, Tokyo- Japanese
- [9] **Su, N., Hsu, K. and Chai H.**, 2001. A Simple Mix Design Method for Self Compacting Concrete, Cement and Concrete Research, **31**, 1799-1807
- [10] **EFNARC** , 2002. Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete
- [11] **Self Compacting Concrete**, 2000. State of the Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, Ed. by Skarendahl, A., Petersson , Ö., RILEM publication
- [12] **Lars, M., Tviksta, G.**, 2000. SCC: Guidelines, TR9-V9, End Product, Brite EuRan Proposal
- [13] **Bartos, P.J.M., Sonebi, M. And Tamim, A.K.**, Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests, RILEM Technical Committee TC 145-WSM Workability of Special Concrete Mixes.

- [14] **Doğan, A., Ü.**, 2000. Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [15] **Akman, S.**, 2000. Yüksek Performanslı Betonların Taze Haldeki Özelliklerine Katkı Maddelerinin Etkisi, SİKA-Teknik Bülteni, 2000/1, İstanbul
- [16] **Şengül, C.**, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [17] **SİKA Teknik Bülteni**, Beton Katkılarının Değerlendirilmesinde ve Kalite Kontrolünde Önemli Parametreler, İstanbul
- [18] **Felekoğlu, B., Baradan, B., Sarıkahya, H. ve Yüceer, L.**, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik Kaybının Azaltılmasında Polikarboksilat Bazlı Akışkanlaştırıcıların Kullanımı, 6.Ulusan Beton Kongresi Bildirileri, İTÜ, İstanbul, 16-18 Kasım 2005, s. 53-62
- [19] **Özkul, M.,H., Doğan A., Ü., Çavdar, Z., Sağlam, R., A. ve Parlak, N.**, 2000. Effects of The Self Compacting Concrete Admixtures on Fresh and Hardened Concrete Properties, Cement and Concrete Technology in the 2000s, Second International Symposium, İstanbul, 6-10 September
- [20] **Berke, N., S., Cornman C., R., Jeknavorian, A., A., and Knight F.**, 2002. The Effective Use of Superplasticizers and Viscosity Modifying Agents in Self Consolidating Concrete, The Proceedings of The First North American Conference on The Design and Use of Self Consolidating Concrete, November 12-13, The Center of Advanced Cement-Based Materials, A. Hanley-Wood Publication , pp 165-170
- [21] **Roks, S., Amroise, J.N. and Pera, J.**, 1999. Effect of Different Viscosity Agents on The Properties of Self-Levelling Grout, Cement and Concrete Research, **29**, 261-266
- [22] **ASTM C618**, 1998. Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, No:4
- [23] **TSEN 197-1**, 2002. Çimento-Böüm1: Genel Çimentolar-Bileşim,Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Mart 2002

- [24] **Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. ve Yeğınobalı, A.**, 2004. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara 2004
- [25] **Cabrera J., G. and Hassan, K., E.**, 1998. The Use of Classified Fly Ash to Procedure HPC, Sixty CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silika Fume, Slag and Pozzolans in Concrete, Bangkok 1998
- [26] **Erdinç, M.**, 1995. Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimsizliği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] **Şengül. Ö., Taşdemir M.A. ve Sönmez, R.**, 2003. Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirimsizliği, 5.Ulusal Beton Kongresi , İstanbul ,1-3 Ekim , s. 75-85
- [28] **Joshi, R.C. and Lohtiva, R.P.**, 1997. Fly Ash in Concrete: Production, Properties and Uses, Pub.by Gordon and Breach Science, Canada
- [29] **Akman , S., Yıldırım, H.**, Uçucu Kül ve Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Birlikte Kullanımının Yararları , Sika Teknik Bülteni, 2002.
- [30] **Şahmaran, M., Yaman, Ö.,İ. ve Tokyay, M.**, 2004. Yeninesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri İle Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 10-12 Haziran, s. 225-233
- [31] **Neville, A.M.**, 1995. Properties of Concrete , 4th ed., Logman Group, pp.757-758
- [32] **ACI Committee 266**, 1998. Use of Fly Ash in Concrete, ACI Materials Journal
- [33] **Massazza, F. and Costa, U.**, 1979. Aspect of Pozzolanic Activity and Properties of Pozzolanic Cements, II Cemento76, Jan-March
- [34] **Tikal'sky, P., J., Carrasquillo, P.M. and Carrasquillo, R., L.**, 1988. Strength and Durability Considerations Affecting Mix Proportioning of Concrete Containing Fly Ash, ACI Materials Journal, **85**
- [35] **Doğan, A., Ü. ve Özkul, H., M.**, 2005. Uçucu Küllü Betonlarda Geçirimsizlik ve Basınç Dayanımına Bağlı Olarak Optimum Karışımların Bulunması, 6.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 16-18 Kasım, 339-348
- [36] **Hannant, D.J.**, 2003. Fibre Reinforced Concrete , in Advanced Concrete Technology
- [37] **Naaman, E., A.**, Fibre Reinforcement for Concrete: Looking Back, Looking Ahead

- [38] **Collepardi, S.**, 2005. Characteristics of the Flexion Behaviour of Joists Made of Concrete Reinforced With Polypropylene and Polypropylene-Polyethylene Fibres Produced by “La Matassina S.R.L.”, Italy
- [39] **Erbaş, M.**, 2003. Polipropilen Lifler ve Betonun Durabilitesine Etkisi, 5.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 1-3 Ekim 2003, s. 593-603
- [40] **Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk A.N. ve Yerlikaya M.**, 2004. Betonun Performansına Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 10-12 Haziran 2004, s. 24-57

ÖZGEÇMİŞ

Burcu SERTBAŞ, 1980 yılında İstanbul’ da doğdu. Orta öğretimini Ö.Doğuş Koleji, Lise öğretimini Ö.Doğuş Fen Lisesi’ nde tamamladı. 1998 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 1998–1999 öğretim yılında başladığı lisans öğrenimini 2002 yılında tamamladı. 2003 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı Yapı Malzemesi Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.