

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİF TAKVİYELİ BETONLARIN PERFORMANS
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

116631

Salih Taner YILDIRIM

DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ELAZIĞ
2002

116631

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİF TAKVİYELİ BETONLARIN PERFORMANS
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Salih Taner YILDIRIM

DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu Tez,/...../2002 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği /Oyçokluğu
İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

Prof.Dr.Mehmet ÜLKER

Jüri Başkanı

Yrd.Doç.Dr. C.Emir EKİNCİ

Danışman

Yrd.Doç.Dr.M.Şükrü YILDIRIM

Jüri Üyesi

Yrd.Doç.Dr.Servet YILDIZ

Jüri Üyesi

Yrd.Doç.Dr.A. Nalan POLAT

Jüri Üyesi

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



ÖZET

Doktora Tezi

LİF TAKVİYELİ BETONLARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Salih Taner YILDIRIM

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2002, Sayfa: 193

Araştırmada, çelik, cam ve polipropilen lifler kullanılmıştır. Çelik lif makro yapılı ve diğer iki lif de mikro yapılı olarak seçilmiştir. Bu iki lif türünün tek başına ve beraber, farklı oranlarda kullanılmasının betonun özellikleri üzerinde nasıl etki yapacağını görmek amacı ile deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Deneylerde, % 0.5, 0.75 ve 1 olmak üzere üç farklı hacimsel çelik lif katkı oranı alınmış; diğer lifler ise % 0.1 hacimsel katkı oranı ile kullanılmıştır. 12 farklı beton numunesi her deney için belirlenen sayılarda üretilmiştir. Numuneler üzerinde, kıvam, birim ağırlık, özgül ağırlık, boşluk oranı, su emme, basınç dayanımı, ultrasonik ses hızı ölçümü, elastisite modülü, poisson oranı, eğilme dayanımı, tokluk, darbe dayanımı, yorulma dayanımı, rötre, donma-çözülme, sıcaklığa dayanıklılık, röntgenle iç yapı incelemesi gibi önemli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler sonucunda farklı lif türlerinin betona değişik özellikler kazandırdığı ve karışık lif kullanımının da bazı özelliklere olumlu etki yaptığı görülmüştür. Ayrıca, Düzce hazır beton üreticilerinin yeni teknolojik malzemelere bakış açılarını ve kullanma derecelerini öğrenmek amacıyla bir de anket düzenlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Beton, çelik lif, polipropilen lif, cam lifi, kıvam, birim ağırlık, özgül ağırlık, boşluk oranı, su emme, basınç dayanımı, ultrasonik ses hızı, elastisite modülü, poisson oranı, eğilme dayanımı, tokluk, darbe dayanımı, yorulma dayanımı, rötre, donma-çözülme, sıcaklığa dayanıklılık, röntgen.

SUMMARY

PhD Thesis

THE INVESTIGATION OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF FIBRE
REINFORCED CONCRETES

Salih Taner YILDIRIM

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Construction Education

2002, Page:193

In this work steel fibres, glass fibres and polypropylene fibres have been used as mixing materials in concrete to investigate. The choosed steel fibres were macrostructured and the other fibres were microstructured. The different combiniations of this fibres in experiments were used to see the effects of different fibres on the mechanical characteristics of fibre reinforced concrete with only one fibre or more fibres.

In realized tests the mixing ratios of steel fibres were determined as 0.5, 0.75 and 1 % (in volume per cent). 12 different concrete samples were produced for every experiment groups. The experiment works included the nominations of consistency, unit weight, specific gravity, empty space ratio, water absorption tendency, compressive strength, velocity of ultrasonic pulses, modulus of elasticity, Poisson ratio, bending strength, toughness, impact tests, fatigue tests, shrinkage, freezing and thawing, heat resistance, x-ray scanning photography of microstructure for all concrete samples.

The experiments show that the different fibres give them concrete different physical and mechanical characteristics, and the use of mixed fibres in concrete brings any good new properties. Further we realized a questionnaire between concrete producers of City Düzce to determine the fibre employs and their fibre choisses, and also to learn their knowledges about ready mixed concrete experiences.

Key Words: Concrete, steel fibres, polypropylene fibres, glass fibres, consistency, unit weight, specific gravity, empty space ratio, water absorption tendency, compressive strength, velocity of ultrasonic pulses, modulus of elasticity, Poisson ratio, bending strength, toughness, impact tests, fatigue tests, shrinkage, freezing and thawing, heat resistance, x-ray scanning photography.

TEŞEKKÜR

Tezimi oluşturmamda bana çok yardımcı olan başta danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Cevdet Emin EKİNCİ olmak üzere; almanca makale tercümelerimde yardımcı olan sevgili babam Prof.Dr. M. Mustafa YILDIRIM'a, bana moralman destek veren sevgili eşim Rabia YILDIRIM'a, ısı tranferi hesaplarında bana yardımcı olan Sayın Doç.Dr. Yasin VAROL'a, anket aşamasında yardımcı olan Sayın Yrd.Doç.Dr. İ.Yaşar KAZU'ya, rötre deneyimi gerçekleştirecek laboratuvar aparatını sağlamamda yardımcı olan Sayın Yrd.Doç.Dr. Mehmet TUĞAL'a, teze başlarken değerli fikirlerini almış olduğum Sayın hocalarım Doç.Dr. Sabit OYMAEL, Yrd.Doç.Dr. Salih YAZICIOĞLU, Prof. Asım YEĞİNOBALI, Prof.Dr. Abdussamet ARSLAN ve Yrd.Doç.Dr. Osman ÜNAL'a; çelik ve polipropilen lifleri ve teknik dökümanları sınırsızca ve elinde geldiğinde bana sunan BEKSA Dramix Çelik Kord Sanayi Teknik Müdürü Sayın Mehmet YERLİKAYA'ya ve tüm diğer çalışanlarına; agrega, çimento malzemelerinin tamamını temin etmiş olduğum, anket çalışmama destek veren ve laboratuvarlarını kullanımına açan KOÇ BETON şirketi çalışanlarına; Sayın Bayram KOÇ, Nihat KOÇ, diğer KOÇ ailesi üyelerine ve laboratuvar teknisyeni Sayın Miraç YAĞIZ'a; süperakışkanlaştırıcı katkı malzemesini temin ettiğim Sika Yapı Kimyasalları Firması Bölge Temsilcisi Sayın Hazım ÜLGEN, Sayın Mehmet MUTLU ve diğer firma çalışanlarına; cam lifi malzememi temin ettiğim Fibrobeton Firması çalışanlarına; laboratuvarlarını kullanımına açan Düzce Meslek Yüksekokulu Müdürü Sayın Yrd.Doç.Dr. İlhan ÖZTURAN, laboratuvar teknikeri Sayın İsmail VELİ ve yardımcısı Sayın Hasan ÇENGELİOĞLU'na; tezimin bilgisayara yazımında emeği geçen Sayın Emel ÖCAL ve Sayın Pınar COŞAR'a; beton röntgen filmlerinin çekilmesinde yardımcı olan kayınpederim Sayın Dr. Hüseyin YILDIRIM'a ve Düzce Tıbbi Görüntüleme Merkezi çalışanlarına; betonların kesilmesinde emeği geçen Düzce Erkan Mermer çalışanlarına; bazı deneylerimde bana yardımcı olan sevgili öğrencilerime; anket çalışmasını uyguladığım Bolu Beton, Pekintaş, Düzce Belediyesi Beton Şantiyesi, Düzce Atılım Beton, Aykut Beton, Yiğitler Beton, Nuh Beton çalışanlarına ve adını anmayı unutmuş olabileceğim, bana yardımcı olan tüm şahıs ve kurumlara çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
SUMMARY	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XII
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ	XIV
SİMGELER LİSTESİ	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem	2
1.2. Amaç	3
1.3. Yöntem	3
1.4. Sınırlılıklar	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Lif Katkıları ve Beton İçinde Kullanımları	4
2.1.1. Çelik Lifler	5
2.1.2. Cam Lifler	12
2.1.3. Polipropilen Lifler	21
2.1.4. Diğer Lif Katkıları	23
2.2. Lifli Betonların Genel Özellikleri	26
2.2.1. Lifli Betonlarda Taze Beton Özellikleri	27
2.2.2. Sertleşmiş Betonun Özellikleri	29
2.2.2.1. Basınç Dayanımı	30
2.2.2.2. Eğilme Dayanımı	33
2.2.2.3. Tokluk (Enerji Emme Kapasitesi)	39
2.2.2.4. Darbe Etkisi	45
2.2.2.5. Yorulma Dayanımı	48
2.2.2.6. Rötire	51
2.2.2.7. Donma-Çözülme Etkisi	53

2.2.2.8.	Sıcaklık Etkisi	56
2.3.	Liflerle Beton Kullanımı ve Kullanım Alanları	59
3.	ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	65
3.1.	Agrega	65
3.2.	Çimento	66
3.3.	Çelik Lif	68
3.4.	Cam Lif	69
3.5.	Polipropilen Lif	69
3.6.	Mineral Katkı	70
3.7.	Karışım Miktarları	71
4.	BETON ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI	74
4.1.	Araştırma Programı	74
4.2.	Taze Beton Deneyleri	76
4.2.1.	Birim ağırlık ve Kıvam	76
4.2.1.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	76
4.2.1.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	78
4.2.1.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	79
4.3.	Sertleşmiş Beton Deneyleri	80
4.3.1.	Özgül ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı	80
4.3.1.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	80
4.3.1.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	80
4.3.1.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	82
4.3.2.	Basınç Dayanımı	84
4.3.2.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	84
4.3.2.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	85
4.3.2.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	88
4.3.3.	Ultrasonik Ses Hızı	93
4.3.3.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	93
4.3.3.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	93
4.3.3.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	95
4.3.4.	Elastisite Modülü ve Poisson Oranı	99

