

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TIPLERDEKİ ÇELİK VE POLİPROPİLEN LİFLERİN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA İŞLENEBİLİRLİĞE VE
MEKANİK DAVRANIŞA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Osman Onur TEZEL
(501031189)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr.Nabi YÜZER(YTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Hakan N. ATAHAN(İTÜ)

OCAK 2010

Sevgili Eşime ve büyümemin her anını gözlemleyen biricik anneme ve babama ,

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 İTÜ Yapı Malzemesi Lab. çalışanlarına, deneysel çalışmalar sırasındaki malzeme temini ve yardımlarından dolayı çalışma arkadaşlarım Halil ÖZTÜRK, Halit KARLIDAĞ ve Serkan KURT'a gösterdikleri sevgi, destek ve sabır için sevgili eşim ve biricik aileme, teşekkür ederim.

Aralık 2009

Osman Onur TEZEL

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Beton	1
1.2. Beton Bileşimini Oluşturan Maddeler	1
1.2.1. Çimento	2
1.2.2. Agregalar.....	2
1.2.3. Karışım Suyu.....	3
1.2.4. Katkı Maddeleri.....	3
1.2.5. Mineral Katkılar.....	5
1.3. Kendiliğinden Yerleşen Beton.....	5
1.3.1. KYB Bileşiminde Kullanılan Malzemeler.....	7
1.3.1.1. Çimento.....	7
1.3.1.2. Mineral Katkılar.....	7
1.3.1.3. Agregalar.....	8
1.3.1.4. Kimyasal Katkılar.....	9
1.3.1.5. Pigmentler.....	11
1.3.1.6. Lifler.....	11
1.3.1.7. Karışım Suyu.....	11
1.3.2. KYB Tasarım Yöntemi.....	12
1.3.3. KYB Deney Yöntemleri.....	12
1.3.4. KYB'de Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımı.....	17
1.3.4.1. Viskozite Arttırıcı Katkının Etkisi.....	21
1.4. Betonun Kırılma Mekanizması Üzerinde Lif Etkisi.....	22
1.4.1 Lif Çeşitleri.....	24
1.4.1.1. Doğal Lifler.....	25
1.4.1.2. Metal Lifler.....	25
1.4.1.3. Cam Lifler.....	25
1.4.1.4. Sentetik Lifler.....	25
1.5. Polipropilen Liflerin KYB Özelliklerine Etkisi.....	27
1.5.1. Taze Beton Özellikleri ve İşlenebilirliğe Etkisi.....	28
1.5.2. Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi.....	28
1.5.3. Durabiliteye Etkisi.....	28
1.5.4. Yangına Karşı Dayanma Etkisi.....	29

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
2.1 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	31
2.1.1 Agregaların özellikleri	31
2.1.1.1 Kum.....	31
2.1.1.2 Taştozu.....	31
2.1.1.3 Çakıl I.....	31
2.1.1.4 Karışım.....	31
2.1.2 Çimento özellikleri.....	32
2.1.3 Karışım suyu.....	33
2.1.4 Katkılar.....	34
2.1.5 Akışkanlaştırıcılar ve viskozite düzenleyiciler.....	34
2.1.6 Çelik lifler.....	34
2.1.7 Propilen lif.....	34
2.2 Beton Karışımları.....	35
2.3 Beton Üretimi.....	35
2.4 Taze Beton Deneyleri.....	36
2.4.1 İşlenebilme deneyleri.....	36
2.4.1.1 Yayılma.....	36
2.4.1.2 V hunisi.....	37
2.4.1.3 U kutusu.....	37
2.4.1.4 L kutusu.....	38
2.5 Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	38
2.5.1 Basınç dayanımı.....	38
2.5.2 Elastisite modülü.....	39
2.5.3 Ultra Ses hızı.....	39
2.5.4 Eğilme dayanımı.....	40
3. DENEY SONUÇLARI.....	41
3.1 Taze Beton Deney Sonuçları.....	41
3.1.1 Yayılma T50 deney sonuçları.....	41
3.1.2 V hunisi deney sonuçları.....	42
3.1.3 U-kutusu deney sonuçları.....	43
3.1.4 L kutusu deney sonuçları.....	44
3.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	45
3.2.1 Basınç dayanımı deney sonuçları.....	45
3.2.2 Elastisite modülü sonuçları.....	48
3.2.3 Ultrases hızı deneyi.....	51
4. GENEL SONUÇLAR	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	58

KISALTMALAR

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
ACI	: American Concrete Institute
SCC	: Self Compacting Concrete
ASTM	: American Society for Testing and Materials

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Betonun Çeşitli Özellikleri.....	2
Çizelge 1.2 : KYB'nin Tasarım Yöntemine Göre Malzeme Miktarları.....	12
Çizelge 1.3 : KYB Test Metodları ve Kabul Değerleri.	13
Çizelge 1.4 : Sentetik Liflerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	27
Çizelge 2.1 : Agregaların Özgül ve Birim Ağırlıkları.....	32
Çizelge 2.2 : 16 mm için Agrega ve Karışım Granülometrik Analizleri.....	32
Çizelge 2.3 : Çimentonun Fiziksel özellikleri.....	33
Çizelge 2.4 : Çimentonun basınç dayanımı sonuçları.....	33
Çizelge 2.5 : Çimentonun kimyasal bileşimi.....	33
Çizelge 2.6 : Katkıların özellikleri.....	34
Çizelge 2.7 : Çelik Liflerin Özellikleri.....	34
Çizelge 2.8 : Polipropilen Lifin Özellikleri.....	35
Çizelge 2.9 : Üretilen Betonun Kodlanması	36
Çizelge 3.1 : Yayılma ve T ₅₀ Süreleri Sonuçları.....	42
Çizelge 3.2 : V Hunisi Deneyi Sonuçları.....	42
Çizelge 3.3 : U-Kutusu Deneyi Sonuçları.....	44
Çizelge 3.4 : L-Kutusu Deneyi Sonuçları.....	45
Çizelge 3.5 : Silindir Basınç Dayanımı Sonuçları.....	46
Çizelge 3.6 : Elastisite Modülü Sonuçları.....	49
Çizelge 3.7 : Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları.....	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Yayılma.....	14
Şekil 1.2 : V funnel.....	15
Şekil 1.3 : U kutusu.....	16
Şekil 1.4 : L kutusu.....	17
Şekil 1.5 : Doldurma kutusu testi deney düzeneği.....	18
Şekil 1.6 : Süperakışkanlaştırıcı katkıların moleküller yapıları.....	20
Şekil 1.7 : Geleneksel süperakışkanlaştırıcıların çalışma mekanizması.....	20
Şekil 1.8 : Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcıların çalışma mekanizması.....	21
Şekil 1.9 : Lifli betonların yük taşıma kapasitesi.....	22
Şekil 2.1 : Karışım granülometri eğrisi.....	32
Şekil 2.2 : Serbest yayılma ölçümü.....	37
Şekil 2.3 : V hunisi akış süresi ölçümü.....	37
Şekil 2.4 : U kutusu deneyi.....	38
Şekil 2.5 : L kutusu deneyi.....	38
Şekil 2.6 : Elastisite modülü deneyi.....	39
Şekil 2.7 : Eğilme dayanımı deney düzeneği.....	40
Şekil 3.1 : U kutusu deneyi sırasında liflerden dolayı donatılarda tıkanma.....	43
Şekil 3.2 : L kutusu deneyi sırasında liflerden dolayı donatılarda tıkanma.....	44
Şekil 3.3 : Basınç dayanımı testi.....	46
Şekil 3.4 : GRC kodlu numuneler için lif oranı-basınç dayanımı.....	47
Şekil 3.5 : GZP kodlu numuneler için lif oranı-basınç dayanımı gelişimi.....	47
Şekil 3.6 : GSP kodlu numuneler için lif oranı-basınç dayanımı gelişimi.....	48
Şekil 3.7 : GOL kodlu numuneler için lif oranı-basınç dayanımı gelişimi.....	48
Şekil 3.8 : Elastisite modülü deney düzeneği.....	49
Şekil 3.9 : GRC kodlu numuneler için elastisite modülü-lif miktarı değişimi.....	50
Şekil 3.10 : GZP kodlu numuneler için elastisite modülü-lif miktarı değişimi.....	50
Şekil 3.11 : GOL kodlu numuneleri için elastisite modülü-lif miktarı değişimi.....	51
Şekil 3.12 : GSP kodlu numuneler için elastisite modülü-lif miktarı değişimi.....	51

ÖZET

FARKLI TİPLERDEKİ ÇELİK VE POLİPROPİLEN LİFLERİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA İŞLENEBİLİRLİĞE VE MEKANİK DAVRANIŞA ETKİSİ

Kendiliğinden yerleşen beton için; taze haldeki davranış özellikleri kritiktir. Genellikle bu özelliği yayılma ve V hunisi testi ile ölçülür. KYBeton'a yeterli miktarda çelik ve polipropilen lif eklenmesi akış zamanını arttırır, betonun işlenebilirliğine ve diğer taze beton özelliklerine negatif etkiye sahiptir.

Bu çalışmada, farklı tiplerde çelik ve polipropilen lifler kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik ve mekanik özellikleri karşılaştırılmaktadır. Lifsiz, 3 farklı lifli ve bir polipropilen lif içeren 13 farklı karışım dizaynı üretilmiştir.

Üretilen KYB'lerin agreg a hacmi, su miktarı ve su/bağlayıcı oranı sabit tutularak; maksimum tane boyutuna göre, çelik ve polipropilen liflerin miktar ve narinliklerindeki farkların, kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirlik, basınç dayanımı, elastisite modülü ve ultrases hızı gibi özelliklerine etkisi gözlemlenmiştir.

Her karışımın taze beton özellikleri; yayılma, V hunisi, L kutusu ve U kutusu kullanarak incelenmiştir. Sertleşmiş beton özellikleri için basınç dayanımı, ultrases ve elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar; karışım içerisinde lif oranının hacmi arttıkça akış zamanının artmasına, işlenebilirlik ve diğer taze beton özelliklerini negatif etkilediğini göstermiş, kullanılan süperakışkanlaştırıcının dozu arttırılarak işlenebilirliğin arttırılabileceği belirlenmiştir. Yalnız yapılan çalışmalar, KYB'nin taze beton özelliklerini belirleyen V Hunisi, L Kutusu ve U Kutusu gibi test metodlarının Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonlara uygun olmadığını göstermektedir.

Sertleşmiş beton özellikleri incelendiğinde ise; sabit su/çimento oranında lif oranının hacminin artması basınç dayanımını pozitif yönde etkilerken, elastisite modülü değeri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Bu çalışmaların ışığında farklı tiplerdeki çelik ve polipropilen liflerin kullanılabilecek optimum dozları belirlenmeye çalışılmıştır.

Lif kullanılan betonların birbirlerine göre işlenebilirlik ve mekanik özelliklerindeki farklılıklar gözlenmiştir.

SUMMARY

THE EFFECT OF DIFFERENT TYPE OF STEEL AND POLYPROPYLENE FIBRES ON THE MECHANICAL AND WORKABILITY PROPERTIES OF SCC

The characterization of behaviour in the fresh properties is critical for self compacting concrete(SCC), and it is usually performed through tests such as the slump flow or the V funnel. The addition of polypropylene and steel fibers to SCC in sufficient quantity increases the flow time and has a negative influence on workability and the other fresh properties

In this study, the workability and mechanical properties of self compacting concrete produced by using different types of steel and polypropylene fiber is compared. 13 different mix design which consists of no fiber, 3 different steel fiber and 1 different polypropylene fiber are produced.

While the volume of aggregate amount of water/binder ratio in self compacting concrete production are constant; how the difference of amount and slenderness of steel and polypropylene concrete such as; the workability of concrete, compressive strength, modulus of elasticity and ultra sound is observed according to maximum size of aggregate.

The fresh properties of each mixture were investigated using the slump flow, V funnel, Fill box and U box, tests; the hardened properties included the compressive strength, ultrasound, modulus of elasticity. Experimental results indicate that increasing the volume fraction of fibers increases the flow time and has a negative influence on workability and the other tests. It is observed that the workability increases by increasing the dosage of superplasticizer. However, the test methods determining the fresh properties of SCC such as V funnel, L Box, U Box are not suitable for fiber reinforced SCC.

When hardened properties of concrete is analyzed, it is noticed that the increase of fiber volume in water/cement ratio affects positively the compressive strength on the other hand does not have any impact on modulus of elasticity.

With respect to the researches, it is tried to determine optimum dosage in each type of polypropylene and steel fiber.

The difference at the properties of workability and mechanical in fiber reinforced SCC is observed according to each other.

1. GİRİŞ

1.1 Beton

Dünyanın en eski yapı malzemesi olan beton, günümüzde inşaat teknolojisinin vazgeçilmez parçası olmaya devam etmektedir. Beton 5000 yıl önce Mısır Piramitlerinin inşası sırasında günümüze kadar yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Bu kadar uzun süredir kullanılmasına rağmen; günümüzde beton geliştirilemeye en açık malzemedir[17].

Beton; çimento, ince ve kaba agregası, su ve gerektiğinde çeşitli kimyasal ve/veya mineral katkıları içeren kompozit bir malzemedir [26]. Beton çağdaş toplumların temelini oluşturan malzemelerin en önemlilerinden biridir. Çevremize baktığımızda, binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, havaalanları, kent mobilyaları v.b. betondan yapıldığını görürüz.

Betonun bu derece yaygın bir yapı malzemesi olarak kullanılmasının en önemli nedenleri; kolay şekil verilebilmesi, ekonomik olması, dayanıklı olması ve daha az enerji ile üretilmesidir. Taze haldeyken plastik kıvama sahip olması betona istenilen şeklin verilmesini sağlar. Diğer bir deyişle, taze beton sertleştiğinde içine konulduğu kabın şeklini almış olur. Beton üretiminde büyük ölçüde yerel malzemeler kullanılır. Bu durum maliyetinin diğer yapı malzemelerine göre düşük olmasındaki en önemli noktalardan biridir. Uygun bir şekilde tasarlanmış, üretilmiş, yerleştirilmiş, sıkıştırılmış ve bakımı yapılmışsa uzun yıllar herhangi bir bakım, onarım gerektirmeden hizmetini sürdürür [17].

1.2 Beton Bileşimini Oluşturan Maddeler

Beton genel yapısı, agregası adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli malzemeler ve onları bağlama görevini üstlenen çimento ve suyla karıştırılması ile oluşur. Bu yapıda, çimento su birleşimi olan hamur kum ve iri agregası tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agregası taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun dayanımını

artırır. Çakıl veya kırmataş taneleri betonun bir nevi iskeletidir ve betonun maruz kaldığı kuvvetlere karşı koyar. Günümüzde bu yapı içerisinde mineral katkıları ve kimyasal katkıları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 1.1: Betonun çeşitli özellikleri

Basınç Dayanımı	30 N/mm ²
Eğilme dayanımı	5 N/mm ²
Çekme dayanımı	3 N/mm ²
Elastisite modülü	25000 N/mm ²
Poisson oranı	0,17
Isıl genleşme katsayısı	10 x 10 ⁻⁶ °C
Yoğunluk	2300 - 2350 kg/m ³

Beton mutlak hacim olarak ortalama %70-75 oranında agrega, %10 oranında çimento, %15 oranında su ve % 1,5-2 oranında havadan oluşur. Gerektiğinde çimento oranının %2' sinden fazla olmamak kaydı ile katkı maddesi ilave edilebilir [17,1].