4.3.4.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	99
4.3.4.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	99
4.3.4.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	102
4.3.5.	Eğilme Dayanımı	107
4.3.5.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	107
4.3.5.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	108
4.3.5.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	111
4.3.6.	Tokluk (Enerji Emme Kapasitesi)	117
4.3.6.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	117
4.3.6.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	117
4.3.6.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	120
4.3.7.	Darbe Dayanımı	125
4.3.7.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	125
4.3.7.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	125
4.3.7.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	127
4.3.8.	Yorulma Dayanımı	130
4.3.8.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	130
4.3.8.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	130
4.3.8.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	131
4.3.9.	Rötre	135
4.3.9.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	135
4.3.9.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	135
4.3.9.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	138
4.3.10.	Donma-Çözülme Etkisi	145
4.3.10.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	145
4.3.10.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	149
4.3.10.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	152
4.3.11.	Sıcaklığa Dayanıklılık	155
4.3.11.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	155
4.3.11.2.	Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler	155
4.3.11.3.	Elde Edilen Verilerin Yorumlanması	158
4.3.12.	Röntgenle iç yapı incelemesi	165
4.3.12.1.	Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması	165
4.3.12.2.	Deneyin Yapılışı, Elde Edilen Veriler ve Yorumlanması	165

5.	ANKET ÇALIŞMASI	176
5.1.	Giriş	176
5.2.	Anketin Uygulanışı	176
5.3.	Anket Sonuçları ve Değerlendirilmesi	177
6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	179

KAYNAKLAR	188
-----------------	-----

EKLER

EK-1 DONMA-ÇÖZÜLME DENEYİ HESAP TABLOLARI

EK-2 ANKET SORULARI VE VERİLEN CEVAPLAR



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Agregaların yapıları için düzlemsel modeller (Schnütgen, 1992).....	8
Şekil 2.2 A ve B modelleri verilmiş olan agregaların granülometrileri (Schnütgen, 1992)	8
Şekil 2.3 Çelik lif tipleri (Schnütgen, 1992).....	9
Şekil 2.4 Portland çimentosunun harç çözelti fazındaki cam liflerinin çekme dayanımı (Majumdar ve Laws, 1991)	12
Şekil 2.5 Çelik lif katkısının taze beton özelliklerine etkisi (Schnütgen, 1992).....	27
Şekil 2.6 Çelik lif katkılı betonda kıvam deneyi ölçümlerinin birbirleri ile ilişkileri (Uğurlu, 1994)	28
Şekil 2.7 Betonda çelik liflerin etkisi (Schnütgen, 1992).....	30
Şekil 2.8 Değişik lif hacimlerinin dayanım-deformasyon ilişkisine etkisi (Marar ve diğ., 2001)	31
Şekil 2.9 Çelik tel donatılı ve donatı içermeyen plaklarda oluşan çatlaklar (Taşdemir, 2000)	36
Şekil 2.10 Eğilme deneyinde farklı bağ davranışlarında lifli betonun yük-sehim ilişkisi (Schnütgen, 1992)	37
Şekil 2.11 Kiriş üzerinde yapılan eğilme deneyi, deney sonucu meydana gelen gerilme blokları ve kesme diyagramı (Şener ve diğ. 1999)	38
Şekil 2.12 Liflerin değişik tip ve miktarlarını içeren dört karışım için muhtemel malzeme davranışının yük-deformasyon eğrileri (ACI 544.4R, 1989).....	40
Şekil 2.13 Yük-sehim eğrisi (TS 10515, 1992).....	41
Şekil 2.14 Çelik tel donatılı numunelerde yutulan enerji-sehim eğrileri (Taşdemir, 2000)	43
Şekil 2.15 Değişik tipteki betonların dayanabildiği darbe sayıları(Yan ve diğerleri, 1999).....	50
Şekil 2.16 Çelik liflerin prizma numunelerinde rötreye (büzülme) etkileri (Schnütgen, 1992).....	52
Şekil 2.17 Numunelerde lif oranına bağlı ağırlık kayıpları (Yıldız, 1998)	55
Şekil 2.18 Isıl işleme tabi tutulmuş lifli betonlarda lif yüzdesine bağlı basınç mukavemeti Değişimi (Ünal, 1994).....	57
Şekil 3.1 Agreganın granülometri eğrisi	66
Şekil 4.1 Vebe deney cihazı	77
Şekil 4.2 Beton numunelerin görünür özgül ağırlıkları	82
Şekil 4.3 Beton numunelerin su emme yüzdeleri	83

Şekil 4.4 Beton numunelerin görünür boşluk oranları	83
Şekil 4.5 90 gün suda bekletilmiş bir kontrol betonunun basınç deneyi grafiği	86
Şekil 4.6 90 gün suda bekletilmiş bir çelik+polipropilen lifli (SP 1) betonunun basınç deneyi grafiği	86
Şekil 4.7 Kontrol betonu ile çelik lifli betonların basınç dayanım grafikleri	89
Şekil 4.8 Kontrol betonu ile polipropilen lifli betonların basınç dayanım grafikleri	90
Şekil 4.9 Kontrol betonu ile çelik+polipropilen lifli betonların basınç dayanım grafikleri.	90
Şekil 4.10 Kontrol betonu ile cam lifli betonların basınç dayanım grafikleri	91
Şekil 4.11 Kontrol betonu ile çelik+cam lifli betonların basınç dayanım grafikleri.	92
Şekil 4.12 Ultrasonik ses hızı ve basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması ile oluşturulan eğri.	95
Şekil 4.13 Kontrol betonu ile çelik lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.	96
Şekil 4.14 Kontrol betonu ile polipropilen lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.	96
Şekil 4.15 Kontrol betonu ile çelik+polipropilen lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.	97
Şekil 4.16 Kontrol betonu ile cam lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.	98
Şekil 4.17 Kontrol betonu ile cam+çelik lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.	98
Şekil 4.18 28 günlük kırılmış bir silindir numunenin basınç dayanımı-zaman grafiği	101
Şekil 4.19 Polipropilen (P) lifli silindir bir numune için basınç dayanımı-zaman grafiği.	102
Şekil 4.20 Silindir bir (S 0.5) numunenin elastisite modülünü bulmak için oluşturulmuş olan dayanım-deformasyon grafiği.	103
Şekil 4.21 Silindir bir (SP 0.75) numunenin poisson oranını bulmak için oluşturulmuş olan yanal deformasyon-düşey deformasyon grafiği.	103
Şekil 4.22 28 günlük silindir numunelerde basınç dayanımı grafiği.	104
Şekil 4.23 28 günlük silindir numunelerden elde edilen elastisite modülü grafiği.	105
Şekil 4.24 28 günlük silindir numunelerden elde edilen poisson oranı grafiği.	105
Şekil 4.25 Kontrol betonu ile çelik lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri. ..	112
Şekil 4.26 Kontrol betonu ile polipropilen lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.	113
Şekil 4.27 Kontrol betonu ile çelik+polipropilen lifli betonların eğilme dayanımı-zaman	

grafikleri.	113
Şekil 4.28 Kontrol betonu ile cam lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.	114
Şekil 4.29 Kontrol betonu ile çelik+cam lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.	115
Şekil 4.30 Kontrol betonu ile çelik ve karışık lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.	115
Şekil 4.31 28 günlük s 0.5 betonu için bilgisayardan alınmış olan eğilme yükü-sehim eğrisi.	118
Şekil 4.32 28 günlük S 0.5 betonu için bilgisayardan alınan verilerin Excel programına aktarılması ile oluşturulan eğilme yükü-sehim eğrisi.	118
Şekil 4.33 28 günlük kiriş numunelerin ilk çatlak ve maksimum yükleri.	120
Şekil 4.34 28 günlük kiriş numunelerin tokluk değerleri.	121
Şekil 4.35 28 günlük kiriş numunelerin dayanım ve hesaplanmış olan eşdeğer dayanımları.	122
Şekil 4.36 28 günlük kiriş numunelerin tokluk indeksleri.	123
Şekil 4.37 28 günlük kiriş numunelerin ilk çatlak ve maksimum yükleri.	124
Şekil 4.38 Beton numunelerin darbe sayısı grafiği.	128
Şekil 4.39 Kontrol betonu ve çelik lifli betonların yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı darbe sayısı grafiği.	131
Şekil 4.40 Kontrol betonu ve polipropilen lifli betonun yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı-darbe sayısı grafiği.	132
Şekil 4.41 Kontrol betonu ve çelik+polipropilen lifli betonların yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı- darbe sayısı grafiği.	133
Şekil 4.42 Kontrol betonu ve cam lifli betonun yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı- darbe sayısı grafiği.	133
Şekil 4.43 Kontrol betonu ve çelik+cam lifli betonların yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı-darbe sayısı grafiği.	134
Şekil 4.44 Çelik liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.	138
Şekil 4.45 Polipropilen liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.	139
Şekil 4.46 Çelik+polipropilen liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.	139
Şekil 4.47 Cam liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.	140
Şekil 4.48 Çelik+cam liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.	141
Şekil 4.49 Çelik liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.	141

Şekil 4.50 Polipropilen liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.	142
Şekil 4.51 Çelik+polipropilen liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.	143
Şekil 4.52 Cam liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.	143
Şekil 4.53 Çelik+cam liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.	144
Şekil 4.54 Numunelerde 30 donma-çözülme çevrimi sonucu meydana gelen ağırlık azalması.	153
Şekil 4.55 Numunelerde 30 donma-çözülme çevrimi sonucu meydana gelen ses hızındaki azalma.	153
Şekil 4.56 Numunelerde 30 donma-çözülme çevrimi sonucu bulunan dayanıklılık faktörleri.	154
Şekil 4.57 Çelik lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.	158
Şekil 4.58 Polipropilen lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.	159
Şekil 4.59 Çelik+polipropilen lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.	159
Şekil 4.60 Cam lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.	159
Şekil 4.61 Çelik+cam lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.	161
Şekil 4.62 Çelik lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.	161
Şekil 4.63 Polipropilen lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.	162
Şekil 4.64 Çelik+polipropilen lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kayıbı miktarları.	162
Şekil 4.65 Cam lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.	163
Şekil 4.66 Çelik+cam lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.	164