1.2.1 Çimento

Öğütülmüş kalker ve diğer hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılıp döner fırınlarda pişirildikten sonra elde edilen klinkerin, alçı taşı ve diğer katkılarla karıştırılıp öğütülmesiyle elde edilen toz halindeki bağlayıcıya çimento denir.

Çimentonun beton içerisindeki işlevi; agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevi yapmaktır [17,1].

1.2.2 Agrega

Beton içerisinde kullanılan ve betonun yaklaşık olarak %60-85' ini oluşturan kırmataş, kum-çakıl gibi malzemelere agrega denir. Agregalar doğal (kum-çakıl, kırmataş) ve yapay (yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil, perlit) olmak üzere iki farklı kökene sahiptir. Ancak her mineral kökenli malzeme veya endüstriyel atık, beton agregası olarak kullanılamaz.

Agregalar kaba ve ince agrega olarak iki kısımda incelenebilir. Şantiyelerde kaba agrega “mıcır-kırmataş” yada “çakıl”, ince agrega “kum” olarak isimlendirilir. Bu iki bileşeni tane büyüklüğü olarak birbirinden ayırmak için kullanılan kriter 4 mm boyutundadır. 4 mm' den büyük boyuttaki tanelerden oluşan kısma kaba agrega, 4 mm' den küçük boyuttaki kısma ise ince agrega denir [30]. Agrega bir yerde betonun iskeletini oluşturduğundan özelliklerinin kullanılmasından önce deneylerle belirlenmesi gerekir [17,27].

1.2.3 Karışım suyu

Betonda kullanılan suyun hidratasyon adı verilen kimyasal reaksiyonu başlatıp sürdürmek ve betonun işlenebilirliği sağlamak gibi iki önemli işlevi vardır.

Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir. Beton karma suyu asit niteliğinde olmamalıdır. Sülfat, değişik tuz v.b. betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermemelidir [17].

1.2.4 Katkı maddeleri

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce transmiksere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmak mümkündür:

Betonun birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton içerisindeki çimento miktarı baz alarak belli oranlarda katılan organik veya inorganik kökenli kimyasallar katkı maddesi olarak adlandırılırlar. Katkı maddeleri çoğunlukla beton karışım suyuna katılır. Gereğinden fazla kullanıldığında aksi etkiler oluşturabileceği gibi yine gereğinden az kullanıldığı takdirde hiç bir faydası olmayabilir [17].

Akışkanlaştırıcılar genelde üç amaç için kullanılırlar :

- Katkısız betonla aynı işlenebilmede olmak şartıyla su/çimento oranını azaltarak daha yüksek mukavemet kazanmak
- Kütle betonlarda hidratasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilirliği kazanmak. (Katkının bu şekilde diğer beton türleri içinde kullanılması aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretimi sağlaması anlamına gelmektedir).
- Kolay yerleşmeyi sağlamak için (özellikle ulaşılabilen köşelerde) işlenebilmeyi artırmak.

Akışkanlaştırıcıların genel olarak betondaki olumlu etkileri, sabit işlenebilmede su gereksinimini % 5'den fazla azaltabilir, her yaştaki basınç dayanımını %10'dan fazla artırabilir, daha sıkı bir beton elde ederek donma çözölmeye, agresif ortama dayanıklılık artar, geçirimsizlik sağlanır, yüzey görünümü düzelir. Olumsuz etkileri ise priz gecikebilir, rötre artabilir, çökme kaybı meydana gelebilir [1,5].

- Akışkanlaştırıcı katkıları;

Betonun işlenebilir özelliğini artırıcı katkı maddeleridir. Aynı zamanda beton karma suyu ihtiyacını azalttıklarından betonun dayanımını da artırırlar. Bu guruba giren katkıları çoğunlukla çimento ağırlığının %0.2 -0.5 arası oranlarda kullanılır.

- Süper akışkanlaştırıcılar ;

Daha çok yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan bu katkılarla betonun su/çimento oranını 0,25' lere düşürmek mümkündür. Ancak süper akışkanlaştırıcılar normal akışkanlaştırıcılara kıyasla %1-%3 gibi çok daha yüksek dozajlarda kullanılır.

- Priz süresini değiştiren katkılar ;

Taze betonun priz adı verilen sertleşme sürecinin bazı koşullarda hızlandırılması veya geciktirilmesi istenebilir. Özellikle yaz aylarında, uzun taşıma mesafelerinde priz geciktiriciler, kış aylarında ise priz hızlandırıcılar kullanılır.

- Priz Geciktiriciler;

Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdır.

- Priz Hızlandırıcılar;

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkılar betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

- Hava sürükleyici katkı maddeleri ;

Soğuk iklim koşullarında donma-çözülme tehlikesine karşı koruyan bu maddeler, aynı zamanda betonun işlenebilirliğini arttırırlar.

- Antifriz ;

Bu tip katkılar beton içindeki suyun donma sıcaklığını düşürerek suyun donmasını ve betonun çatlamasını engeller. Ancak soğuk hava şartlarında betona sadece antifriz katkı ilave edilmesi kesin çözüm olmayıp döküm yerinde betonun korunması için özel önlemlerin alınması gereklidir.

- Su Geçirimsizlik Katkıları ;

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir. Kimyasal katkılar, yukarıda bahsedilen etkilerinden dolayı bütün inşaat sektöründe betonun ayrılmaz parçası olmuştur.

- Diğer katkılar ;

Hafif beton, geçirimsiz beton, rötreyi önleyici, aderansı artırıcı, renklendirici vb...değişik katkı maddeleri vardır.

1.2.5 Mineral katkılar

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf , uçucu kül , silis dumanı, taş unu... vb. çeşitli maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkılar tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkılardan yüksek dayanımlı beton üretiminde de yararlanılır

Çimentonun yada betonun belirli bir özelliğini daha iyi bir duruma getirmek amacıyla kullanılan katkılar ile istenilen hedeflere ulaşırken diğer bazı özelliklerde iyiye doğru olmayan değişimler olabilir. Böyle bir durumu anlayabilmek için belirli koşullar altında katkı kullanarak ve kullanmayarak kıvam deneyi, rötreyi deneyi ve mukavemet deneylerin yapılmalı ve bu deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak katkı maddelerinin betonun diğer özellikleri üzerinde bir zararı olup olmadığı anlaşılır. Bu açıdan katkı maddelerinin kullanılmasında çok titiz davranılmalı, uygulamada yapılabilecek küçük bir hatanın bile olumsuz sonuçlar doğuracağı unutulmamalıdır [5].

1.3 Kendiliğinden Yerleşen (Sıkışan) Beton

Kendiliğinden (Sıkışan) Yerleşen Beton (KYB); kendi ağırlığı altında sıkışabilen, yoğun donatılı ve dar kesitli bölgelerden dahi hiçbir ek sıkıştırma önlemi almadan kalıbı doldurabilen ve homojenliğini koruyabilen çok akıcı kıvamlı betondur. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar ilk olarak 1980'lerin sonlarında Japonya'da geliştirildi. Daha sonra Avrupa ve Amerika'da farklı uygulamalar ve farklı yapı türlerinde kullanılmaya başlandı [17].

Vibrasyon gerektirmediği için gürültü kirliliğinin ortadan kaldırılması, işçiliğin azaltılması, daha hızlı üretime olanak sağlamanın 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 [17]. Sınırlandırılmış iri agrega miktarı, azaltılmış en büyük agrega dane çapı, mikro filler 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 [28,30].

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 [17]. KYB'larda yüksek işlenebilirlik süperakışkanlaştırıcılarla sağlanırken ayırmaya (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

dumani tercih edilir. Böylece iri agregalar arası mesafe doldurularak içsel sürtünmeler azaltılıp betonun akıcılığının artmasıyla reolojik özellikler olumlu yönde etkilenmektedir [17,27].

Gevrek bir malzeme olan betona karışım sırasında lif ilave edilmesiyle daha sünek bir yapı oluşturularak betonun bazı mekanik özelliklerinde iyileşme beklenir. Lifler; tipi, boyutu, narınlık 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 arttırır. Sentetik lif çeşidi olan polipropilen lifler ise özellikle rötre çatlaklarının önlenip durabilitenin arttırılması amacıyla kullanılır. Betonun yangına karşı dayanımını da arttırdığı da bilinmektedir [1]. KYB'larda su/bağlayıcı oranının düşük olması, terlemeyi önleyici katkı kullanılması ve uçucu kül veya silis dumani kullanılarak ince malzeme miktarının arttırılması ve böylece terlemenin neredeyse tamamen yok olması betonu plastik rötreye karşı hassas bir duruma getirmektedir.

Bu nedenle oluşabilecek plastik rötre çatlaklarını önlemek amacıyla çok az miktarda da olsa polipropilen lif kullanılması çatlakları önlemede ve betonun durabilitesinin artması yönünde önemli yararlar sağlar [5].

1.3.1 KYB bileşiminde kullanılan malzemeler

KYB için kullanılan malzemeler geleneksel vibrasyonlu malzemelerle aynıdır. Bu malzemelerin hepsi TS EN 206-1'e uygun olmalıdır. Ancak KYB performansının stabil olması için malzemelerin uniformluğu kontrol edilmelidir. Malzemelerin uniformluğu standartların belirttiği varyasyonların içinde kalmalıdır. Bu sayede rutin KYB üretimleri uygunluk kriteri içerisinde kalır [21].

1.3.1.1 Çimento

TS EN 197-1'e uygun üretilen tüm çimento tipleri KYB üretimi için kullanılır. Doğru çimento tipi; her uygulamanın istediği özel şartlarla göre veya özel istekler hariç üreticinin yaygın olarak kullandığı çimento tipine göre belirlenir.

1.3.1.2 Mineral katkı

KYB'nun taze haldeki isteklerini yerine getirmek için, Dışardan ve puzolonik/hidrolik mineral katkılar segregasyon ve kohezyon direncini arttırmak için yaygın olarak kullanılır. Bu katkılar çimentonun hidrasyon ısını ve termal büzülmesini azaltmak için de kullanılır.

Ayrıca Mineral katkılar KYB 'nin iyi bir yüzey bitişile bitmesive güzel bir görünüm için seçilir fakat mineral katkının tipine göre dış görünümde renk farklılıkları gözlemlenebilir.

- Mineral Filler

Fillerin tane boyutu, şekli ve su emmesi KYB'nin üretiminde su ihtiyacı veya hassasiyetini ve bu yüzden kullanım için uygunluğunu etkileyebilir. Kalsiyum karbonat bazlı mineral fillerler yaygın olarak kullanılan, mükemmel reoloji özellikleri veren iyi bir yüzey bitişini sağlayan malzemelerdir. Bu malzemelerde kullanılan uygun tane boyutu 0,125 mm'den küçük olan kısımdır ve genelde bunların %70'nin 0,063 mm elekten geçmesi istenir. Bu malzemenin KYB uygulamasında kullanılması için su ihtiyacı ve tane boyutu uygun olmalıdır. Bu nedenle diğer uygun malzemelerle karşılaştırılmalıdır.

- Uçucu Kül

Uçucu kül; KYB için kohezyonu artırmayı sağlama ve su miktarı değişikliğine hassasiyeti azaltmada etkin bir katkıdır. Ancak; yüksek miktardaki uçucu kül akışa karşı dirençli çok kohezif bir beton üretimine sebep verebilir.

- Silis Dumanı

Silis dumanının yüksek seviyedeki inceliği ve küresel şekli iyi kohezyon ve gelişmiş segregasyon direnci sağlar. Ancak; Silis dumanı akmayı azaltma veya ortadan kaldırmada çok etkilidir ve bu hızlı yüzey sertleşme problemlerinin artmasına sebep olur. Eğer sevk edilen betonda çatlaklar varsa, bu betonda soğuk derz ve yüzey problemlerine sebebiyet verir ve bu da yüzey bitişlerinde zorluklara sebebiyet verir.

- Fırın Curufu

Fırın curufu hidartasyon ısısı düşük bir reaktif ince malzeme sağlar. Bazı CEM II ve CEM III sınıfı çimentoların içinde olduğu gibi hatta bazı ülkelerde mineral katkı olarak karışıma katılır. Yüksek miktarda fırın curufu yavaş betonun yavaş priz alması esnasında ayrışma riskini artırırken, KYB'nin hassasiyetini azaltarak stabilitesini etkileyebilir.

- Diğer Mineral Katkılar

Metakaolin, doğal puzolan ve diğer ince fillerler KYB için mineral katkı olarak düşünülebilir veya kullanılabilir, fakat betonda kısa ve uzun dönemde ki etkilerini dikkatlice değerlendirmek gerekir.

1.3.1.3 Agregalar

Normal ağırlıktaki agregalar TS EN 12620 ve TS EN 206-1'in durabilite şartlarına uygun olmalıdır. Hafif agregalar TS EN 13055-1'e uygun olmalıdır.

Tüm agregaların ince içeriğinde nemi, su emmesi, boyutu ve çeşitliliği devamlı ve yakın bir şekilde gözlemlenmeli ve stabil kalitede KYB üretimi için göz önünde bulundurulmalıdır. Tedarik kaynağı değiştiğinde beton özelliklerinde önemli değişiklik yapılmış gibidir ve bu nedenle kaynak değişikliği dikkatlice ve tam olarak değerlendirilmelidir.

Agreganın şekil ve parça büyüklüğü dağılımı çok önemlidir ve bu durum paketleme ve hava içeriğini etkiler. Bazı karışım dizaynı metodları gereken harç ve çimento

hamurunun hacmini tahmin etmekde agreganın hava içeriği kullanılır. Bazı karışım dizaynlarında ince ve kaba agregalar arasında atlamalı gradasyon ve/veya tek boyutlu agregalar kullanılır.

- Kaba Agregalar

TS EN 12620'ye uygun kaba agregalar; KYB üretimi için elverişlidir. KYB için hafif agregalar başarıyla kullanılır, ama dikkat edilmelidir ki eğer viskozitesi düşükse agregaya yüzeye çıkabilir ve bu elek segregasyon direnci testinde tesbit edilemeyebilir.

Maksimum agregaya büyüklüğü donatılar arası boşluğu belirlemede en temel faktördür. KYB'nin donatılar arasından akışı sırasında agreganın bloklanmasından kaçınılmalıdır. KYB karışımının akış kabiliyeti için L BOX testi endikasyon oluşturur. Daha büyük ebatlı agregaya kullanılsa bile maksimum agregaya boyutu 12-20 mm ile kısıtlandırılmalıdır.