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Kullanılan lif türlerinin önemli fiziksel ve mekaniksel özellikleri.	5
Tablo 2.2 Cam elyafı cinslerinin kompozisyonları (Yıldız, 1998).....	13
Tablo 2.3 Cem-Fil bazık ortam dayanımlı liflerin özellikleri (Halm, 1992).....	16
Tablo 2.4 Birinci ve ikinci kuşak cam lifli betonun uzun süreli davranışları (Halm, 1992)19	
Tablo 2.5 1 m ³ cam lifli betonda üretim masrafları. (Halm, 1992).....	19
Tablo 2.6 Polipropilen lifli beton numunelerin deney sonuçları (Vandenbossche ve Rettner, 1999).....	33
Tablo 2.7 Elastik şekil değiştirme indekslerinin değerleri (TS 10515, 1992)	43
Tablo 2.8 Polipropilen ve halı artığı liflerin basınç, eğilme dayanımı ve tokluk değerleri. (Polk ve diğ.1993).....	45
Tablo 2.9 Değişen narinlik ve lif içeriğine bağlı olarak numunenin dayanabildiği darbe sayısı. (Arslan ve Aydın, 1999 a).....	46
Tablo 2.10 Lifli betonlarda patlayıcı testleri ve sonuçları (Arslan ve Aydın, 1999 a).....	48
Tablo 2.11 Cam lifli betonlarda donma-çözülme deneyi sonunda görülen ağırlık kaybı (Yıldız, 1998)	54
Tablo 3.1 Kullanılan agreganın önemli özellikleri.	65
Tablo 3.2 Kullanılan agreganın diğer bazı özellikleri.	65
Tablo 3.3 Deneylerde kullanılan çimentonun (PÇ 42.5) tüm özellikleri.	67
Tablo 3.4 Çelik lif malzemenin teknik özellikleri.	68
Tablo 3.5 Çelik lif malzemenin tavsiye edilen beton içine karıştırma dozajları.	69
Tablo 3.6 Cam lif malzemenin teknik özellikleri.	69
Tablo 3.7 Polipropilen lif malzemenin teknik özellikleri.	70
Tablo 3.8 Akışkanlaştırıcı katkı malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri.	70
Tablo 3.9 Betonların kısaltılmış sembolleri.	71
Tablo 3.10 Betonları kısaltılmış sembolleri.	72
Tablo 3.11 Beton karışımında kullanılan malzemelerin numune tipine ve TS 802'ye göre hesap edilmiş hacim değerleri.	72
Tablo 3.12 Beton karışımında kullanılan malzemelerin numune tipine ve TS 802'ye göre hesap edilmiş ağırlık değerleri.	73
Tablo 4.1 Deneysel araştırma programı.	75

XIII

Tablo 4.2 Taze beton numunelerin birim ağırlık ve kıvam özellikleri.	78
Tablo 4.3 Sertleşmiş beton numunelerin özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı özellikleri.	81
Tablo 4.4 150x150x150 mm'lik beton deney numunelerinin basınç dayanımı sonuçları.	87
Tablo 4.5 150x150 mm'lik beton deney numunelerinin ultrasonik ses hızı sonuçları.	94
Tablo 4.6 Deney numunelerinin basınç dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı sonuçları.	101
Tablo 4.7 150x150x150 mm'lik beton deney numunelerinin eğilme yükü ve dayanımı sonuçları.	110
Tablo 4.8 28 günlük numunelerin toklukla ilgili olan hesaplanmış değerleri.	119
Tablo 4.9 100x100 mm'lik betonların darbe deneyi sonuçları.	126
Tablo 4.10 Numunelerin 3, 7, 28, 56 ve 112 günlük büzülme miktarlarının gösterilmesi.	137
Tablo 4.11 Numunelerin 3, 7, 28, 56 ve 112 günlük büzülme miktarlarının gösterilmesi.	137
Tablo 4.12 Donma-çözülme deneyi sonucu numunelerden elde edilen değerler.	151
Tablo 4.13 Numunelerin değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.	157
Tablo 4.14 Numunelerin değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.	157
Tablo 6.1 Lifli beton numunelerinin deney sonuçlarının kontrol numunesi deney sonuçlarına göre kıyası.	184

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf 4.1 Laboratuardaki Vebe deney cihazının görünüşü.	77
Fotoğraf 4.2 Numunelerin basınç dayanımlarının bilgisayara bağlı pres ile tespiti.	85
Fotoğraf 4.3 Ultrasonik ses cihazı ile ölçülen numuneler.	93
Fotoğraf 4.4 Deneye hazır başlıklanmış silindir numuneler.	100
Fotoğraf 4.5 Numunenin cihaz çeneleri arasına yerleştirilmiş hali.	100
Fotoğraf 4.6 Suda saklanan kiriş eğilme numuneleri.	107
Fotoğraf 4.7 Numunelerin eğilme deneyinin basınç dayanım aleti üzerine yardımcı aparatlar takılarak yapılışı.	109
Fotoğraf 4.8 Deney esnasında numune ortasından geyç okumasının yapılışı.	109
Fotoğraf 4.9 Lifsiz ve çelik lifli beton kiriş arasındaki kırılma sonrası ayrılma farkı.	111
Fotoğraf 4.10 Çelik lifli beton kirişte kırılma bölgesinin yakından görünüşü.	111
Fotoğraf 4.11 Darbe deneyi düzeneği.	126
Fotoğraf 4.12 Numunelerin darbe deneyi sonundaki durumları.	127
Fotoğraf 4.13 Ultrasonik ses cihazı ile ölçülen darbe dayanımı numuneleri.	131
Fotoğraf 4.14 Rötire ölçüm cihazı ile ölçülen numuneler.	136
Fotoğraf 4.15 Donma-çözülme deneyinde dondurucu içine konmuş numuneler.	150
Fotoğraf 4.16 Donma-çözülme deneyi sonucunda numunelerin yüzeylerindeki bozulmaların yakından görünüşü.	152
Fotoğraf 4.17 Numunelerin 3 saat 250 °C sıcaklıkta bekletildiği etüv.	156
Fotoğraf 4.18 Numunelerin 3 saat, 500 ve 750 °C sıcaklıkta bekletildiği fırının görünüşü.	156
Fotoğraf 4.19 % 0.5 lif içeren 100x100x100 cm'lik küp numunelerin röntgen filmi.	166
Fotoğraf 4.20 % 0.75 lif içeren 100x100x100 cm kalınlığındaki küp numunelerin röntgen film.	166
Fotoğraf 4.21 % 1 lif içeren 100x100x100 cm kalınlığındaki küp numunelerin röntgen film.	167
Fotoğraf 4.22 Lifsiz silindir numunelerin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin üstten çekilmiş fotoğrafı.	167

Fotoğraf 4.23 Lifsiz silindir numunelerin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.	168
Fotoğraf 4.24 % 1 çelik lif içeren silindirin 7.5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.	168
Fotoğraf 4.25 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 7.5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.	169
Fotoğraf 4.26 % 0.5 çelik lif içeren silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.	169
Fotoğraf 4.27 % 0.5 çelik lif içeren kırılmış silindirin 2.5 cm kalınlığındaki kesitinin röntgen filmi.	170
Fotoğraf 4.28 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.	171
Fotoğraf 4.29 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 7.5 cm kalınlığındaki yatay kesit röntgen filminin negatifi.	172
Fotoğraf 4.30 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesit röntgen filminin negatifi.	172
Fotoğraf 4.31 % 0.5 çelik lif içeren kırılmış silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesit röntgen filminin negatifi.	173
Fotoğraf 4.32 % 1 lif içeren 100x100x100 cm kalınlığındaki küp numunelerin röntgen filminin negatifi.	173
Fotoğraf 4.33 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filminin negatifi.	174

SİMGELER LİSTESİ

A	: Numune alanı
a_k	: Isıl yayılım katsayısı
b	: Deney numunesinin genişliği
B	: Çekme bölgesi ağırlık merkezine Z kadar mesafede basınç bölgesindeki gerilmelerin bileşkesi
Bi	: Biot sayısı
B_n	: Numunelerin boy değişim oranı
B_o	: Numunenin görünür boşluk oranı
C	: Çekme bölgesindeki gerilmelerin bileşkesi
c	: Çevrim sayısı
C_p	: Özgül ısı kapasitesi
c_s	: Deneyin bitirileceği çevrim sayısı
d	: Kiriş yüksekliği
DF	: Dayanıklılık faktörü
E_p	: Dinamik elastisite modülü
E_{pc}	: Donma-çözülme çevrimlerinden sonraki dinamik elastisite modülü oranı
Fo	: Fourier sayısı
F_s	: Sıvının kaldırma kuvveti
h	: Deney numunesinin yüksekliği (mm)
I_{10}	: İlk çatlak sehiminin 5.5 katına kadarki alanın tokluk indeksi
I_{20}	: İlk çatlak sehiminin 10.5 katına kadarki alanın tokluk indeksi
I_{30}	: İlk çatlak sehiminin 15.5 katına kadarki alanın tokluk indeksi
I_3	: İlk çatlak sehiminin 3 katına kadarki alanın tokluk indeksi
L	: Deney numunesinin iki ucu arasındaki mesafe
l	: Numune uzunluğu
L_1	: Deney numunesinin 1. boyutundaki iki ucu arasındaki mesafe
L_2	: Deney numunesinin 2. boyutundaki iki ucu arasındaki mesafe
L_3	: Deney numunesinin 3. boyutundaki iki ucu arasındaki mesafe
L_k	: Numunenin karakteristik uzunluğu
l_o	: Numune ilk boyu