Parçacık büyüklüğünün dağılımı ve kaba agreganın şekli betonun akış kabiliyetini ve çimento hamuru gereksimini direk olarak etkiler. Daha küresel agregaya parçacığı daha az agregaya bloklanması ve azalan iç sürtünmeye bağlı olarak daha çok akış yeteneği demektir.

- İnce Agregaya/Kum

İnce agreganın taze beton üzerindeki etkisi bariz bir farkla kaba agregadan daha büyüktür. 0.125 mm'den daha küçük boyuttaki parçacıklar çimento hamuruna dahil edilmeli ve su/toz oranı hesaplanırken hesaba alınmalıdır.

KYB'de yüksek çimento hamuru hacmi kum tanecikleri arasında iç sürtünmeyi azaltır ama iyi bir tane büyüklüğü dağılımı hala önemlidir. Çoğu KYB karışım dizayn metodunda, optimum agregaya granülometri eğrisini yakalayabilmek için karıştırılmış kum kullanılmaktadır ve bu aynı zamanda su/çimento hamur içeriğini azaltmayı sağlamaktadır. Bazı üreticiler eksik gradasyonlu kum tercih etmektedir.

1.3.1.4 Kimyasal beton katkıları

TS EN 934-2'ye uyumlu süper akışkanlaştırıcı veya yüksek oranda su azaltıcı katkıları önemli KYB bileşenleridir. Segregasyon ve özellikle nem içeriği gibi karışımın değişimine duyarlı olduğu diğer unsurları azaltmaya yardımcı olmak için

viskozite düzenleyici katkılarda kullanılabilir. Aynı şekilde geleneksel vibrasyonlu betonlarda hava sürükleyici katkılarda kullanılabilir ama katkı üreticisinin kullanıma yönelik önerisi alınmalı ve ek olarak optimum zaman aranmalıdır. Üretici firma TS EN 934-2'ye uymalıdır.

Optimum performans için katkı seçimi bağlayıcı/katkının fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenebilir. İncelik, karbon içeriği,alkalis ve C₃A gibi faktörlerin etkisinde olabilir.

Bu sebeple bu unsurların tedarikinde bir değişiklik yapılacaksa uygunluklarının dikkatlice kontrol edilmesi önerilir.

Kimyasal katkıların; bir üretimden diğer üretim arasında normalde çok stabil olacaktır. Fakat başka bir kaynağa yönelme veya aynı üreticiden başka tip bir katkı talebi KYB'nin performansında önemli etkilere gösterebilir ve herhangi bir değişiklik yapılmadan önce katkılar tam olarak kontrol edilmelidir.

- Süper Akışkanlaştırıcı/Yüksek Oranda Su Azaltıcı Katkılar

Kullanıcının spesifik gereksinim ve diğer karışım unsurlarının etkilerine bağlı olarak çoğu katkı üreticisinin çeşitli süperakışkanlaştırıcı katkısı bulunur.

Katkı istenen su azaltmayı ve akışkanlığı meydana getirmeli ama aynı zamanda nakliye ve uygulama süresince dağıtıcı etkisini korumalıdır. Talep edilen kıvam koruma uygulama esnasında da devam etmelidir. Nakliyesi ve yerleştirmesi yapılacak betona göre prekast betonun daha kısa koruma zamanına gereksinimi vardır.

- Viskozite Düzenleyici Katkılar

KYB'nin kohezyonunu, akışkanlığını değiştirmeden düzenleyen katkılara denir. Bu katkılar, nem içeriğindeki, kumdaki ince tane veya tane büyüklüğü dağılımındaki değişimden katkının minimum düzeyde etkilemesi için kullanılır. KYB'yi daha sağlam ve bileşen oranları veya durumlarındaki küçük değişimlere karşı daha az duyarlı kılar. Ancak, bu iyi bir karışım dizaynından kaçınmak veya diğer KYB'yi oluşturan unsurların dikkatlice seçiminden vazgeçmek anlamına gelmemelidir. Şu anda TS EN 934-2 viskozite düzenleyici katkıları kapsamamaktadır. Ama TS EN 934-2'nin Çizelge 1'ndeki koşullarına uyumlu olmalıdır. Ek olarak, performans kriterleri tedarikçi tarafından belirlenmelidir.

- Hava Sürükleyici Katkılar

Hava sürükleyiciler KYB'nin donma-çözünme kalıcılığını arttırır. Aynı zamanda, düzgün yüzey bitişi ve hava sürükleyişini geliştirirken düşük toz oranı ve düşük KYB dayanımını stabilize eder.

1.3.1.5 Pigmentler

EN 12878 uygun pigmentler KYB ile başarılı bir şekilde kullanılabilir, aynı dikkat ve sınırlamaları geleneksel vibrasyonlu betonlar gibidir. Ancak; betonun taze halini etkileyebileceği için KYB'de ön deneme yapmadan kullanılmamalıdır.

Genel olarak; KYB'nin yüksek akışkanlığı nedeniyle; pigmentlerin dağıtması çok etkilidir ve daha üniform renkler elde edilir, hem silonun içinde hemde silolar arasında aynıdır. Ancak; KYB'nin dha yüksek çimento hamuru istenen renk yoğunluğunu sağlamak için pigmentin daha yüksek dozlarda kullanılmasını sonucunu doğurabilir.

1.3.1.6 Lifler

Hem metalik hemde polimer lifler KYB'nin üretiminde kullanılmaktadır. Fakat lifler betonun akışkanlık ve geçme kabiliyetlerini azaltır. İstenen taze ve sertleşmiş haldeki betonun özelliklerini sağlamak için tipi, uzunluğu ve miktarı yapılan denemelerle belirlenir.

Polimer lifler betonun plastik büzülme nedeniyle oluşan çatlakları ve oturmaları önlerken, KYB'nin stabilitesini de geliştirebilir.

Çelik veya uzun polimer yapıllı lifler sertleşmiş betonun sünekliğini modifiye etmek için kullanılır. Liflerin uzunlukları ve miktarı yapının ihtiyaçlarına ve maksimum agrega boyutuna bağlı olarak seçilir. Eğer normal donatının yerine kullanılırsa, betonun akışında bloklanma riski olmaz fakat normal donatıda önemli bir oranda fazla kullanılırsa KYB kullanımında bloklanma riski artar.

1.3.1.7 Karışım suyu

Karışım suyu EN 1008'e uygun olarak kullanılmalıdır. Beton endüstrisinde üretiminde geri dönüşüm suyu kullanan yerlerde tip/miktar kullanılır ve şüphelenilen tanecik miktarının çeşitliliği dikkate almak gerekir, bu karışım uniformluğunu silodan siloya etkileyebileceğinden.

1.3.2 KYB tasarım yöntemi

KYB; geleneksel betonlara göre karışım dizayn metodu çok farklıdır. Bileşiminde çimento, su, ince agrega, kireçtaşı pudrası gibi doldurucu özellik gösteren malzemeler ile uçucu kül, silis dumanı gibi puzolonik malzemeler bulunmaktadır. Bunlara ek olarak yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar ve viskozite düzenleyici kimyasal katkıları da dizayna eklenir. Üretilen beton karışımının hedeflenen işlenebilirliğe ve ayrışma direncine sahip olması gerekir. Bu üretilen beton karışımı donatıların arasına çok iyi yerleşmeli, ayrışma ve topaklanma gibi bir eğilimi olmamalıdır. Bu amaçla, kendiliğinden yerleşen betonların üretiminde su/pudra oranı kontrol edilir, akışkanlığı etkin bir şekilde artıran kimyasal katkıları kullanılır ve kullanılan iri agrega miktarı sınırlı tutulur. Temel tasarım yöntemine göre dizaynda dikkat edilecek noktalar aşağıda verilmiştir.

- Hacimsel olarak; betonun %50'si harç ve %50'si kaba agregadan oluşmalıdır. %50'lik harç kısmında %30'u çimento, %30'u su ve %40'ı ince agregadan oluşmalıdır.
- Düşük W/C oranı elde edebilmek ve uzun süreli işlenebilirlik için Polikarboksilik eter esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar ve viskozite düzenleyici katkıları kullanılabilir.

Bu tasarım yöntemine göre tavsiye edilen tipik karışım için tavsiye edilen malzeme miktarları aşağıdaki gibidir [13,17].

Çizelge 1.2: KYB'un tasarım yöntemine göre tavsiye edilen malzeme miktarları

İnce Malzeme Miktarı (<0,125 mm)	400-600 kg/m ³
Kum Miktarı (0,125 mm-4 mm)	Harç hacminin %40'ı
Kaba agrege miktarı D _{max} = 20 cm	Gerçek birim ağırlığının %50'si
Uçucu kül miktarı	Çimento + U. kül hacminin %40'ı
Su/Toz	0,9-1,0 (Hacimsel olarak)

1.3.3 KYB deney yöntemleri

Laboratuvar şartlarında kendiliğinden yerleşen betonun testi için gerekli deneyler dünyada kullanılmaktadır. Bu deneyler taze betonun akışkanlığını, ayrışmasını, yerleşmesini ve sıkışmasını test ederler.

Bir betona “Kendiliğinden Yerleşen Beton” denilebilmesi için aşağıdaki özelliklerin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının da verilen sınır değerlerin içinde kalması gerekir. Bu özellikler;

- Doldurma Kabiliyeti “Filling Ability”
- Geçme Kabiliyeti “Passing Ability”
- Ayırışmaya Karşı Direnç “Segregation Resistance”

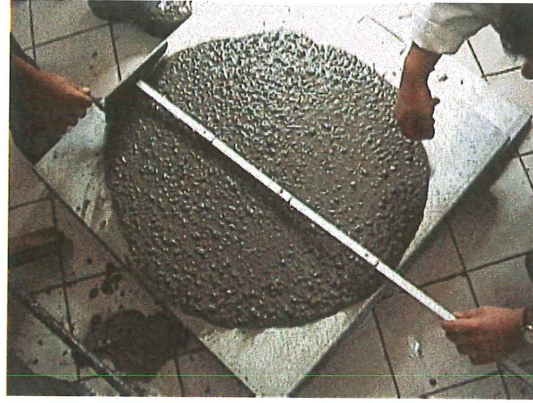
Bu parametrelerin ölçülmesi için bazı deney metodları geliştirilmiştir. Bu yöntemler ve kabuledilebilir limit değerler aşağıdaki Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3: KYB’nu test metodları ve kabuledilebilir limit değerler

Deney Metodu	Ölçülecek Özellik	Birim	Limit Değer	
			Min	Max
Yayılma Tablası	Doldurma Kabiliyeti	mm	650	800
Yayılma Tab. 50cm yayılma için geçen süre	Doldurma Kabiliyeti	sn	2	5
V-Hunisi	Doldurma Kab. Ayırış. Karşı Dir.	sn	6	12
U-Kutusu Ölçümü (H)	Geçme Kabiliyeti	mm	30	-
L-Kutusu	Geçme Kabiliyeti	H ₂ /H ₁	0,8	1
Doldurma Kutusu	Geçme Kabiliyeti	%	90	100

Bu deney yöntemlerinden bazıları aşağıda tanımlanmıştır:

- Slump – Flow (Çökme – Yayılma Deneyi): Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini yani “doldurma kabiliyetini” ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Yayılma tablası üzerine konulan slump hunisi içerisine, şişleme yapılmadan beton doldurulduktan sonra, slump hunisi yukarıya çekilerek herhangi bir sarsma yapmadan, betonun kendi ağırlığı ile yayılması beklenir. İki farklı noktalardan yayılma çapları ölçülerek kaydedilir.
- V- Hunisi Deneyi: Betonun boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deneyidir. Deney aletinin içi en üste kadar doldurulduktan sonra alttaki kapak açılmak suretiyle betonun alttaki kovayı doldurma süresi ölçülür.



Şekil 1.1: Yayılma testi

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 kapagın 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. t_{ki} değeri arasındaki fark segregasyon direnci hakkında fikir verebilir [7,13]. Şekil 2.2'de V- hunisi deney düzeni görülmektedir .

- U- Kutusu Deneyi: Betonun kendi ağırlığı altında donatı çubukları arasında geçebilme yeteneğini ölçmek için kullanılan bir doldurma deneyidir. Bu deney, betonun paralel çubuklardan geçtikten sonraki yüksekliği cinsinden kendiliğinden yerleşebilirliğini ölçer.

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 düzenegi iki hazneye ayıran ama tabana kadar inmeyen bir orta duvar bulunmaktadır. Bu duvar ile düzenegin tabani arasında düşey yönde 13 mm çaplı 35 mm net açıklıklı donatılar ve bu donatıların önünde de kayıcı bir kapak bulunmaktadır.



Şekil 1.2: V hunisi

Deney düzeneginin 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. Akiş 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 yeteneginin yüksek olduğu sonucuna ulaşılır [7,13]. Şekil 2.4’ de U –kutusü deney düzenegi görülmektedir.

- L-Kutusü 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 yeteneginin belirlenmesi amacıyla uygulanan bu yöntemle betonun tıkanma riski değerlendirilir. Deney düzenegi olarak yatay ve dikey hazneden oluşan, Şekil

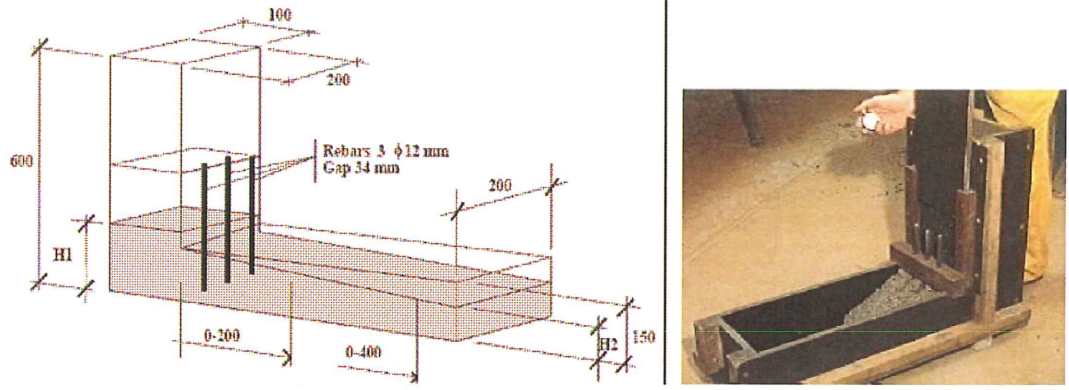
2.2’de ölçüleri verilen, ahşap ya da çelikten yapılabilen L şeklindeki kutu kullanılır. Dikey hazne ile yatay hazne birbirinden dik yönde yerleştirilmiş 3 adet 12 mm çaplı donatı ile ayrılır. Ayrıca dikey haznenin sonunda bir de kapak bulunmaktadır. Düzenegin iç yüzeyi nemlendirilip ara kapak kapatıldıktan sonra dikey hazne yaklaşık 13 lt betonla, şişleme yapılmadan, doldurulur.



Şekil 1.3. U Kutusu

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. Kapagin kaldırılmasıyla süre başlatılır ve betonun bu mesafelere kadar ulaşma süreleri ölçülür. Akış tamamlandıktan sonra düzenegin 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 deneye; betonun donatılar arasından geçiş durumuna göre tıkanma olasılığı, iri agreganın hazne boyunca ilerleme durumuna göre de segregasyon direnci hakkında bilgi elde edilir [7,13]. Şekil 1.4’ de L-Kutusu deney düzenegi verilmiştir.

- **Fill - Box Deneyi:** Bu deney betonun kendi ağırlığı altında sıkı donatı çubukları arasından akarak kendiliğinden yerleşen beton özelliğini ölçmek için kullanılan bir deneydir. Betonun ayrışma ve terleme yapmadan sıkı donatı çubukları arasından akışını gözlemleyerek ölçülür.



Şekil 1.4. L-kutusu

Simule edilmiş doldurma testi olarak da adlandırılan bu deney yöntemi Japonya’da Ozawa tarafından geliştirilmiştir. Yüksek akışkanlı betonlar su altı betonları ve kendiliginden 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 düzenine yüzeyleri şeffaf bir malzemeden 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:

$$F(\%) = (h_1 + h_2) \times 350 \div 2 / (h_1 \times 350) \times 100 = h_1 + h_2 \div 2 h_1 \times 100 \quad (1.1)$$

KYB için min. %90 olarak kabul edilen bu değer büyüklüğü betonun doldurma yeteneğinin yüksek olduğunu gösterir [7,13] . Şekil 2.5’ de doldurma kutusu deney düzeni verilmiştir.

1.3.4 KYB’de 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

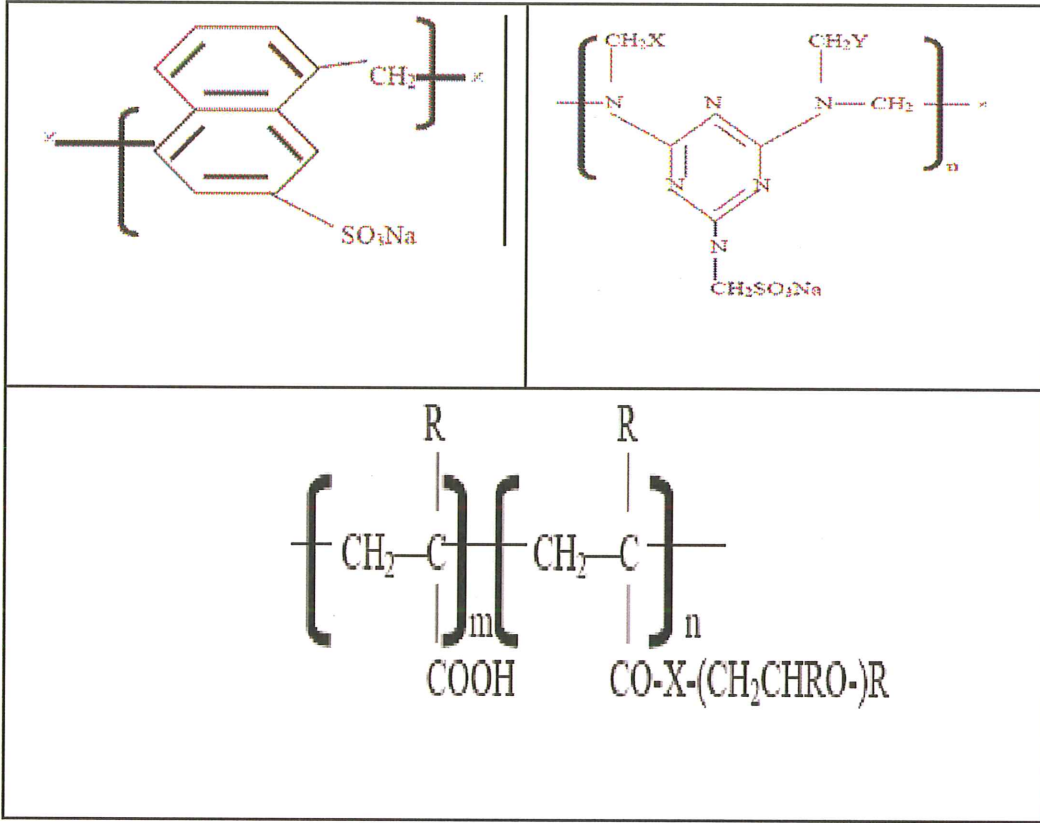
süperakışkanlaştırıcı moleküllerinin bağlayıcı tanecikler tarafından absorbe edilmesi sonucu oluşur. Dispersiyon olayı farklı teorilerle açıklanmıştır.

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

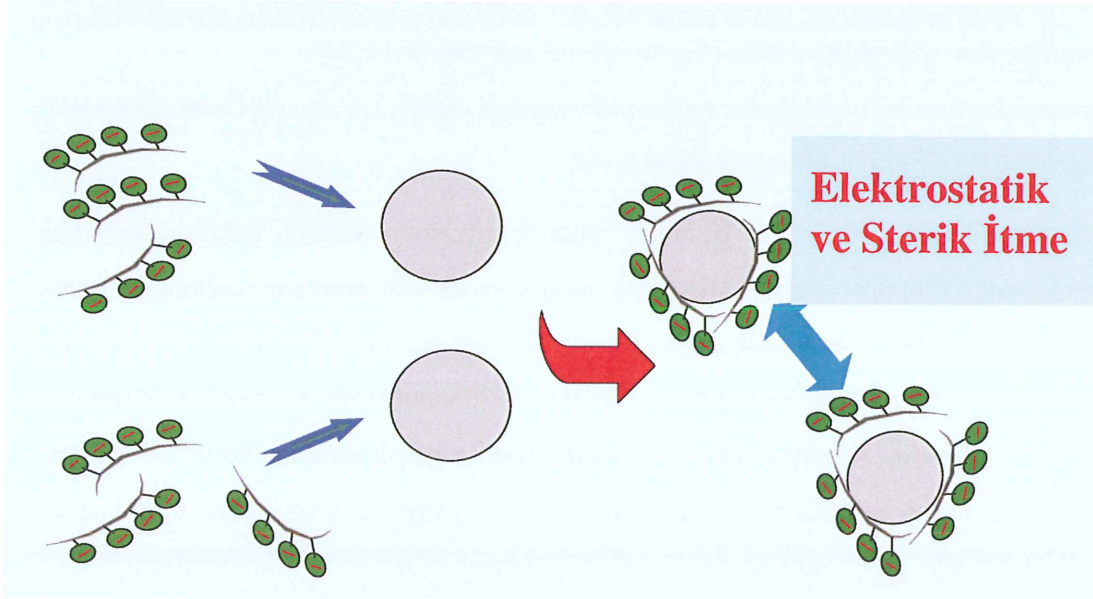
Çimento taneleri su ile temas edip çözünmeye başlayınca ortama Ca^{++} iyonları verir. Çimento tane yüzeyinde artan Ca^{++} iyonu konsantrasyonu, absorbe edilen akışkanlaştırıcının polimer moleküllerinin tane yüzeylerine yapışmasını sağlar [35]. Böylece negatif yükle yüklenen çimento taneleri arasında 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 viskozitede azalır. Böylece uzun süre en küçük detaylara kadar ayrışma göstermeden ve vibrasyon gerektirmeden kendiliğinden yerleşebilen betonlar üretilabilmektedir[4,11,35].

Süperakışkanlaştırıcı katkıların moleküler yapıları Şekil 1.6’de, etki mekanizmaları ise Şekil 1.7 ve Şekil 1.8’ de görülmektedir.

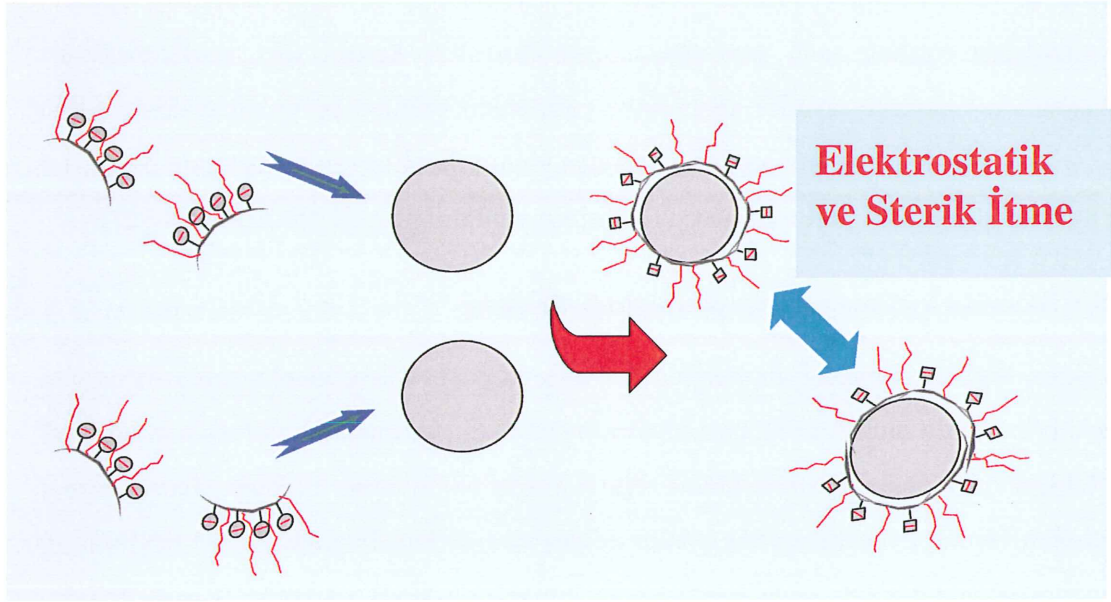
KYB üretiminde; yüksek akışkanlık, yüksek ayrışma direnci gösterip betonun kararlılığını koruyarak işlenebilirliğinin uzun süre devam etmesini sağlamak büyük ölçüde kullanılan bu polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcı katkıya bağlıdır. Polikarboksilatlar kendi aralarında su kesme ve işlenebilirliği korumak bakımından farklılık gösterirler. Bunun temel nedeni katkı üretiminde kullanılan hammadde farkı, kati madde oranı, molekülü oluşturan ana zincir ve yan zincirin kimyasal yapısı ve molekül ağırlığı gibi faktörlerdir. Yapılan çalışmada [16] polikarboksilatların farklı kimyasal yapıları nedeniyle betonda işlenebilirliği koruma özelliklerinin değişim gösterdiği görülmüştür. Özellikle polikarboksilatların üzerlerindeki ana zincirlerin ve yan zincirlerin yapısı ve uzunluğu değiştikçe polimerin işlenebilirlik koruma ve su kesme özellikleri değişebilmektedir.



Şekil 1.6: Süperakışkanlaştırıcı katkıların moleküller yapıları [33]



Şekil 1.7: Geleneksel süperakışkanlaştırıcıların çalışma mekanizması



Şekil 1.8: Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcıların çalışma mekanizması

Bir diğer çalışmada [30] da taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından katkınin çimento ile etkileşiminin önemli olduğu, bunun için uygulamadan önce çimento- katkı uyum deneylerinin yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

KYB katkisi olan polikarboksilatlar, portlant çimentosu, doğal puzzolan katkili çimento ve portlant kompoze çimento ile iyi bir uyum sağladığı fakat trasli çimento ve puzzolonik çimento ile uyumsuzluk gösterdiği yapılan bir başka çalışmada görülmüştür [28].

1.3.4.1 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. Karışımda ince malzeme miktarını arttırmak bir yöntemdir. İnce malzeme olarak 100 mikrondan ince taneler düşünülüp uçucu kül, taş unu, cüruf, silis dumanı kullanılabilir [30]. Bir diğer yöntem de, süperakışkanlaştırıcı ile beraber vizkozite düzenleyici kimyasal katkıların kullanılmasıdır. Betonda terlemeyi azaltıp ayrışmanın önüne geçebilmek için kullanılan vizkozite arttırıcı katkılar, 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

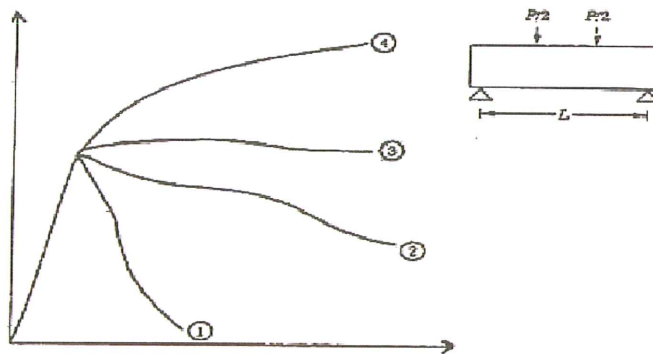
düşük çimento dozajında etkinliklerini kaybederler [8]. KYB lar üzerinde yapılan çalışmalarda toplam ince malzeme miktarının 400 kg/m³ ile sınırlandırılması durumunda viskozite arttırıcı katkı ilave edilmeden üretilen betonlarda akışkanlığın yüksek olduğu fakat bunun yanında segregasyonun da olduğu bu nedenle bu şartlar altında kendiliğinden yerleşen beton taniminin yapılamayacağı belirtilmiştir [29].

1.4.1 Betonun kırılma mekaniği üzerinde lif etkisi

Betonun kırılma davranışı incelendiğinde agrega yüzeyi ile çimento harci 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 kilcal 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 [36]. Şekil 1.9'da çeşitli oranlarda lif içeren betonlarda içerdikleri lif miktarına bağlı olarak yük taşıma kapasiteleri ve kırılma davranışı görülmektedir.

Şekil 1.9'da lif miktarına bağlı olarak değişen yük-sehim diyagramı incelendiğinde yüksek oranda lif içeren 4. numunede liflerin taşıma kapasitesi matrisin taşıma



Şekil 1.9: Lifli betonların yük taşıma kapasitesi

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 tokluğunda artış gösterdiği söylenebilir. [23]

Çekme dayanımını düşük bir malzeme olan betonda lifler çekme gerilmelerin oluştuğu 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. [35]

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. [32]

Liflerin betonda çatlak oluşuktan 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, dalgali, kanca uçlu) ve yüzey özelliği (pürüzlü) değiştirilerek aderans kuvveti arttırabilir [23,36].

Lif donatili 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 dizayni 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 [23].

1.4.2 Lif çeşitleri

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

1- Malzemelerine göre:

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

c- 2- Fiziksel / Kimyasal özelliklerine göre:

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

3- Mekanik özelliklerine göre:

- a- Çekme dayanımı
- b- Elastisite modülü
- c- Süneklik

d- Tokluk

e- Yüzey aderansı

1.4.2.1 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, şekerkaşısı, hint kenevir ve asbesttir [1].

1.4.2.2 Metal lifler

Karbon çeliği ya da 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 [1].

1.4.2.3 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 [1].

1.4.2.4 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 anlaşılmışla 60'li 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 Çizelge 1.4' de verilmiştir.

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 kati, çelik liflerin 5 kati 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.