L_s	: Mesnetler arası mesafe
m_1	: Numunenin su emme oranı
M_u	: Uygulanan dış yük momenti
N	: Belirli bir değere kadar devam eden çevrim sayısı
n	: Donma-çözülme çevrimlerine başlamadan önceki geçiş frekansı
n_1	: Donma-çözülme çevrimlerinden sonraki geçiş frekansı
P_i	: İlk çatlak yükü
P_u	: Eğilme yükü
$R_{10.20}$	: I_{10} ve I_{20} indeks ölçümlerinin yapıldığı yerler arasında kalan alanın kapasitesini tanımlayan değer
t	: Zaman
T_0	: Numunenin merkez sıcaklığı
T_∞	: Numunenin konulduğu ortamın sıcaklığı
T_b	: Tokluk değeri
T_i	: Numunenin ilk sıcaklığı
t_p	: Puls geçiş süresi
T_z	: Basınç bölgesi ağırlık merkezine z kadar mesafede çekme bölgesindeki gerilmelerin bileşkesi
V	: Numune hacmi
V_b	: Numune boşluk hacmi
V_{bat}	: Numunenin batan kısmının hacmi
V_d	: Numune dolu hacmi
V_{kap}	: Kalıp hacmi
W_{bk}	: Beton ve kalıp ağırlık toplamı
W_{dyk}	: Doygun kuru yüzey numune ağırlığı
W_{kap}	: Kalıp ağırlığı
W_{sa}	: Numunenin sudaki ağırlığı
Z	: Kuvvet kolu
α	: Isı taşınım katsayısı
γ	: Özgül ağırlık
γ_{bt}	: Taze betonun birim ağırlığı
γ_e	: Emniyet katsayısı
γ_g	: Görünür özgül ağırlık

XVIII

- Δl : Boy değişim miktarı
 Δl_1 : 1 günlük boy değişim miktarı
 Δl_n : n günlük boy değişim miktarı
 δ_{tb} : Tokluk değerinin bulunması için gerekli sehim değeri
 ε : Deformasyon
 θ_0 : Boyutsuz sıcaklık
 λ : Isı iletkenliği hesap değeri
 v : Ultrasonik ses hızı
 σ_e : Eşdeğer eğilme dayanımı
 σ_{emn} : Emniyet gerilmesi
 σ_u : Eğilme dayanımı



1. GİRİŞ

Günümüzde, betonarme malzemede aranan ve istenen özellikler her geçen gün giderek artmaktadır. Bunda; çevre koşulları, doğal olaylar ve çağa uygun daha sağlam yapılar yapma isteğinin etkisi büyüktür. Betonarme yapılar dizayn edilirken de, bu özellikler göz önünde tutulmaktadır. Beton hangi tür etkiye ya da hangi zorlanmaya karşı çalışacaksa, bu durumun açıkça tanımlanması ve betonun bu yönünün güçlendirilmesi gereklidir.

Bilindiği gibi, betonun çekme mukavemeti dışındaki mekanik özellikleri oldukça iyidir. Çekme zorlanmalarına karşı dayanım, beton içinde çelik donatıların kullanılması ile iyileştirilir. Donatı, çekme mukavemetini arttırmak dışında başka görevler de üstlenir. Bunlar; eğilme, darbe, kesme ve kayma mukavemetinin artırılması, burulma momentlerinin karşılanması, betonarmede sünekliğin sağlanması, enerji emme kapasitesinin artırılması ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi olarak sıralanabilir. Beton ile çeliğin bir arada kullanılması ile ortaya çıkan betonarme malzeme; ısı genleşme katsayıları birbirine çok yakın ve uyumlu bu iki malzemenin bir araya gelmesi ve hatasız yapıldığında içindeki beton ve çeliğin olumsuzluklarını da bertaraf etmesi sebebiyle inşaatlarda en çok tercih edilen malzeme haline gelmiştir.

Betonarme ile daha yüksek, daha küçük kesitli yapılar yapma ve bu malzemenin yetersiz görülen bazı özelliklerinin daha da iyileştirilmesi ihtiyacı, insanoğlunu beton içinde daha başka malzemeler de kullanma ve hatta bu malzemelere alternatif arama yoluna itmiştir. Beton içerisinde katılan tüm malzemeler belirli bir amaca ve belirli bir özellik ya da özelliklerin iyileştirilmesine yönelik olarak kullanılır. Burada önemli olan amacın ve iyileştirilecek olan özelliklerin iyi belirlenmesidir.

Lifler de betona, çelik donatıya benzer nitelikler kazandırmak amacı ile katılmaktadır. Lifler, donatıya göre farklı avantaj ve dezavantajları olan malzemelerdir. Dünyada inşaat alanının birçok kesiminde kullanılmasına rağmen henüz liflerin tam

olarak donatının yerini alacak niteliğe sahip olmadığı düşünülmektedir. İnşaatlarda yapılan işçilik hataları, beton kalitesinin her yerde güven vermemesi, liflerin donatı gibi iskelet oluşturuıcı özelliğinin bulunmayışı ve betonun işlenebilirliğinde karşılaşılan zorluklar bu düşünceyi desteklemektedir. Diğer yandan liflerin, homojen dağıldıklarında, özellikle darbe mukavemetini ve enerji emme kapasitesini donatıya göre daha fazla artırdıkları ve yorulmayı azalttıkları belirlenmiştir. Bu durum deprem ve rüzgar gibi dinamik kuvvetlere karşı büyük avantaj sağlamaktadır. Sayılan bu özelliklerle yukarıda belirtilen mukavemet ve dayanıklılık özelliklerine; lif tipinin, kullanım yüzdesinin ve lif boyunun lif çapına bölünmesiyle elde edilen narinlik oranının büyük etkisi vardır. Birçok lif tipi bulunmasına ve kullanılmasına rağmen bunların içinde en çok tercih edilen ve sık kullanılanları çelik, cam, polipropilen ve karbon liflerdir. Bu lifler beton hacminin belirli bir yüzdesi oranında betona katılmaktadır.

Lifli beton kullanımı son yıllarda tüm dünya üzerinde giderek yaygınlaşmış ve ülkemiz de bu teknolojiye, betonarmeyi sıkça kullanan ve tercih eden bir ülke olarak, duyarsız kalmamıştır. Lifli betonlar günümüzde; endüstriyel döşemeler, su yapıları, püskürtme beton uygulamaları, şev stabilitesi, tünel kaplamaları, havaalanı kaplama betonları, liman kaplama betonları, kaplama yapımı, depreme dayanıklı yapılar, önceden dökülmüş beton elemanlar, beton borular, askeri sığınaklar vb. gibi yerlerde geniş kullanım alanları bulmuştur (Uğurlu, 1994). Ülkemizde beton içinde donatı yerine lif kullanımının yaygınlaşması; lifli betonun özelliklerinin geliştirilmesi, rekabet gücünün artması, üretim ve tüketimde ekonomikliğin sağlanması ve çalışanların bilinçlendirilmesine bağlıdır.

1.1. Problem

Dünyanın gelişmiş olan ülkelerinde uzun süredir kullanılmakta olan lif malzemesinin ülkemizde inşaat alanında kullanımının yaygınlaştırılması ve hatta hazır beton tesislerinde değişik tipte lifli beton üretimlerinin de yapılması, özellikle deprem bölgelerinde bu tip beton üretimlerine ağırlık verilmesi gerekmektedir.

1.2. Amaç

Bu doktora tezi ile, liflerin kullanımının beton ve yapı için yaratmış olduğu avantaj ve dezavantajların araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaca ulaşabilmek için cevaplandırılacak sorular özetle şunlardır:

1. Lifler betona hangi oranlarda katılmalıdır?
2. Lif çeşidi ve şekli betonu nasıl etkiler?
3. Farklı lif tipleri bir arada kullanılabilir mi?
4. Liflerin betona dayanım ve dayanıklılık yönünden sağlayabileceği faydalar nelerdir?
5. Betonda lif dağılımı röntgen çekilerek incelenebilir mi?
6. Lifli beton üretiminin hazır beton tesislerinde yaygınlaştırılabilir mi?
7. Hazır beton tesislerinde beton üretimini geliştirebilmek için neler yapılabilir?

1.3. Yöntem

Bu amaçlara ulaşabilmek için, kaynak araştırması, deneysel çalışma ve anket çalışması kullanılmıştır. Araştırma daha çok deneysel çalışmalara yoğunlaşarak yürütülmüş ve kaynak araştırmalarına istinaden yorumlanmıştır. Bunun yanında, anket araştırmaları gözlemsel tecrübeler, kişisel bilgiler ve karşılıklı diyaloglar ışığında yorumlanmıştır.

1.4. Sınırlılıklar

Bu doktora tezi aşağıda belirtilen sınırlılıklar çerçevesinde yürütülmüştür.

1. Deneylerde kullanılacak numune sayısının çok artmasından dolayı lif yüzdelерinin sınırlı tutulması,
2. Deney sayısının çok artması nedeniyle konuların sınırlandırılmış olması,
3. Araştırma süresi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ilgili kararı doğrultusunda, 2.5 yıl ile sınırlı tutulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Lif Katkıları ve Beton İçinde Kullanımları

Betonarme yapı elemanlarının matrisi (ana kütlesi) oldukça küçük kırılma sünekliği gösteren çimentodur. Matrisin bu çok sınırlı olan kırılma sürekliliği ve yine çok düşük olan eğilme mukavemeti değeri, yüzeye yakın bölgelerde istenmeyen çatlakların ortaya çıkmasına neden olur.

Liflerin varlığı çatlakların oluşmasını önlerken, büyük uzama değerinde çok sayıda, ince dağılımlı, gözle görülmeyen ve olumsuz etkileri göstermeyen zararsız çatlakların oluşmasına neden olur. Lifli betonlar, katkısız matrisli betona göre oldukça uygun bir şekil değiştirme ve aynı zamanda yüksek mukavemet özelliği gösterir (Halm, 1992).

Bentur ve Mindess (1998); Arslan (1987); Phillips (1989) ve Uğurlu (1994), değişik liflerin çok önemli fiziksel ve mekanik özelliklerini (elastisite modülünü, çekme gerilmesini ve kırılma uzamasını) veren tabloları çıkarmışlardır. Bu tablolar toplanıp, tek bir tablo olarak düzenlendiğinde aşağıdaki gibi bir tablo elde edilebilmektedir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Kullanılan lif türlerinin önemli fiziksel ve mekaniksel özellikleri.

Lif Tipi	Çap (µm)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Elastisite Modülü (GPa, kN/mm ²)	Çekme dayanımı (GPa)	Kopma uzaması (%)
Çelik	5-500	7.84	200	0.5-2.0	0.5-20
Cam	9-15	2.60	70-80	2-4	2-3.5
Asbest (krokidolit)	0.02-0.4	3.40	196	3.5	2-3
Asbest (krisotil)	0.02-0.4	2.60	164	3.1	2-3
Polipropilen	20-200	0.9	5-77	0.5-0.75	8
Aramid (Kevlar)	10	1.45	65-133	3.6	2.1-4
Karbon Tip I	9	1.90	380	1.8	0.5
Karbon Tip II	9	1.90	230	2.6	1.0
Naylon (Tip 242)	-	1.1	4.0	0.9	13-15
Selüloz	-	1.2	10	0.3-0.5	-
Akrilik	18	1.18	14-19.5	0.4-1.0	3
Polietilen	-	0.95	0.3	0.7	10
Ağaç lifi	-	1.50	71.0	0.9	-
Sisal keneviri	10-50	1.50	-	0.8	3.0
Bor	-	2.63	379	2.76	-
Pamuk	-	1.50	4.8	0.4-0.7	3-10
Polyester	-	1.40	8.3	0.7-0.9	1.4
Pamuk-yün	-	1.50	6.9	0.4-0.7	10-25
Mineral yünü	-	2.70	69-117	0.4-0.8	0.6
Titanyum alaşımı	-	4.52	117	0.7	-
Hafif alaşım	-	2.69	72	0.5	-
Alümin	-	3.30	297	3	-
Polikristalin alümin	500-770	3.90	24.5	0.65	-
Grafit I	8	1.90	380-415	1.5-2.1	0.5
Grafit II	9	1.90	240-280	2.4-2.6	1.0
Çimento Matrisi	-	2.50	10-45	3.7x10 ⁻³	0.02

2.1.1. Çelik Lifler

Çelik lif takviyeli betonun mekanik özellikleri lifin tipi (uzunluk/çap oranı, lif miktarı) ve numunenin boyutu, şekli, agreganın boyutu ve numunenin hazırlanış şeklinden etkilenir.

Geleneksel ekipman ve prosedürler ile yerleştirilebilen ve karıştırılabilen çelik lifli beton karışımlarında, tüm beton hacminin % 0.5 ila % 1.5'i kadar hacimde lifler kullanılır. Daha yüksek lif yüzdeleri (% 2 ile 10), özel lif ilave teknikleri ve yerleştirme

prosedürleriyle kullanılmaktadır. Ancak ilave dayanım ya da dayanıklılığa ihtiyaç duyulan özel tekniklerle ayarlanabilecek uygulamalarda daha yüksek lif karışım yüzdesi verilebilmektedir.

Lifler; tüm yetersiz modlarda beton ve hamurun mekanik özelliklerini; özellikle de direkt çekme, eğilme, çarpma ve kesme gibi yorulma ve çekmeye neden olan özellikleri etkiler. Liflerin dayanım mekanizması, eğer lif yüzeyi deforme olursa, lif ve matris arasında bağlantı kuran ya da kesme ara yüzeyiyle matristen life gerilme transferini kapsar. Gerilme, böylece matris kırılana kadar çekmede lif ve matris tarafından paylaşılır ve o zaman bütün gerilme devamlı liflere transfer edilir.

Matrisin kendisinden başka, çelik lifli betonun özelliklerine hükmeden en önemli değişiklikler, lif randımanı ve içeriğidir (lif sayısı ve hacim ya da ağırlıkla lifin yüzdesi). Lif randımanı, lif-matris ara yüzeyinde aderans direncine bağlı iç dönme ve liflerin çekip çıkarma dayanımı ile kontrol edilir. Lif aderans direnci, lif uzunluğuna bağlı olarak artar. Lif uzunluğu arttıkça kompozitin özelliklerini geliştirmedeki etkisi de yükselir.

Sıyrılma dayanımı ara yüzey alanı ile orantılı olduğu için yuvarlak olmayan lif kırım bölümleri ve daha küçük çaplı yuvarlak lifler, birim hacimdeki yüzey alanı daha büyük olduğundan, daha büyük çaplı yuvarlak liflerden daha yüksek sıyrılma direnci verirler. Böylece; ara yüzey alanı ne kadar artarsa ya da çap ne kadar azalırsa, lif bağı o kadar güçlü olur. Bundan dolayı verilen bir lif uzunluğu için bağ değeri, yüksek bir uzunluk/çap oranı (boyut oranı) ve yüksek lif randımanına bağlıdır. Bu esasta, kompozit kırıldığı zaman, liflerin çekme dayanımlarını sağlamak için yeterince yüksek bir boyut oranına sahip olduğu görülür.

Çoğu araştırmalar, geleneksel karışım teknikleri kullanılırsa lifler, 100'den büyük bir boyut oranıyla çalışıldığında, genellikle beton karışımının yetersiz işlenebilirliğine ve üniform olmayan lif dağılımına sebep olur. Pratikte kullanılan birçok karışım, 100'den daha az boyut oranıyla lifleri çalıştırır ve kompozitin başarısızlığı öncelikle lif aderansı yüzündendir. Ancak, boyut oranı artmaksızın artan aderans

direnci, eğri şekilli ve sonu ankrajlı liflerle sağlanır, kırılma liflerin bazılarını da kapsayabilir; ama genellikle aderans olumlu etkilenir.

Eğer lifler çekmede kırılırsa oluşan hızlı kırılma normal betona kıyasla aşamalı ve sünektir. Genellikle; çelik lifler ne kadar sünek olursa, betonun kırılması da o kadar sünek ve aşamalı olur. Eğilmede (bükülmede) çelik lifler tarafından sağlanan süneklik; yüksek dayanımlı lifler tavlандığı zaman, metallerin kırılma eğilimini azaltan ve onları az da olsa yumuşatan tavlama işlemiyle artırılabilir.

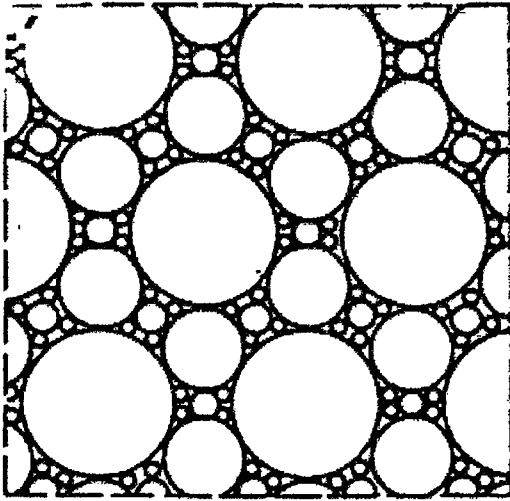
Bir anlamda; lif tipi ve miktarıyla, çelik lifli betonun mekanik özelliklerinin değişmesi, başarılı dizaynın önemli bir ifadesidir (ACI 544.4R, 1989).

Halm'e (1992) göre, çelik liflerin hem eğilme yeteneği ve hem de mukavemeti yüksek olmaktadır. Çelik liflerin yanma özelliği yoktur. Paslanmaz çeliklerin dışında kalan çelikler, şüphesiz korozyondan etkilenir. Paslanmaz çeliklerde betona tutunma (aderans) özelliği ise, kötüdür. Ancak bu olumsuz etki de yapı ve yüzeysel işlemlerle belli ölçülerde iyileştirilebilir.

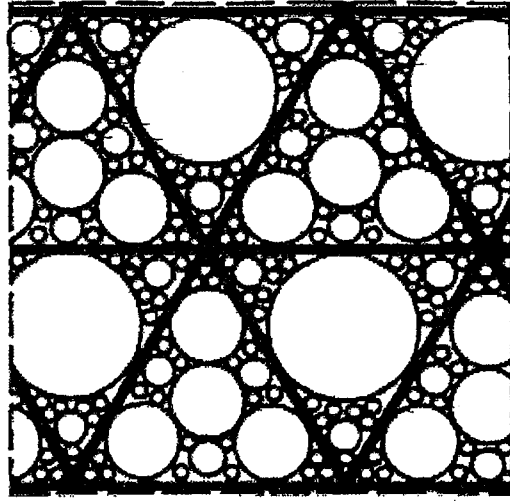
Taşdemir'e (2000) göre, çelik teller birbirlerine özel tutkalla demetler halinde yapıştırılarak taze betona katıldıklarında, bu demetler hemen çözülür, tellerin homojen dağılımı sağlanır ve topaklanmalar önlenir.

Çelik tel donatılı elemanlarda tel narinliği ve içeriği değiştirilerek istenilen optimum çözümleri elde etmek mümkün olabilmektedir. Böylece sünek elemanlar üreterek şok yüklemelere ve deprem sırasında oluşabilecek yüklere karşı daha sünek davranış elde edilebilir.

Schnütgen'e göre (1992); agregaların tane boyutları, doğru çizgili elemanların bulunmasının etkisi ile yüksek oranda ince taneli kısmın bulunmasını gerektirmektedir. Hedeflenen elek çizgileri A'ya göre ince tanece zengin olan kısma kaymaktadır. Problemin açıklanmasında yardımcı olmak üzere; 1 ve 2 nolu düz bir modelde verilen şekiller ele alınmıştır (Şekil 2.1).