Çizelge 1.4: Sentetik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri [1]

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	270-1000	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	2350	117215	2,5	500	1,2
Karbon	9,9-12,9	1,6-1,7	480-790	27580-34475	2,0-2,4	417	38900
Naylon	22,8	1,14	970	5170	20	217-238	2,8-5
Polyester	19,8	1,34-1,39	230-1100	17240	12-150	275	0,4
Polietilen	25,4-1016	0,92-0,96	80-590	5000	Mar.80	151	-
Polipropilen	--	0,9-0,91	140-690	3450-4830	15	183	-

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.

1.4.3 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 azalmasını sağlayarak durabilitenin artmasıdır. Bunun yanında az da olsa betona enerji yutma

özellği kazandırıp tokluğu arttırmak, darbeye ve yangına karşı direnç sağlamak amacıyla kullanılmaktadır [18].

1.4.3.1 Taze beton özellikleri ve işlenebilirliğe etkisi

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

1.4.3.2 Sertleşmiş beton özelliklerine 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 [1,18]. Yüksek oranda lif kullanılması betonun işlenebilirliğini 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. [1]

Colleparti S. 'nın polipropilen lif ve metalik lifler üzerinde yaptığı çalışmada [10] 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.

1.4.3.3 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 kilcal çatlamlar oluşur. Betona büyük zararlar veren bu rötre çatlaklarının önlenmesinin bir yolu iç gerilmeleri azaltmaktır. Aşırı ve kontrolsüz su kaybı büzölmeye 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 [14]. 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 kullanımıyla 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 [5] polipropilen lif kullanılan betonlarda serbest rötre sonuçlarının lif kullanılmayan betona göre %30-35 azalma gösterdiği, lif boyunun arttıkça bu etkinliğin daha arttığı saptanmıştır.

1.4.3.4 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].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, beton üretiminde kullanılan malzemeler, malzemelerin özellikleri, beton karışımları ile üretimi ve deneysel çalışmalarda yapılacak taze ve sertleşmiş beton deneyleri açıklanmıştır.

2.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1 Agrega özellikleri

Bu deneysel çalışmada aşağıda özellikleri açıklanan kum, taştuzu ve çakıl I olmak üzere 3 çeşit agrega kullanılmıştır. Kullanılan çakıllar Gebze yöresine aittir.

2.1.1.1 Kum

Granülometri sonuçları Çizelge 2.2’de verilmiş, maksimum dane çapı 3 mm olan kum kullanılmıştır. Çizelge 2.1’ de TS 3526’ya göre özgül ağırlık ve TS 3529’a göre birim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçlar verilmiştir [6].

2.1.1.2 Taştuzu

Taştuzu’nun granülometri sonuçları Çizelge 2.2’ de verilmiş, maksimum dane çapı 5 mm olan taştuzu kullanılmıştır. TS 3526’ya göre özgül ağırlık ve TS 3529’a göre birim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2.1` de işlenmiştir [6].

2.1.1.3 Çakıl I

Çakıl I’ nin granülometri sonuçları Çizelge 2.2` de verilmiş, maksimum dane çapı 12 mm olan çakıl I kullanılmıştır. TS 3526’ya göre özgül ağırlık ve TS 3529’a göre birim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2.1` de işlenmiştir.

2.1.1.4 Karışım

Beton karışımlarında %27 kum, % 30 taştuzu, % 43’ de çakıl I kullanılmıştır. Yapılan beton karışımlarında kullanılan bu karışım oranları ideal bir kendiliğinden yerleşen beton elde etmek için belirlenen oranlardır. Bu oranlar kendiliğinden yerleşen beton prensipleri ve ön denemelerle belirlenmiştir.

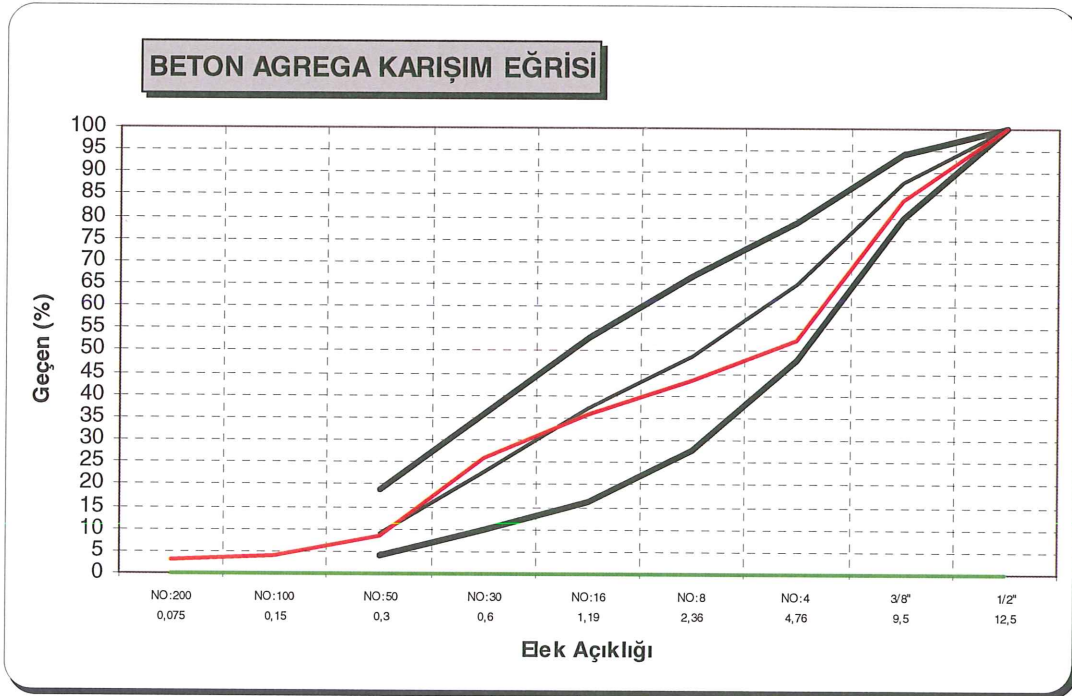
Çizelge 2.1: Kullanılan agregaların özgül ve birim ağırlıkları

Agrega Cinsi	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
Kum	2600	1650
Taştozu	2660	1600
1 nolu Agreg	2700	1570

Çizelge 2.2: 16 mm için agrega ve karışım granülometrik analizleri

MALZEMELER		ELEK ANALİZİ								
		12,5	9,5	4,76	2,36	1,19	0,6	0,3	0,15	0,075
1.NO KIRMATAŞ	100	66	2	0	0	0	0	0	0	0
KIRMA KUM	100	100	99	68	40	26	18	13	11	11
DOĞAL KUM	100	100	100	100	100	100	76	15	2	1

	5-15 mm	0-8 mm	0-5 mm	DENEME KARIŞIMI SONUÇLARI									
1	43	30	27	100	84	53	43	36	26	9	4	3	0,00



Şekil 2.1: Karışımın granülometri eğrisi

2.1.2 Çimento özellikleri

Beton numunelerde Oyak Çimento A.Ş. tarafından üretilen CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel özellikleri Çizelge 2.3’de, fiziksel özellikleri

Çizelge 2.4' de, kimyasal özellikleri ise Çizelge 2.5' de gösterilmiştir [28]

Çizelge 2.3: Çimentonun fiziksel özellikleri

Çimento Cinsi	Cem I 42.5 R
Özgül ağırlık gr/cm ³	3.12
Priz süresi başlangıcı (dak)	200
Priz süresi sonu (dak)	255
La Chatelier (mm)	0.5
Kıvam suyu (%)	27.5
Blaine (cm ² /gr)	2930
Yoğunluk (gr/L)	1089
32 m elek üzeri (%)	22.8
90 m elek üzeri (%)	1.4

Çizelge 2.4: Çimentonun basınç dayanımı sonuçları

Gün	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1	13.8
2	25.4
7	40.1
28	54.0

Çizelge 2.5 Çimentonun kimyasal bileşimi

Çözünmeyen kalıntı (%)	21.31
Al ₂ O ₃ (%)	0.27
Fe ₂ O ₃ (%)	5.59
CaO (%)	2.94
MgO (%)	63.71
SO ₃ (%)	2.11
K ₂ O (%)	2.93
Na ₂ O (%)	0.80
Kızdırma kaybı (%)	0.70
S.CaO (%)	0.80
Modül Hesaplamaları	
C ₃ S	44.00
C ₃ A	9.84
MS	2.50
MA	1.90

2.1.3 Karışım suyu

Beton numunelerin üretiminde ve kür'ünde pH değeri 7 (nötr) olan şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan karışım suyu içerisinde herhangi bir çöp ve organik malzeme içermemektedir. Betonun basınç dayanımı dahil tüm mühendislik özellikleri üretiminde kullanılan suyun kalitesinden etkilenir. Suyun betonda kullanılabilirliği TS EN 1008 göre yapılan deneylerle belirlenir. Bu deneyler; suyun pH değeri, askıda katı madde, tuz çözünürlüğü ve sülfat miktarıdır.

2.1.4 Kimyasal katkı

Beton üretiminde 2 çeşit kimyasal katkı kullanılmıştır. Yeni nesil süperakışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici olan bu katkılar karma suyuna katılarak kullanılmıştır ve her birinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.1.5 Süperakışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkıları

Yeni nesil süper akışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyicinin özellikleri Çizelge 2.6'da görülmektedir.

Çizelge 2.6: Katkı ve viskozite düzenleyici özellikleri

Tipi	Süperakışkanlaştırıcı
Yoğunluk (gr/m ³)	1.082 – 1,142
Klor (%)	< 0,1
Renk	Amber
Homojenite	Homojen
Esası	Polikarboksileter zincirleri

Tipi	Viskozite Düzenleyici
Yoğunluk (gr/m ³)	1.01-1.02
Viskosite	400-1000
Renk	saydam
Ph	6-9
Esası	Sentetik kopolimer solusyonu

2.1.6 Çelik Lifler

Çalışmalarda farklı boyutlarda 3 farklı çelik tel kullanılmıştır. Bu tellerin teknik özellikleri Çizelge 2.7'de belirtilmiştir.

2.1.7 Polipropilen lif

Çalışmada kullanılan polipropilen lifin teknik özellikleri Çizelge 2.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.7: Çelik liflerin teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	RC 65/60 BN	ZP 308	OL13/0.16
Tel Uzunluğu (mm)	60	30	13
Tel Çapı (mm)	0.90	0.75	0.16
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	7.5	7.5	7.5
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	1000	1050	2000
Renk	Gri	Gri	Sarı

Çizelge 2.8 Polipropilen lifin teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	Polipropilen Lif
Malzeme Yapısı	Polipropilen
Renk	Şeffaf-Siyah
Yoğunluk (gr/cm ³)	0.88-0.92
Nominal Kesit Alanı (mm ²)	0.75
Telin Uzunluğu (mm)	50
Çekmede Akma Dayanımı (KI)	240
Asit/Alkali Dayanımı EFNARC	Yak. 900 (9 kg/m ³ için)
Panel Testi Enerji Emme (Joule)	
Round Panel Testi Enerji Emme (Joule)	360 (9 kg/m ³ için)
Erime Noktası (°C)	150-170
Su Emme	0

2.2. Beton Karışımları

İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Beton Laboratuvarı'nda toplam 13 seri beton üretimi yapılmış, her seride aynı su/çimento oranında ve farklı tiplerde ve miktarlarda çelik ve polipropilen lif kullanılarak KYB üretilmeye çalışılmıştır. Yapılan üretimler Çizelge 2.9' da verilmiştir. Yapılan tüm beton serilerinde agreganın türü ve granülometrisi ile karışımın granülometri eğrisi sabit alınarak B16 eğrisine yakın olmasına dikkat edilmiştir.

2.3 Beton Üretimi

Beton üretiminde 50 dm³ kapasiteli, düşey eksenli cebri karıştırıcılı betonyer kullanılmıştır. Üretiminde sırasıyla;

- Malzemenin daha iyi karışması için kum,taştuzu, çakıl agregası, çimento ve kül betonyere konulup kuru olarak karıştırılmıştır.
- Karma suyunun yarısına yakınının kuru karışıma eklenmiş ve karıştırılmaya devam edilmiştir.
- Kalan karma suyuna süperakışkanlaştırıcı eklenip, karışımın içine eklenmiştir.Malzemenin daha iyi karışması için kum,taştuzu, çakıl agregası, çimento ve kül betonyere konulup kuru olarak karıştırılmıştır.
- Karma suyunun yarısına yakınının kuru karışıma eklenmiş ve karıştırılmaya devam edilmiştir.

Çizelge 2.9: Üretilen betonun kodlanması

Beton Numune No	Çimento+U. KÜL (kg/m ³)	SA (%)	VD (%)	Lif Miktarı ve Tipi (kg/m ³)	w/c oranı
G1	350+150	1,0	0,1	0	0,47
GRC2	350+150	1,1	0,1	55/ (RC65/60BN)	0,47
GRC3	350+150	1,1	0,1	40/ (RC65/60BN)	0,47
GRC4	350+150	1,05	0,1	20/ (RC65/60BN)	0,47
GZP5	350+150	1,2	0,1	90/(ZP308)	0,47
GZP6	350+150	1,1	0,1	50/(ZP308)	0,47
GZP7	350+150	1,05	0,1	25/(ZP308)	0,47
GOL8	350+150	1,3	0,1	40/(OL13/0.16)	0,47
GOL9	350+150	1,2	0,1	20/ (OL13/0.16)	0,47
GOL10	350+150	1,1	0,1	10/ (OL13/0.16)	0,47
GSP11	350+150	1,2	0,1	14/PPL	0,47
GSP12	350+150	1,1	0,1	9/PPL	0,47
GSP13	350+150	1,1	0,1	7/PPL	0,47

- Kalan karma suyuna süperakışkanlaştırıcı eklenip, karışımın içine eklenmiştir.
- Fiber konulacak karışımlara belirlenen oranda fiberler katılmıştır.
- Karışımların hepsi toplam 7 dakika karıştırılmıştır.
- Hazırlanan betonlar KYB taze beton deneylerinden tabi tutularak, uygun kalıplara yerleştirilmiştir.

Her karışım boyutları 150 mm X 300 3 adet silindir ve 50 mm X 50 mm X 300 mm 4 adet prizma numunelere, yerleştirilmiştir. Her üretimde toplam 7 adet numune üretilmiştir. Beton numuneleri bir gün sonra kalıptan çıkarılmış 20±2 °C deki kür havuzunda 27 gün süreyle bekletilmiş 28. günde çıkartılarak başlık yapılmış başlığında mukavemetini alması için 10 gün süreyle bekletilmiştir [8].

2.4 Taze Beton Deneyleri

2.4.1 İşlenebilme Deneyleri

2.4.1.1 Yayılma Deneyi

Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini yani “doldurma kabiliyetini” ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Yayılma tablası üzerine konulan slump hunisi içerisine, şişleme yapılmadan beton doldurulduktan sonra, slump hunisi yukarıya çekilerek herhangi bir sarsma yapmadan, betonun kendi ağırlığı ile yayılması

beklendi. İki farklı noktalardan yayılma çapları ölçülerek kaydedildi.