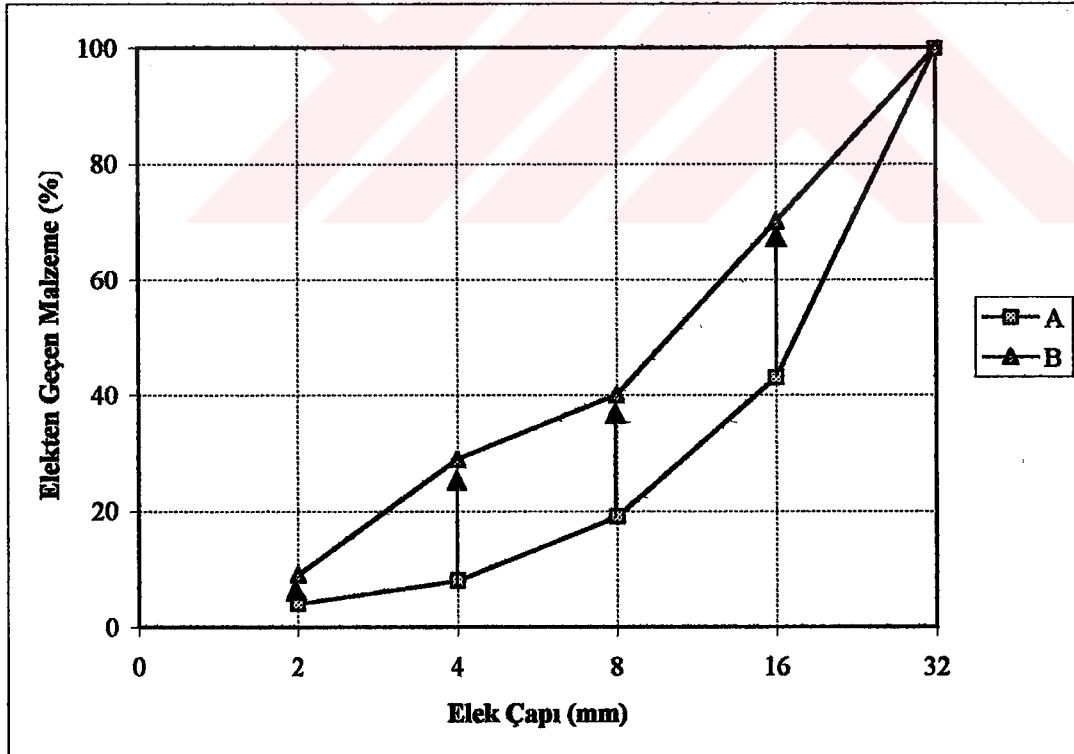


Model (A)



Model (B)

Şekil 2.1 Agregaların yapıları için düzlemsel modeller (Schnütgen, 1992).

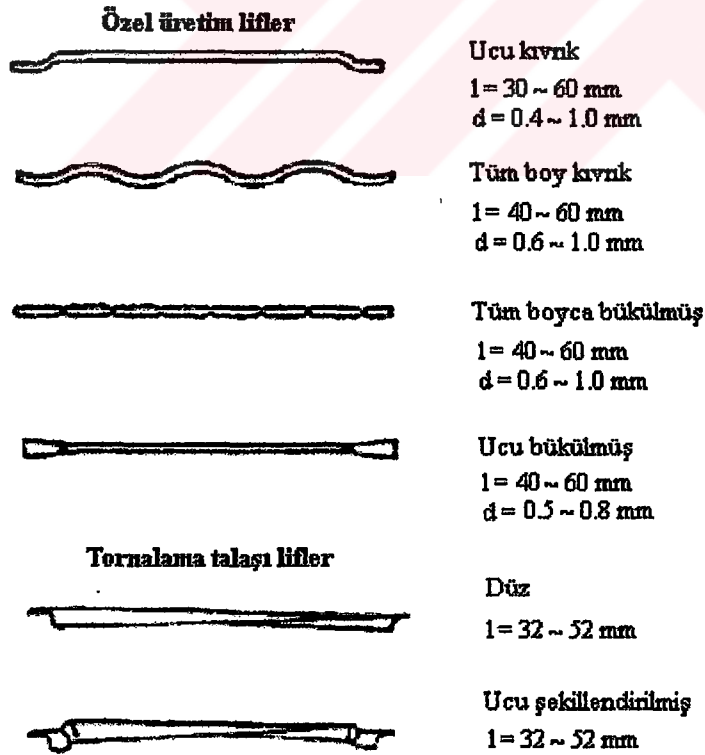


Şekil 2.2 A ve B modelleri verilmiş olan agregaların granülometrileri (Schnütgen, 1992).

Aynı tane sınıfında düzenli bir sıkı yapı elde edebilmek için doğrusal (lineer) elemanların varlığında A ve B modelinde görüldüğü gibi daha ince boyutlu tanelerin yüksek oranlarda bulunması gerekir (Şekil 2.2). Bu ise, her lifin en iri tanenin yarıçapını belirgin şekilde aşması durumunda, yerleşen liflerin toplam uzunluğuna bağlı olarak değişir. Özellikle yüksek lif katkılarında kayıp tane sınıfları problem yaratmaktadır.

Çelik lifler değişik geometrik şekillerde piyasadan temin edilebilirler. Şekil 2.3'te verilen örnekler seçilebilecek türdendir. Bunların seçiminde hiçbiri için tam mükemmel olduğu fikri öne çıkmamalıdır.

Liflerin geometrik şekli hem çelik lifli betonun işlenebilirliğine ve hem de ulaşılan özelliklere büyük etkisi vardır. Farklı lif tipleri farklı amaçlara yöneliktir. Böylece, kullanıcı lifleri kendi amacına göre seçilebilir.



Şekil 2.3 Çelik lif tipleri (Schnütgen, 1992).

Çelik liflerin betona özel yöntemlerle verilmesi ve liflerin özel hazırlanması, örneğin demet halinde ve yapışık olması, işlenebilme problemlerini iyileştirebilir.

Çelik lifler madde hacmi hesabında dikkate alınmalıdır. Yani, çelik lifler alışlagelmiş betonarme yapıların aksine, betonun hacimsel bir parçasıdır. Lifsiz betonun kalite özelliklerini ve yine sadece liflerin özelliklerini tanımak yetmez. Ayrıca, çelik lifli betonu, tek başına homojen bir yapı malzemesi olarak görmek gerekir.

Çelik lifli betonlar daima kendisinden beklenen özellikleriyle tanımlanmalıdır. Çelik lifli betonun veriminin açıklanmasında ana betonun, lif miktarının ve lif tipinin verilmesiyle yapılacak açıklamalar yeterli değildir.

Çelik lifli betonun üretim yöntemi olarak, ana betonun oluşturulması ve daha sonra buna çelik liflerin katılması büyük önem taşır.

Katkı maddelerinin ilavesi, lifin katılmasından önce veya sonra gerçekleşebilir. Çelik liflerin karışıma dengeli dağılmasının temini oldukça önemlidir.

Genel olarak karışımda dengeli dağılan çelik liflerin daha sonra bir araya toplanmaları ve kirpi içneleri oluşturmalarının önüne geçilmesi gerekir. Bu nedenle, liflerin karmaşık geometrik şekilli olmaları ve bazı hallerde özel şekle sahip liflerin temin edilmesi durumunda bunları iyi işlemek gereği vardır.

Kuru püskürtme beton için, katkı ve çimentodan oluşan bir kuru karışıma çelik liflerin ilavesiyle yapılan üretim büyük önem taşır. Burada da yine çelik lifler karışımda bir kez dağılmış olarak bulunursa, bunların bir araya toplanmaları söz konusu olmaz. Lif dağıtım cihazlarını kuru karışımların üretimlerinde de kullanmak olasıdır.

Çelik lifli püskürtme betonda, karışımın aşırı ölçülerde su kusma problemi ortaya çıkar. Böyle su kusma etkili malzemede, aşırı iri taneli agregaların ve çelik liflerin

varlığı söz konusudur. Bu suretle, hazırlanan karışıma göre püskürtme betonun tane dağılımı değişir ve yapı ince taneli beton yönünde değişme gösterir. Aynı şekilde, m³ bazında tamamlanmış püskürtme betonun çelik lif içeriğinde de azalma görülür. Bu nedenle çelik lifli betonda su kusmayı azaltıcı önlemler ayrı bir öneme sahiptir. Bu arada, yaş ve kuru püskürtme beton arasında dikkate değer bir fark yoktur.

De Vos'a (1992) göre, büyük ölçekli deneylerle taşıma kabiliyetine bakıldığında; elastik yataklar üzerindeki plakaların, eğilme dayanımı değerine ulaşıldığında, statik açıdan kararsız oldukları görülür. Lifler betona sonradan çatlayabilirlik ve süneklik özelliği kazandırarak, daha yüksek yüklenebilirlik ve güvenilirlik sağlarlar. Daha önceki yapılmış olan büyük ölçekli deneylerde 13 cm'lik lifli beton ile yapılmış olan bir döşemenin 3500 kN'luk bir kırılma yüküne dayandığı gösterilmiştir. Bu değer öngörülen yük değerinin tam 7 katına ulaşmaktadır.

Elastik yataklanan kirişler üzerinde yapılan deneylerden de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Eğer deney numunesi yeterli ene sahipse (lif boyunun beş katından büyük), bu durumda yeni çatlakların oluşmasının ne ölçüde frenlendiği ve böylece yükün başka noktalara aktarımının mümkün olabildiği gözlenir. Az miktarda ve yetersiz etki yapan liflerde bu etkinin gözlenebilmesi imkansızdır ve beton gevrek davranış gösterir.