Şekil 2.2: Serbest yayılma ölçümü

2.4.1.2 V-hunisi

Betonun boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılan kendiliğinden yerleşilebilirlik deneyidir. Deney aletinin içi en üste kadar doldurulduktan sonra alttaki kapak açılmak suretiyle betonun alttaki kovayı doldurma süresi ölçüldü.



Şekil 2.3: V hunisi akış süresi ölçümü

2.4.1.3 U-kutusu

Betonun kendi ağırlığı altında donatı çubuklar arasından geçebilme yeteneğini ölçmek için kullanılan bir doldurma deneyidir. Beton haznelerden birine doldurulur. Daha sonra iki hazne arasına yerleştirilmiş olan kapak açılarak taze betonun bir hazneden diğer hazneye geçmesi sağlanır. Beton kapağın ağzındaki donatıların arasından geçerek hazneyi doldurur. Bu deney, betonun paralel çubuklardan geçtikten sonraki yüksekliği cinsinden kendiliğinden yerleşilebilirliğini ölçüldü.



Şekil 2.4: U-kutusu deneyi

2.4.1.4 L-kutusu

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 2.5: L-kutusu deneyi

2.5 Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.5.1 Basınç dayanımı deneyi

Basınç deneylerinde 250 ton kapasiteli Amsler marka basınç presi kullanılmıştır. Bu deney silindir numuneleri için yapılmıştır. 150 mm çaplı, 300 mm yükseklikteki

silindir numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra kür havuzunda 27 gün bekletilmiş, 27. gün sonunda çıkartılıp başlık yapılmıştır. Başlıklarında mukavemetini kazanması için 38. günde basınç deneyleri yapılmıştır. Yükleme hızı sabit olan basınç presinde deneye tabi tutulan numunelerin kırılma yükleri tesbit edildikten sonra kesit alanına bölünerek basınç dayanımları hesaplandı.

2.5.2 Elastisite modülü deneyi

150 mm çapında 300 mm yüksekliğindeki silindir numunelerde düşey yer değiştirmeyi de ölçmek için çerçeve (strane gage) takılmış ve yükleme esnasında belli aralıklarla komprator yardımıyla belli yükler altında oluşan düşey şekil değiştirmeler okunmuştur. Bu okunan değerler elastisite modülü hesabında kullanılmıştır.

2.5.3 Ultrases hızı deneyi

Silindir ve küp numuneler üzerinde uygulanan ultrases hız ölçümünde önce numunelerin boyları ölçüldü sonra numunenin iki yüzüne gres yağı sürülüp numune ses verici ve ses alıcı probların arasına yerleştirilerek sesin numune boyunca geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçüldü.

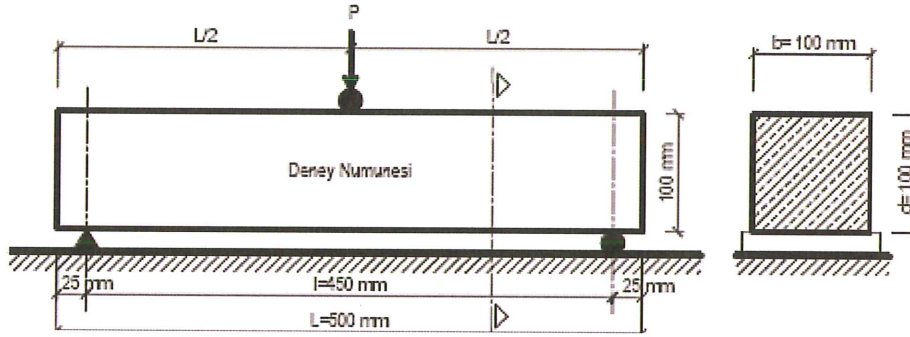
Daha sonra bulunan bu değer numunelerin boyuna bölünerek ultrases hızı km/sn cinsinden hesaplandı. Bu çalışmada hem farklı tip ve miktardaki deneylerin ultrases hızına etkisi belirlendi hem de küp ve silindir numuneleri arasındaki ultrases hızı arasındaki fark gözlemlendi.



Şekil 2.6: Elastisite modülü deneyi

2.5.4 Eğilme dayanımı deneyi

8.günde kür havuzundan çıkarılan 100x100x500 mm boyutlarındaki prizma numuneler üzerinde 40-45.gün aralığında 100 ton kapasiteli eğilme dayanımı deney aletinde 3 noktalı eğilme deneyi uygulandı.Şekil 2.7’de deney düzeneği görülmektedir. Numunelerin kırılma yükleri belirlenerek (2.1) bağıntısı kullanılıp eğilme dayanımları hesaplandı.



Şekil 2.7: Eğilme dayanımı deney düzeneği

$$\sigma = \frac{3 Pl}{2bh^2} \quad (2.1)$$

σ : Eğilme dayanımı (N/mm²)

P: Kırılma yükü (N)

l: Mesnetler arası uzaklık (mm)

b: Numune kesitinin genişliği (mm)

h: Numune kesitinin yüksekliği (mm)

3. DENEY SONUÇLARI

3.1 Taze Beton Deney Sonuçları

3.1.1 Yayılma ve T_{50} deneyi sonuçları

Yapılan çalışmada; 5 farklı lif ile üretilmiş KYBeton'ların yayılma tablası üzerinde yayılma sonuçları ve betonların yayılma tablası üzerindeki 50 cm'lik bir daireye ulaşma zamanları ölçülmüştür. Bu sayede betonun hem doldurma kabiliyetine hemde viskozitesine bakılmıştır.

Üretilen betonlarda liflerin tipleri, özellikleri gereği (şekli, narinlik.. gibi) ve lif miktarı arttıkça betonların işlenebilirliğinin etkilenmesi kaçınılmazdır. Tüm betonlar aynı su/çimento oranında üretilmiş hedeflenen 70-75 cm'lik yayılma değerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Hedeflenen yayılma değerlerine ulaşılabilmek için kimyasal katkı dozu bazı beton karışımlarında içerisinde referans beton karışımındaki katkı dozuna göre arttırılmıştır. Ayrıca betonların viskozite özelliklerini de gözlemlemek için T_{50} değerine ulaşma zamanları belirlenmiş, lif miktarının fazlalığına ve lif tipine göre farklı değerler ölçülmüştür.

Serbest yayılma deney sonuçları incelendiğinde su/çimento oranları sabit olan karışımlarda 8,10,11 deneyleri dışında min. 70 cm değerlerine ulaşılmıştır. Belirtilen deneylerde katkı dozu referans karışıma göre %10-20 oranında arttırılmasına rağmen seçilen lif miktarlarında betonların istenilen yayılma değerlerine ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Seçilen beton karışımına göre bu lif tiplerindeki lif dozları kendiliğinden yerleşen lifli beton olarak kabul edebilmek için KYB'nin diğer taze beton deneylerinde uygulanarak çıkan sonuçlara göre karar vermek daha doğru olacaktır.

Beton karışımlarının T_{50} değerlerine bakıldığında ise yine 7,8,10,11 nolu karışımların değerlerinin en yüksek olduğunu görmekteyiz. Bu karışımların viskozitesinin yüksek olduğunu ve yayılma hızlarının diğer karışımlara göre daha yavaş olduğunu gözlemlenmiştir. Diğer karışımların ise viskoziteleri daha düşüktür ve T_{50} değerlerinin ideal değerlerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1: Yayılma ve T₅₀ deneyleri sonuçları

Numune Kodu	Yayılma (cm)	T ₅₀ Süresi (sn.)
G1	72	4
GRC2	74	5
GRC3	72	5
GRC4	73	4
GZP5	71	7
GZP6	73	5.5
GZP7	72	4.5
GOL8	55	10
GOL9	71	4
GOL10	71	4
GSP11	64	10
GSP12	68	10
GSP13	70	8

3.1.2 V-hunisi deney sonuçları

5x5 cm kapak açıklıklı, 10 lt kapasiteli V hunisi kullanılarak yapıldı. Huni en üst seviyeye kadar herhangi şişleme yapılmadan doldurulduktan sonra alt kapak açılarak betonun huniden boşlama süresi tesbit edildi. Çizelge 3.2’de V hunisi deney sonucu verilmiştir.

Çizelge 3.2 : V hunisi akış aüresi deney sonuçları

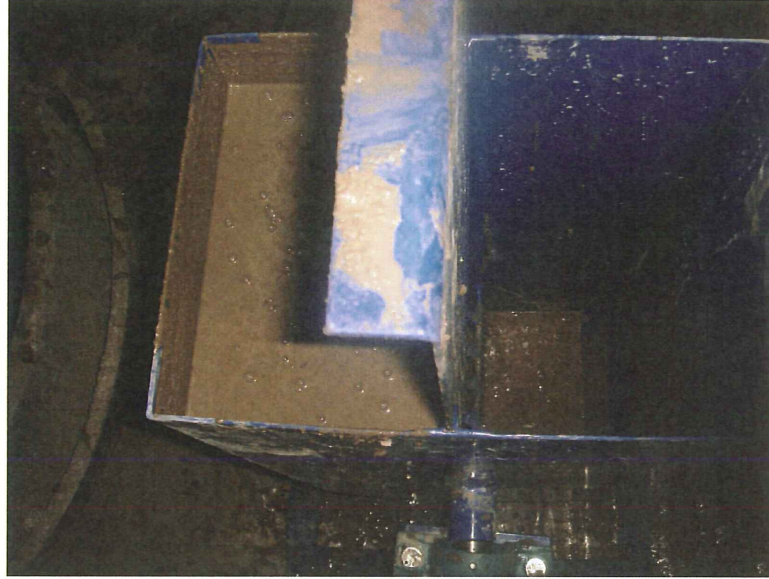
Numune Kodu	Lif Miktarı (kg/m ³)	V Hunisi Akış Süresi (sn.)
G1	0	12
GRC2	55	Akmadı
GRC3	40	44
GRC4	20	29
GZP5	90	Akmadı
GZP6	50	22
GZP7	25	20
GOL8	40	Akmadı
GOL9	20	17
GOL10	10	13
GSP11	14	Akmadı
GSP12	9	Akmadı
GSP13	7	Akmadı

Çizelge 3.2’deki V funnel akış süresi deney sonuçları incelendiğinde lif eklenmemiş dizaynın en düşük akış süresi değerine sahip olduğunu ve dizaynlarda lif oranı arttıkça akış süresinde arttığı görülmektedir. Hatta bazı dizaynlarda akış süresi o kadar uzun olmuştur ki betonun akmadığı düşünülmüştür. Bu da lif oranı arttıkça lif ile deney aleti arasındaki sürtünmeyi arttırmakta ve betonun akış hızını

yavaşlatmaktadır. Böylece yüksek lif oranlarında betonun viskozitesinin arttığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmada **GOL9** ve **GOL10** karışımlarında akış süresi referans **G1** karışımının akış süresine çok yakın çıkmıştır. Bu da lif oranının yanında kullanılan lifin boyutunda KYB'nun akış süresini etkilediğini bize göstermektedir. **GSP 11**, **GSP 12**, **GSP 13** karışımlarının hiç birinde beton V funnel'nın alt kısmından geçememiştir.

3.1.3 U-kutusu deney sonuçları

60 cm yükseklikte U şeklindeki kutunun ara yüzeyindeki kapağın açılması ile donatılar arasından geçen betonun ikinci hazneye dolması sağlandı. Akış tamamlandıktan sonra her iki haznedeki beton yükseklikleri ölçülerek yükseklik farkları hesaplandı. Çizelge (3.3) de deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.1: U-kutusu deneyinde liflerden dolayı donatıların arasında tıkanma oluşması

U Box deney sonuçları incelendiğinde lifsiz dizaynda homojen bir yapı oluşup donatılar arasından tamamen geçerek ikinci hazneyi doldurduğu, böylece iki hazne arasındaki beton seviye farkının çok az olduğu gözlenmiştir. Aynı sonuç diğer karışımlarda ortaya çıkmamıştır. Lif oranları düşmesine rağmen beton diğer hazneye geçiş yapamamış ve KYB'nin geçme kabiliyeti özelliğini göstermemiştir. Buradan saha uygulamalarında Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonların donatılı betonlarda kullanılmasının çok uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Kullanılan tüm lif tiplerinde ve dozajlarında beton donatılara takılmış ve diğer bölüme geçememiştir.

Çizelge 3.3: U box deney sonuçları

Numune Kodu	Lif Miktarı (kg/m ³)	U Box Deneyi (H ₁ -H ₂) (cm)
G1	0	30
GRC2	55	Geçmedi
GRC3	40	Geçmedi
GRC4	20	Geçmedi
GZP5	90	Geçmedi
GZP6	50	Geçmedi
GZP7	25	Geçmedi
GOL8	40	Geçmedi
GOL9	20	Geçmedi
GOL10	10	Geçmedi
GSP11	14	Geçmedi
GSP12	9	Geçmedi
GSP13	7	Geçmedi

3.1.4 L-kutusu deney sonuçları

60 cm yükseklikte, 80 cm genişlikte L kutusu ile yapılan deneyde betonun donatılar arasından geçerek akışını tamamladıktan sonra düzeneğin her iki ucundaki beton seviyeleri ölçülerek birbirine oranlandı. Çizelge 3.4’de L-Kutusu deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.2: L-kutusu deneyi sırasında liflerden dolayı donatılar arasında tıkanma oluşması

L – Kutusu deney sonuçları incelendiğinde lif yoğunluğunun ve şekil yapısının betonun geçme kabiliyeti ve hazne boyunca akışını etkilediği gözlemlenmiştir. Yapılan karışımlardan sadece **GZP7** karışımı homojen bir yapı oluşturabilmiştir. Diğer karışımlar lif yoğunluğu ve/veya lifin şekil yapısından dolayı donatıların arasında sıkışmıştır. Bu çalışma ışığında Kendiliğinden Yerleşen Lifli betonların donatı içeren beton yapılarda kullanılması taze beton özellikleri açısından uygun olmayacağı sonucu çıkarılabilir.

Çizelge 3.4: L box deney sonuçları

Dizayn Kodu	Lif Miktarı (kg/m ³)	L-Box Deneyi (H ₂ /H ₁)
G1	0	0.9
GRC2	55	GEÇMEDİ
GRC3	40	GEÇMEDİ
GRC4	20	GEÇMEDİ
GZP5	90	GEÇMEDİ
GZP6	50	GEÇMEDİ
GZP7	25	0.84
GOL8	40	GEÇMEDİ
GOL9	20	0.35
GOL10	10	0.39
GSP11	14	GEÇMEDİ
GSP12	9	GEÇMEDİ
GSP13	7	GEÇMEDİ

3.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Taze beton deneyleri yapıldıktan sonra, betonun sertleşmiş haldeki bazı özelliklerini belirlemek için yapılan her karışımdan 3 adet silindir ve 4 adet prizma numune alınmıştır. Silindir numuneler üzerinde ultra ses hızı, elastite modülü ve basınç deneyleri, ve prizma numuneler üzerinde eğilme deneyleri yapılmıştır.