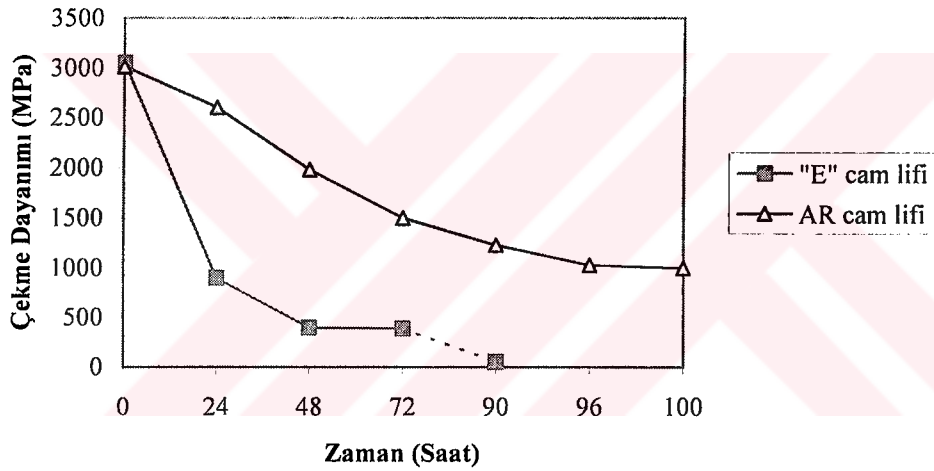
Wienke'ye (1992) göre, mümkün olduğu kadar çatlamayan beton zemin oluşturmada; çekme yükü dayanımı, çatlama davranışı ve büzülme davranışı ön planda bulundurulur. Değişen yükler altındaki, örneğin yük taşıyan araçların (forkliftlerin) gelip geçtiği yerlerde zeminin yorulma etkilerine olan davranışı önemlidir. Bu arada zeminin, düşen yüklerden ileri gelen çarpmalara karşı dayanıklı olması da istenir. Zeminin iş görebilirliği, çatlayan betonun yük taşıyabilirliğini ve aktarabilirliğini mümkün kılar ve emniyet katsayısının tespiti ile dikkate alınır.

Arslan ve Aydın'a (1999 a) göre, çelik liflerin beton içerisine katılma oranı % 0.5-2.5 arasında olabilmektedir. Ancak; yapılan araştırmalar, optimum faydanın % 1-2 lif içeriği olması halinde sağlanabildiğini göstermiştir. Daha yüksek oranlarda basınç dayanımı düşmektedir. Lifler için en uygun narinliğin 100 ve en uygun uzunluğun da

30-50 mm olduğu tespit edilmiştir.

2.1.2. Cam Lifler

Dikkatli bir inceleme yapıldığında, cam liflerinin çimento matrisine karşı alkali direncinin artırılması gerektiği görülmüştür. Ağırlıkça % 11 Na₂O, % 71 SiO₂, % 16 ZrO₂, % 1 Al₂O₃, % 1 Li₂O kompozisyonlu cam lif laboratuvar çalışmaları sonucu bulunmuştur. Bu tip lifler E- cam lifleri ile karşılaştırılarak aşağıda verilen eğri elde edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Portland çimentosunun harç çözelti fazındaki cam liflerinin çekme dayanımı (Majumdar ve Laws, 1991).

Matriste puzolan kullanılırsa; çimento hidratasyonu sırasında ortaya çıkan Ca(OH)₂'i ve diğer alkalileri bağlayarak, korozyif alkali atıklarını azaltmada önemli rol oynamaktadır (Majumdar ve Laws, 1991).

Yıldız'a (1998) göre; kompozisyonlarına bağlı olarak, değişik cam elyafı cinsleri vardır. Bunlar içinde "E" camı elyafının en başta geldiği görülmektedir. Elektrik ve

mekanik özellikleri ile maliyetinin iyi bir denge oluşturması sonucu, bu kalsiyum alüminosilikat bileşiminin, kullanılan toplam cam elyafı takviye malzemeleri içinde % 90 pazar payına sahip olduğu görülmektedir. “E-CR” camı, “E” camının değiştirilmiş şekli olup, asitlere karşı dayanım sağlamak amacı ile kompozisyonunda bor içermemektedir. “E-CR” camı elyafı genellikle kimyasal dayanım istenen tank ve boru imalatında kullanılmaktadır.

Yüksek mekanik dayanım aranan ürünler için kullanılan cam elyafı cinsleri Amerika’da “S” camı; Avrupa’da “R” camı olarak nitelenmektedir. Kompozit mukavemetini ve rijitliğini arttıran bu cins cam elyafı havacılık, uzay ve askeri alanlarda yüksek teknik performans gereksinimi nedeni ile kullanılmaktadır.

Ayrıca; nakliye, spor ve dinlenme alanlarında da bazı ürünler için kullanıldığı görülmektedir. Bunların dışında, mükemmel dielektrik özellikler taşıyan ve elektron endüstrisinde sıkça kullanılan, “D” camı elyafı ve özellikle yüzey tüylerinde kullanılan kimyasal dayanımlı “C” camı elyafı da bulunmaktadır. Başlıca cam elyafı cinslerin kompozisyonları Tablo 2.2’de verilmektedir.

Tablo 2.2 Cam elyafı cinslerinin kompozisyonları (Yıldız, 1998).

Oksit Adı	A Tipi (%)	C Tipi (%)	E Tipi (%)	R Tipi (%)	S Tipi (%)
SiO ₂	72	64.6	52.4	60	64.4
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	1.5	4.1	14.4	25	25
CaO	10	13.4	17.2	9	-
MgO	2.5	3.3	4.6	6	10.3
Na ₂ O+K ₂ O	14.2	9.6	0.8	-	0.3
B ₂ O ₃	-	4.7	10.6	-	-
BaO	-	0.9	-	-	-

Piyasadaki cam elyafı çeşitleri sınıflandırılmak istendiğinde, bu sınıflandırma aşağıdaki gibi yapılabilir:

a) Fitol: Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda

delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile “Direkt Sarma Fitol” olarak üretilebildiği gibi, daha az sayıda delik içeren kovanlardan üretilen cam elyafı demetlerin birbirine paralel olarak bükülmeden sarılması ile, “Birleşik Fitol” olarak da üretilebilir.

b) Dokunmuş fitil: Dokuma amacı ile üretilmiş fitillerin belirli bir düzen içinde dokunması ile yapılan cam elyafı takviye malzemesidir. El yatırması metodu ile yapılan kalıplamalarda daha yüksek mekanik dayanım sağlamak amacı ile kullanılır. Ayrıca, özel dokuma tipleri ile, fenolik reçine emdirilerek kesme taşlarının üretiminde de kullanılır.

c) Cam elyafı iplik: Cam elyafı demetlerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen takviye çeşididir. Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır.

d) Kumaş: Cam elyafı ipliklerinden dokunmuş kumaşlardır. Genellikle epoksi reçine takviyesinde kullanılır. Başlıca uygulamaları, baskılı devre üretimi, devre kesici tüpleri üretimi gibi elektrik araç gereç üretimidir.

e) Dokunmamış fitil: Belirli yönlerde mukavemet sağlamak amacı ile tek kat veya çok kat olarak dokunmadan bir arada tutturulmuş takviye ürünleridir. Özellikle yüksek mekanik dayanım ve hassasiyet aranan havacılık ve uzay sektöründe kullanılır.

f) Devamlı demetli keçe: Kovandan akan liflerin, düzgün dağılımlı tabakalar oluşturacak şekilde yayılmasından oluşan cam elyafı takviye çeşididir. Bu şekilde yayılan lifler ikinci bir bağlayıcı kullanılarak bir arada tutulur. Bağlayıcı cinsi ve miktarı öngörülen uygulama alanına bağlıdır. Başlıca kullanım alanları: Önceden şekillendirilecek veya şekillendirilmeden maçalı kapalı kalıplama, pultrüzyon, devamlı levha ve baskılı devre plakası üretimleridir. Ayrıca köpük takviyesinde de kullanılır.

g) Kırılmış demetler: Cam elyafı demetlerin 3-12 mm uzunluğunda kırılmış

şeklidir. Termoplastik reçinelerin ve termoset reçinelerin takviyelerinde kullanılır. Kullanım alanı ve takviye edilen reçine özelliklerine bağlı olarak, demet bütünlüğü, akma ve reçine uyum özelliklerine sahiptir.

h) Kırpılmış demetten keçeler: Bu cam elyafı takviye çeşidi, 50 mm uzunluğunda kırpılmış cam elyafı demetlerinin, stirende çözünür bir bağlayıcı ile bir arada tutulmasından oluşmaktadır. Kullanılan bağlayıcı miktarı, proses gereklerine ve bitmiş ürün özelliklerine bağımlı olarak % 3-10 arasında değişmektedir. Kırpılmış demetten keçeler, açık kalıplama metodu ile yapılan kalıplamalarda ve çift film arasında devamlı veya kesikli levha kalıplamasında kullanılır.

i) Öğütülmüş lifler: Öğütme işlemi sonucunda, uzunlukları 0.1-0.2 mm'ye düşürülmüş cam elyafı takviye malzemesidir. Bu liflerin çapları 10-17 mikron arasında değişir. Öğütülmüş liflerin başlıca kullanım alanı termoplastik reçinelerin ve poliüretan reçinenin takviyesidir. Kompozitin rijitlik, boyut stabilite ve darbe dayanımı gibi özelliklerini yükseltmek için; öğütülmüş lif boyu çok kısa olduğundan, bu takviye malzemesi diğer kompozitlerin takviyesinde genellikle kullanılmaz.

Kompozitlerin takviyesinde ayrıca; devamlı veya kırpılmış demetten keçe gibi dokunmamış ürünlerle dokunmuş kumaşların bir araya getirilmesi ile oluşturulan çok katlı takviye malzemeleri de dikilerek, iğnelenerek veya üç boyutlu preformlar halinde, özellikle reçine enjeksiyonu gibi kapalı kalıplama metotlarında kullanılmaktadır.