3.2.1 Basınç dayanımı deneyi sonuçları

27. günde kür havuzundan çıkarılıp başlıkları yapılan 150 mm 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. Çizelge (3.5)'de numunelerin silindir basınç dayanımları verilmiştir. Eşit su/çimento oranında yapılan deneylerde elde edilen beton numunelerin basınç dayanımları C 55- C75 arasında beton dayanımları elde edilmiştir.

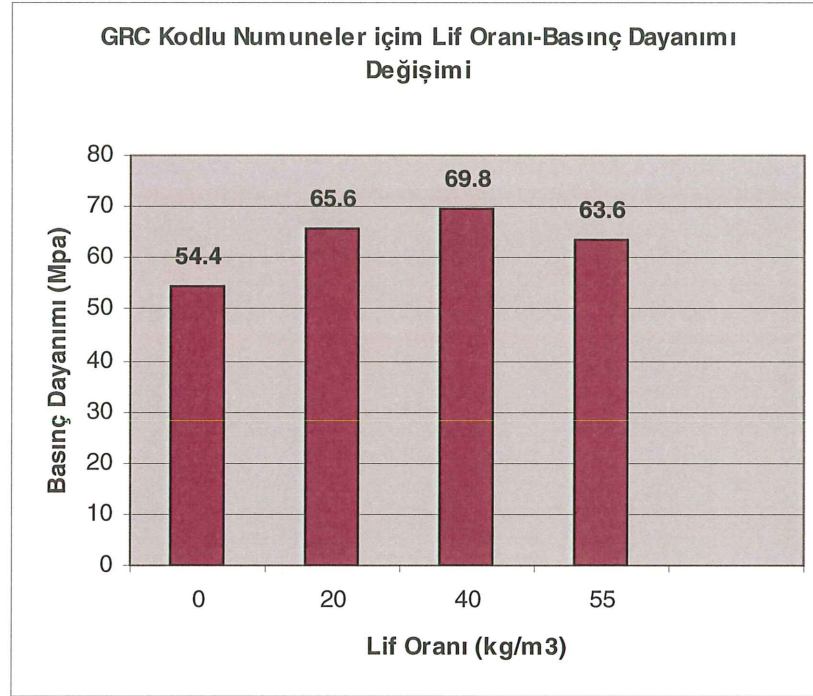


Şekil 3.3: Basınç dayanımı testi

Silindir numuneler arasında bir karşılaştırma yaptığımızda lifli betonların basınç dayanımının daha fazla olduğu gözlenmiştir. Daha önce benzer çalışmaları incelediğimizde lifin betonun basınç dayanımına pozitif etkisinin çok fazla olmadığını görmekteyiz. Örneğin; **GOL** kodlu karışımlara baktığımızda lif miktarının arttıkça dayanım değerinin arttığını gözlemlemekteyiz. Burda dayanım daha fazla çıkmasını lif miktarının artmasına bağlayamıyoruz. Bu karışım diğer iki karışıma göre daha yoğun, viskozitesi yüksek ve yayılma değeri daha düşük bir beton olmasına rağmen basınç dayanımı değeri diğer karışımlara göre %15-20 daha fazla vermiştir. Bu da taze haldeki beton özelliklerinin sertleşmiş haldeki betonun özelliklerini etkilediğini göstermektedir. Betonun homojenliği, viskozitesi ve yerleştirilmesi dayanım kazanmada önemli bir parametredir.

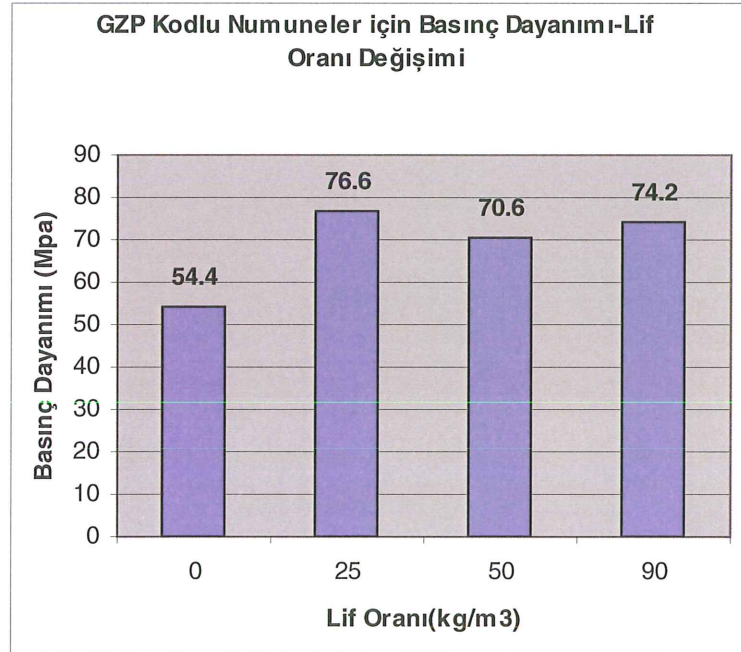
Çizelge 3.5: Silindir numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numune Kodu	Silindir Basınç Dayanımı (Mpa)
G1	54,40
GRC2	63,60
GRC3	69,8
GRC4	65,6
GZP5	74,2
GZP6	70,6
GZP7	76,6
GOL8	72,1
GOL9	57,3
GOL10	60,7
GSP11	63,4
GSP12	66,6
GSP13	64,4



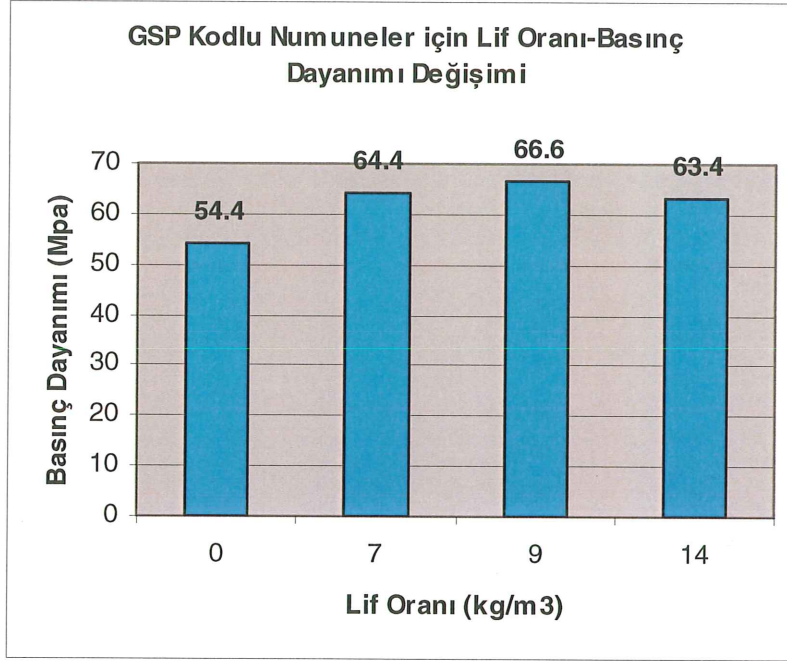
Şekil 3.4: GRC kodlu numuneler için lif oranı- basınç dayanımı gelişimi

GRC kodlu kodlu karışımlara baktığımızda lifli karışımların basınç dayanımlarının lifsiz karışıma göre %17-%28 arasında daha iyi sonuç vermiştir.

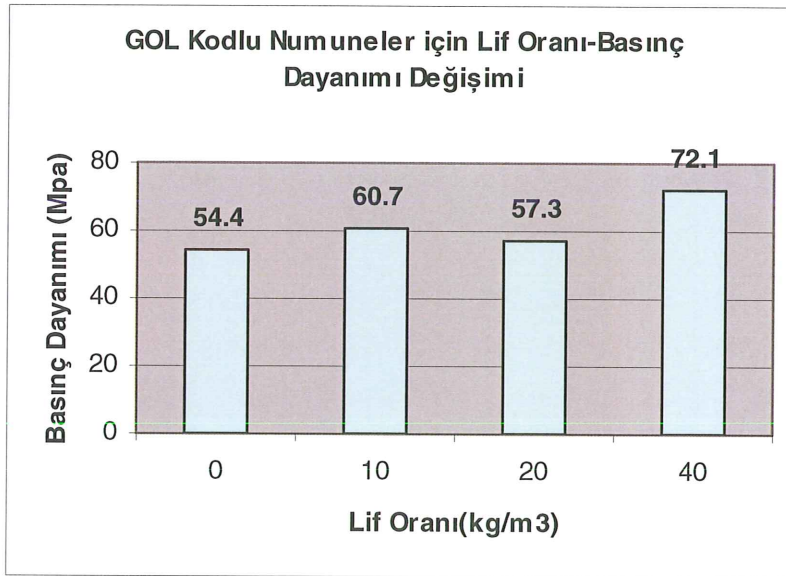


Şekil 3.5 : GZP kodlu numuneler için lif oranı- basınç dayanımı gelişimi

GZP kodlu karışımlarda ise lifli karışımların basınç dayanımları lifsiz karışma göre %30-41 daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 3.6 : GSP kodlu numuneler için lif oranı- basınç dayanımı gelişimi



Şekil 3.7 : GOL kodlu numuneler için lif oranı- basınç dayanımı gelişimi

3.2.2 Elastisite modülü deneyi

Silindir numunelere basınç deneyi uygulanmadan önce numunelerin düşey yer değiştirmelerini ölçmek amacıyla her bir silindir numuneye çerçeve takıldı. Çerçeve

üzerinde bulunan komparatör yardımıyla her 5 kN luk yüke karşılık gelen düşey yer değiştirme değeri okunarak elastisite modülleri hesaplandı. Çizelge (3.6) da numunelerin elastisite modüllerinin değerleri verilmiştir.

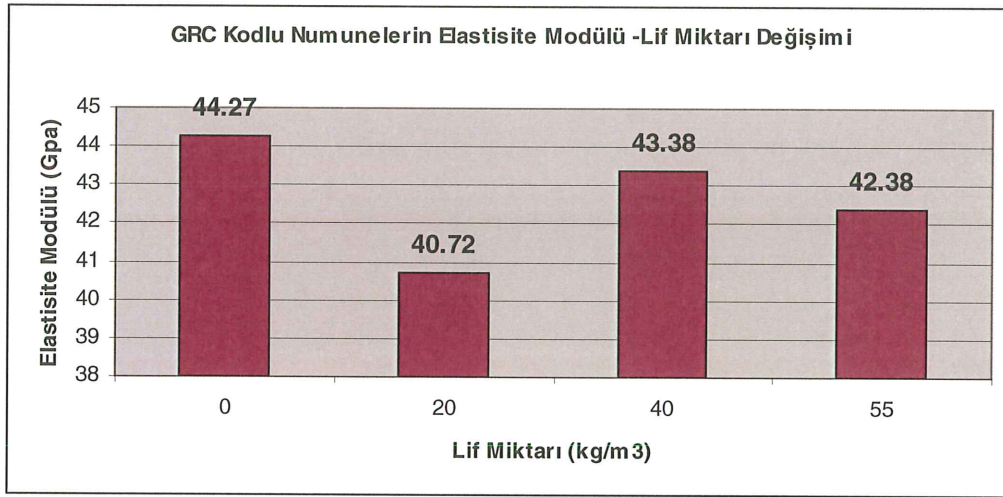


Şekil 3.8: Elastisite modülü deney düzeneği

Beton numunelerin elastisite modüllerinin değişimini gösteren Çizelge 3.6 daki sonuçlar incelendiğinde, lif tipinin ve lif miktarının elastisite modülünü çok fazla arttırmadığı gözlenmiştir. Su/çimento oranının tüm karışımlarda sabit olması ile elastisite modülünde lifin çok fazla etkili olmadığı söylenebilir. Polipropilen lif ile üretilen GSP kodlu karışımların elastisite modülü değerleri ile GZP kodlu karışımların haricindeki karışımlardaki elastisite modülünü karşılaştırdığımızda yaklaşık %7-8 arasında polipropilen lifli karışımların daha yüksek çıktığı gözlenmiştir.

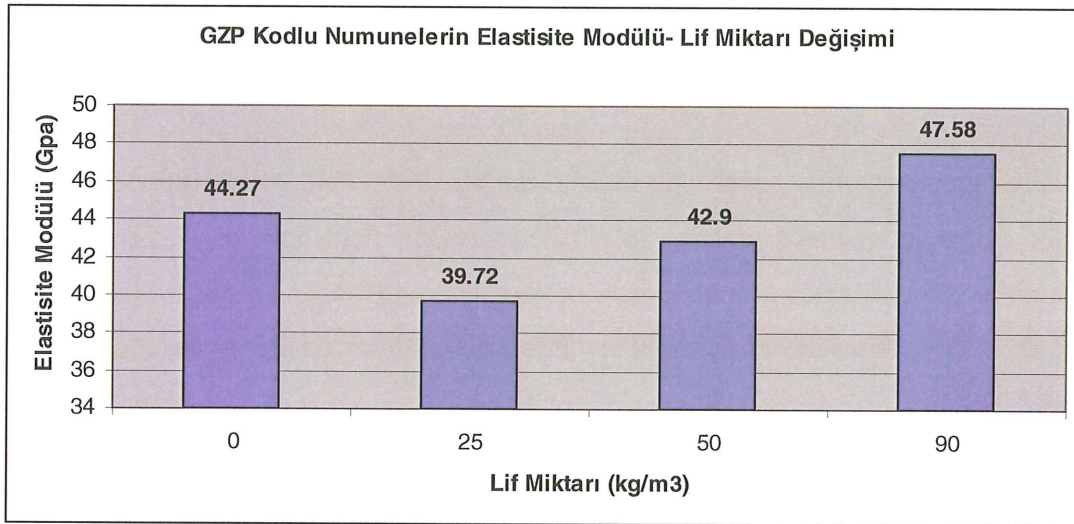
Çizelge 3.6: Elastisite modülü deneyi sonuçları

Numune Kodu	Elastisite Modülü (Gpa)
G1	44,27
GRC2	42,38
GRC3	43,38
GRC4	40,72
GZP5	47,58
GZP6	42,90
GZP7	39,72
GOL8	42,25
GOL9	38,70
GOL10	41,46
GSP11	40,98
GSP12	42,05
GSP13	42,01



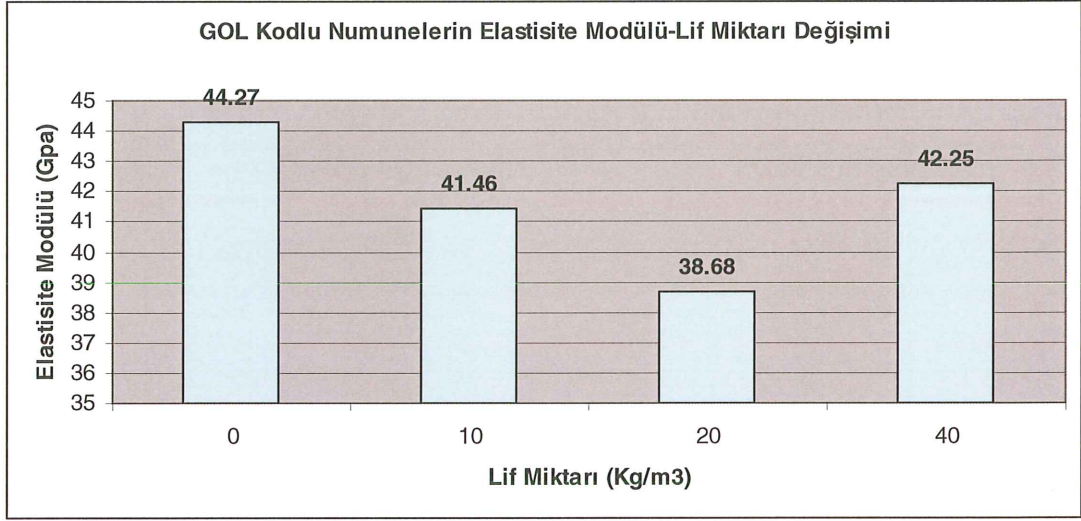
Şekil 3.9: GRC kodlu numunelerin elastisite modülü-lif miktarı değişimi

GRC kodlu karışımlarda lif oranının artışı lifsiz karışıma göre herhangi bir pozitif sonuç getirmemiştir.



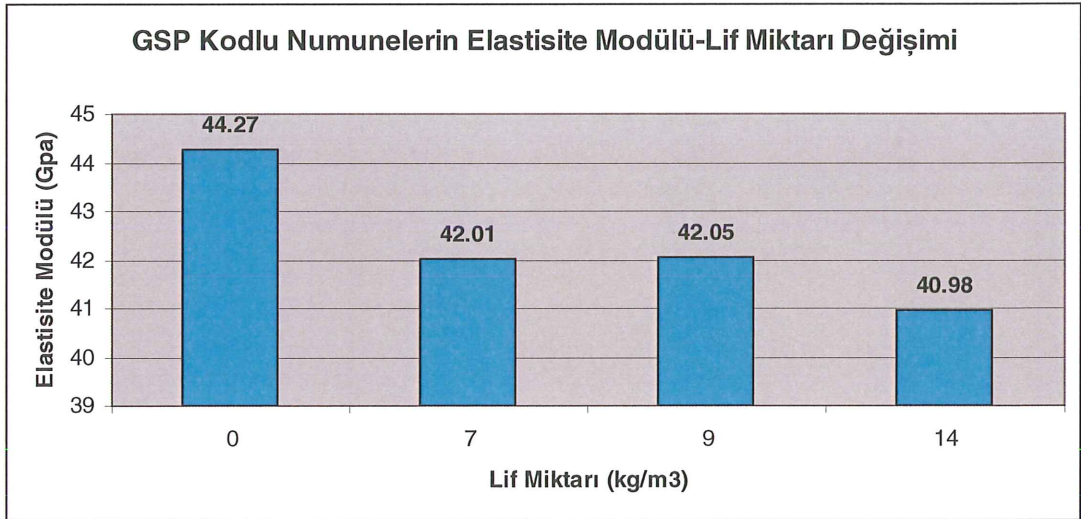
Şekil 3.10: GZP kodlu numunelerin elastisite modülü-lif miktarı değişimi

GZP kodlu karışımların sonuçlarına baktığımızda ise özellikle lif oranı (90 kg/m³) olduğunda %7'lik bir artış vardır. Fakat diğer lif dozajlarında elastisite modülü değerinde bir artış görülmemiştir. Özellikle yapılan çalışmalarda su/çimento oranının aynı olması lif etkisinin çok fazla olmadığını söyleyebiliriz. Fakat lif oranı en yüksek olan dozajlamada (90 kg/m³) karışımın homojenliği yanında lifin etkisinde elastisite modülünü arttırmıştır. Özellikle enerji deneyleri ile numunelerin kırılma enerjileri ve şekil değiştirme kapasitelerinin incelenmesi lifin etkisini daha gerçekçi sonuçlar vereceği kesindir.



Şekil 3.11: GOL kodlu numunelerin elastisite modülü-lif miktarı değişimi

GOL kodlu karışımda ise lif oranının artması lifsiz karışıma göre bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 3.12: GSP kodlu numunelerin elastisite modülü-lif miktarı değişimi

GSP kodlu karışımda ise lif oranının artması elastisite modülü gelişimi açısından pozitif bir etkisi olmamıştır.

3.2.3 Ultrases 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 problemlerin 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 Çizelge (3.7) de deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.7: Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları

Numune Kodu	Ultrases Hızı (km/sn)
G1	5,09
GRC2	5,04
GRC3	5,08
GRC4	5,05
GZP5	5,09
GZP6	5,09
GZP7	5,12
GOL8	5,12
GOL9	5,01
GOL10	5,03
GSP11	5,05
GSP12	5,01
GSP13	5,08

4. GENEL SONUÇLAR

- Su/çimento oranı sabit KYBetonlarına lif ilave edildiğinde işlenebilirliğin azaldığı gözlemlenmiş ve karışımdaki katkı oranının artırılması ile işlenebilirliğin artırılacağı belirlenmiştir. Yalnız hem katkının hemde lifin karışım içerisinde belli bir optimum kullanım dozajı bulunmaktadır. Bu oranların üstünde betonda segregasyon riski ortaya çıkmıştır. Hemen hemen tüm karışımlar belirlenen referans yayılma ve T_{50} sürelerini sağlamışlardır. Sadece **GOL8 (40 kg/m³)**, **GSP11 (14 kg/m³)** ve **GSP12 (9 kg/m³)** kodlu karışımlarda belirlenen hedefler sağlanamamıştır. Yayılma değerleri referansa göre düşük kalmış ve betonun viskozitesi arttığından beton akışkanlığı azalmıştır. KYB betonlarında max. lif miktarını belirlemek için betonun taze haldeki özelliklerini de dikkate almalı, bu değerler ışığında karışımı oluşturan parametreler, malzemeler ve karışım oranları belirlenmelidir.
- Donatılı beton kesitlerde üretilen karışımların geçiş kabiliyetini test etmek için yapılan U-Kutusu ve L-Kutusu deneylerinde görülmüştür ki karışımlardan referans dışındaki hiçbir karışım U-Kutusu deneyinde liflerin donatılara takılması sebebi ile diğer bölüme geçememişlerdir. L-Kutusu deneyinde ise sadece **GZP7 (25 kg/m³)** kodlu karışım sağlamış, diğer karışımlar deneyin istediği sonucu vermemiştir. Bu nedenle Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonlu dar kesitli ve donatı bulunan yerlerde kullanırken lifin tipine ve narinliğine göre minimum düzeyde veya hiç kullanılmamanın daha doğru bir seçim olacağı söylenebilir.
- V-Hunisi akış sürelerinin belirlenmesi deneyinde de yapılan karışımlardan sadece **GOL10 (10 kg/m³)** kodlu karışım lifsiz karışımın değerine yakın çıkmıştır. Bu nedenle betonun dar kesitlerden akışını arttırmak ve viskozitesini azaltmak için karışım içerisindeki lif miktarını, tipine ve narinliğine göre minimum düzeyde tutmak gerekmektedir.
- Sabit su/çimento oranında belirlenen karışımlar ile C55-C75 arasında beton üretmek mümkün olduğu görülmüştür. Yapılan beton karışımlarında lifli karışımların lifsiz karışıma göre elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisi olmadığı

görülmektedir. Silindir numunelerin basınç dayanımı değerlerine incelediğimizde ise sabit su/çimento oranında lifli karışımların dayanımlarının lifsiz karışıma göre daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Fakat daha önceki benzer çalışmaları incelediğimizde liflerin basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını görmekteyiz. Burada taze haldeki beton özelliklerinin, sertleşmiş beton özelliklerini etkilediğini göstermektedir. Betonun homojenliği, viskozitesi ve yerleştirilmesi dayanım kazanmada önemli bir faktördür. Karışımlar tasarlanırken ve üretilirken bu faktörlerde göze alınarak betonlar üretilmelidir.

- Elastisite modülü değerleri incelendiğinde lif miktarının ve tipinin bu değeri çok fazla etkilemediği gözlenmektedir. Farklı lif tiplerine kendi içinde baktığımızda ise yine Elastisite modülü değerlerinde çok büyük bir farklılık tespit edilememiştir. Sabit su/çimento oranında liflerin elastisite modülü değerini çok fazla etkilemediği söylenebilir. Gevrek bir malzeme olan betonun lif katılması ile kazanacağı sünek yapıyı daha somut verilerle desteklemek açısından betonun kırılma enerjisinin belirlenmesi şekil değiştirme kapasitesinin incelenmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- [1] **ACI 544.1R-96**, 1996. State of the Art Report On Fibre Reinforced Concrete
- [2] **ACI Committee 266**, 1998. Use of Fly Ash in Concrete, *ACI Materials Journal*
- [3] **Akman, S.**, 2000. Yüksek Performanslı Betonların Taze Haldeki Özelliklerine Katkı Maddelerinin Etkisi, *SİKA-Teknik Bülteni*, 2000/1, İstanbul
- [4] **Akman, S., Yildirim, H.**, Uçucu Kül ve Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Birlikte Kullanımının Yararları, *Sika Teknik Bülteni*, 2002
- [5] **Alkan G.**, 2004. Polipropilen Lifli Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [6] **ASTM C618**, 1998. Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, **Annual Book of ASTM Standards**, No:4
- [7] **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.
- [8] **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
- [9] **Cabrera J., G. and Hassan, K., E.**, 1998. The Use of Classified Fly Ash to Produce HPC, Sixty CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Pozzolans in Concrete, Bangkok 1998
- [10] **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
- [11] **Dogan, A., U.**, 2000. Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [12] **Dogan, A., Ü. ve Ozkul, H., M.**, 2005. Uçucu Küllü Betonlarda Geçirimlilik ve Basınç Dayanımına Bağlı Olarak Optimum Karışımların Bulunması, *6.Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 16-18 Kasım, 339-348
- [13] **EFNARC**, 2002. Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete
- [14] **Erbaş, M.**, 2003. Polipropilen Lifler ve Betonun Durabilitesine Etkisi, *5.Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 1-3 Ekim 2003, s. 593-603
- [15] **Erdinç, M.**, 1995. Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimliliği, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [16] **Felekoglu, B., Baradan, B., Sarõkahya, 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
- [17] **Gaimster, R. and Dixon, N.,** 2003. Self-Compacting Concrete, in Advanced Concrete Technology.
- [18] **Hannant, D.J.,** 2003. Fibre Reinforced Concrete , in Advanced Concrete Technology
- [19] **Japanese Ready Mixed Concrete Association,** 1998. Manual of Producing High Fluidity (Self Compacting) Concrete, Japanese *Ready Mixed Concrete Association*, Tokyo- Japanese
- [20] **Joshi, R.C. and Lohtiva, R.P.,** 1997. Fly Ash in Concrete: Production, Properties and Uses, Pub.by Gordon and Breach Science, Canada
- [21] **Lars, M., Tviksta, G.,** 2000. SCC: Guidelinaes, TR9-V9, End Product, Brite EuRan Proposal
- [22] **Massazza, F. and Costa, U.,** 1979. Aspect of Pozzolanic Activity and Properties of Pozzolanic Cements, II Cemento76, Jan-March
- [23] **Naaman, E., A.,** Fibre Reinforcement for Concrete: Looking Back, Looking Ahead
- [24] **Nakara, Y.,** 1998. Will Self Compacting High Performance Concrete be Used More Widely in Japan?, May 1998, 65
- [25] **Neville, A.M.,** 1995. Properties of Concrete , 4th ed., Logman Group, pp.757-758
- [26] **Okamura, H.,** 1997. Self Compacting High Performance Concrete, *Concrete International*, V.19, No:7, 50-54
- [27] **Özkul, M.,H.,** 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden YerleşenSikişan Beton, 52, 64-7 1.
- [28] **Özkul, M.,H., Dogan A., U., 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
- [29] **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
- [30] **Sağlam, R.,A., Parlak, N., Doğan, A., U. ve Özkul, M.,H.,** 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Çimento Katkı Uyumu, 6.Ulusan Beton Kongresi, İTÜ, İstanbul, 16-18 Kasım 2005, s. 213-224
- [31] **Sahmaran, M., Yaman, O.,T. ve Tokyay, M.,** 2004. Yeninesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri tle Yüksek Hacimde Uçucu Kül içeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 10-12 Haziran, s. 225-233

- [32] **Self Compacting Concrete**, 2000. State of the Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, Ed. by Skarendahl, A., Petersson , Ö., RILEM publication
- [33] **SIKA Teknik Bülteni**, Beton Katkılarının Değerlendirilmesinde ve Kalite Kontrolünde Önemli Parametreler, İstanbul
- [34] **Su, N., Hsu, K. and Chai H.**, 2001. A Simple Mix Design Method for Self Compacting Concrete, *Cement and Concrete Research*, 31, 1799-1807
- [35] **Subaşı S., Özgan E., Uzunoğlu M.M., Çullu M., Tekin İ.**, Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik ve Polipropilen Lif Kullanımının Akışkanlık Parametreleri ve Basınç Dayanımına Etkisi, *Uluslararası Beton 2008 Kongresi*, İstanbul, 19-21 Haziran 2008, s.331-344
- [36] **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
- [37] **Şengül C., Taşdemir M.A., Yılmaz N., Arslan G.**, 2007 . Karma Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Davranışına Agrega Oranlarının Etkisi, *7.Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 28-30 Kasım 2007, s.373-383
- [38] **Şengül. O., Taşdemir M.A. ve Sönmez, R.**, 2003. Yüksek Oranda Uçucu Kül içeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirirliiliği, *5.Ulusal Beton Kongresi* , İstanbul ,1-3 Ekim , s. 75-85
- [39] **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
- [40] **Tikalaky, 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
- [41] **TSEN 197-1**, 2002. Çimento-Böüm1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Mart 2002
- [42] **Türker, P., Erdogan, B., Katnaş, F. ve Yeginobalı, A.**, 2004. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü*, Ankara 2004

ÖZGEÇMİŞ

VESİKALIK
FOTO

Ad Soyad: Osman Onur TEZEL

Doğum Yeri ve Tarihi: Trabzon-23.12.1974

Adres:

Lisans Üniversite: İ.T.Ü.

Yayın Listesi:

- Aykan G., Tezel O.O., Gürol G., YÜCEER Z., 2004: “Kendiliğinden Yerleşen Beton” Deney Metodları ve Uygulama Örnekleri *2004 Beton Kongresi* 10-12 Haziran 2004 İstanbul,Türkiye s.266-276
- Güneş S., Aykan G., Tezel O.O., 2005: “Akışkanlaştırıcı Katkı Teknolojisinin Yeni Sınırları ve Uygulama Örnekleri *Yapılarda Kimyasal Katkılar* 24-25 Mart 2005 Ankara,Türkiye s.247-256
- Tezel O.O., Duyar O., Aykan G., 2007 : “ Sıfır Slump Beton Ürünleri için Kimyasal katkılar ve Uygulamaları” *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi* 12-13 Nisan 2007 Ankara, Türkiye s.65-72