Malvar'a (1998) göre, cam lifler betonla direkt temas ederlerse asit etkisiyle kolayca korozyona uğrar ve bozulurlar. Genellikle matrisin, lifler için ihtiyaç duyulan kimyasal korumayı sağlaması beklenir. Ama, bu her zaman mümkün olmayabilir.

Sünme kırılması ya da statik kırılma, gerilme altında camın çekme dayanımındaki kademeli azalmadan oluşur. Bu problem asitler, alkaliler ve suyun bulunmasıyla önemli derecede hızlanır ve liflerin aniden kırılmasıyla son bulabilir. Cam lifleri; alkali bir çevrede neme maruz kalmaları durumunda, zaman aşımına uğradıklarında, lifli betonun çekme ve eğilme dayanımını lifsiz halinden daha fazla azaltmaktadır.

Halm'e (1992) göre, epoksi cam lifleri yapay cam lif teknolojisinde önemli yer tutan ve bu alanda mükemmel fiyat-performans özelliği ilişkisine sahip hemen hemen rakipsiz bir lif türüdür. Bu lif, çok yüksek bir eğilme (çekme) dayanımı, yüksek eğilebilirlik özelliği gösterir ve yanmaz. Ancak lif, betondaki yüksek bazik özellik nedeniyle kısa sürede mukavemetini yitirdiğinden, bunu beton katkısı olarak sınırlı bir şekilde kullanmak mümkündür. Epoksi cam liflerinin çok sınırlı olan kullanım olanakları arasında, betonun ham haldeki mukavemetinin artırılması ve nakil esnasında muhtemel geçici cam lif katkılarının yapılması sayılabilir.

Çimento ile bağlanan malzemelerin uzun süreli cam lifi takviyesinde, liften matris içerisinde fiziksel ve kimyasal özellikler açısından, belli değişik şeyler istenir. Özellikle çimento ana kütle (matris) içerisinde liflerin bazik ortama dayanıklı olmaları gerekir. Bu durum ancak bazlara dayanıklı cam liflerin, yani yüksek zirkonyum içerikli cam liflerin kullanımı ve özel bir düzeltici katla kaplanmış liflerle sağlanabilir. Böyle lifler genellikle bazik ortama dayanıklı AR-lifleri olarak adlandırılır (AR = Alkali Resistant).

Tablo 2.3'de bazik ortam dayanımına sahip AR liflerinin önemli özellikleri verilmiştir. Hem epoksi cam lifleri ve hem de bazik ortam dayanımı gösteren cam lifleri tekstil cam lifleri olarak tanımlanırlar. Bu lifler sünek kıvamlı halde, platin örümcek ağı lülelerden geçirilerek tam ölçülerde, eşit çaplarda çekilerek üretilirler.

Tablo 2.3 Cem-Fil bazik ortam dayanımlı liflerin özellikleri (Halm, 1992).

Yoğunluk (g/cm ³)	Çap (µm)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)
2.70	10-20	1500-2500	70000-80000	2.5

Bu üretim tekniği, her lif taneciğinin ortalama 10-20 mm arasında bulunmasını ve sağlık açısından tehlikeli olan 3 µm sınırının çok üzerine çıkmasını sağlar. Söz konusu üretim tarzı, yalıtım amaçlı cam yününün üretimiyle büyük farklılıklara sahiptir. Cam

yönleri üretim koşullarına bağlı olarak değişik lif çaplarında  retilabilmektedir. Hatta bazen lif çapları, sağlık açısından tehdit sınırı olu tur an 3  m değerinin altında kalabilir. Birçok bilimsel araştırmalar, cam liflerin lif tanelerinin uzunlamasına ayrılma  zelliiinin ve bunun sonucu olarak da asbest liflerde görülen çap azalma tehlikesinin bu liflerde bulunmadığını göstermiştir. Bu  zellik cam lifli betonların hızlı dönen taşlarla, örneğin kesme ve ayırma amaçlı taşlarla, işlenmesini mümkün kılmaktadır.

Cam liflerin betonun piyasada iki farklı arz edilen türüne değinilebilir. Bunlardan biri uzun, sonsuz püskürük  r n Rovings ve diğeri de kısa kesilmiş cam lifleridir.

Piyasada satılan kısa boylu liflerin uzunlukları üretim ve işleme tekniklerine göre 6, 12 ve 24 mm'dir. Kesme  niteleri yardımı ile kısa boylu cam lifler uzun Rovings liflerinden kesilerek ilke olarak, en çok 50 mm boyda üretilirler.

Sade mineral içerikli matrisin aksine, plastik katkısı ile deği tirilmi  matrise sahip cam lifli betonların malzeme masrafları daha yüksek olur. Bu nedenle, malzeme artık A₁ (yanmaz) inşaat malzemesi olarak görülemez.

Hacim yüzdesi cinsinden ifade edilecek olursa, matrisin yaklaşık % 95-96'sı betondan ve % 4-5'i de lif katkısından oluşur. Halbuki karşılaştırma fiyat açısından yapılacak olsa, masrafların % 90'ını lifler olu urmaktadır. Bu yüzden, liflerin daha iyi ve uyumlu oranda kullanımını sağlayacak her türlü önlem, katkının ekonomikliği açısından büyük değer taşımaktadır.

 nce agrega elemanlarının tane iriliği 4 mm'den daha fazla olmamalı ve mümkün olduğu kadar, optimum değer olan 1-2 mm arasında bulunmalıdır.  nce agrega miktarı olanaklar elverdiği sürece fazla tutulmalıdır. Böylece ince taneli betonun özellikleri ve özellikle çekme özeliği olumlu yönde etkilenebilir. Çimento/ince agrega oranının 1/1'den 1/2'ye kadar değişen ağırlık oranları, uygulamalar açısından en uygun oran olarak saptanmıştır.

Taze ve sertleşmiş betonların belirli özelliklerinin iyileştirilmesinde ek katkı maddelerin kullanılması iyi sonuç vermektedir. Bu katkılardan bazıları sıvılaştırıcı etkili maddeler ve hava gözenekleri oluşturuucu maddelerdir. Bunlardan hava gözenekleri oluşturan katkı maddeleri, donma direncini artıran ve daha iyi işlenebilirlik özellikleri kazandıran katkı maddeleridir.

Çok iyi sızdırmazlığın sağlandığı sertleştirilmiş betonun özellikleri açısından, su/çimento oranı en önemli etkileyici büyüklüktür. Su/çimento oranının 0.4 ile 0.5 arasında bulunması oluşturulan bağ açısından son derece önemlidir.

Önceleri lifli betonun matrisi, hemen hemen sadece Portland çimentosu bağlayıcı olarak kullanılmak suretiyle üretiliyordu. Böyle bir taneli betonda yüksek oranda kalsiyum hidroksit bulunur. Bu da betonu aşırı derecede bazik yapar. Aşırı bazik olan betonlarda, bazik ortamlara dayanıklı cam lifler de kullanılsa, zamanla ve sürekli nemli ortamlarda bu betonlar mukavemetlerini yitirirler. Örneğin böyle betonlarda eğilme dayanımı yaklaşık 25 N/mm^2 'den 15 N/mm^2 dolaylarına kadar ve kopma (ayrılma) uzaması değeri de % 6-10'dan %17'ye kadar düşme gösterir. Bu gevrekleşme mekanizması dikkate alınarak 1990'lı yılların başında ince taneli betonun bazik olan bileşimini etkileyip azaltacak değişik tür ve yapıda matris seçenekleri geliştirilmiştir.

Zamanla mukavemetini ve sünekliğini yitiren cam lifli betonlara "1. kuşak" cam lifli betonlar ve alkali ortam etkisi azaltılan lifli betonlara da "2. kuşak" cam lifli betonlar denmektedir. İkinci kuşak cam lifli betonların bileşiminde; örneğin sünger taşı tütü (tras), uçucu kül veya öğütölmüş yüksek fırın cürufu gibi saklı hidrolik özellikli katkı maddeleri veya puzolan katkı maddeleri bulunduran çimento karışımları kullanılır. Yine mikrosilika veya metaksoilin katkılarıyla da cam lifli betonların uzun zaman dayanıklı olmaları ve bu betonlarda belirgin derecede özelliklerin iyileştirilmesi sağlanabilir.

Tablo 2.4'te 1. ve 2. kuşak cam lifli betonlarla ilgili karakteristik büyüklükler karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.4 Birinci ve ikinci kuşak cam lifli betonun uzun süreli davranışları (Halm, 1992).

Özellik	28 Gün Sonrası	Yaşlanma Durumu	
		1. Kuşak	2. Kuşak
Eğilme Dayanımı (MPa)	25	15	23
Çekme Dayanımı (MPa)	12	7	10
Basınç Dayanımı (MPa)	50	50	50
Kopma uzaması (%)	0.8	1	0.5-0.8

Sertleşmiş ince taneli betonun teknik özelliklerini; başlangıç maddelerinin seçimi, karıştırıcı düzeni ve sertleştirme koşulları ayarlanarak belli sınırlar içerisinde ayarlama olanağı vardır. İnce taneli beton için de ilke itibarı ile, betondan tanınan kurallar geçerlidir. En önemli ayrıcalık, buradaki çimento içeriğinin yüksekliğindedir. Çimento içeriği 600-1200 kg/m³ arasında bulunur. Halbuki, konstrüksiyon betonlardaki çimento içeriği sadece 300-400 kg/m³ düzeyindedir.

Yüksek çimento içeriği, cam liflerin bağlanması ve çimento tarafından tam olarak kaplanması (çevrenmesi) için çimentonun birleştirici etkisinin yüksek olması ihtiyacından kaynaklanır.

Düşük olan çimento birleştirici madde oranları, yetersiz derecede bir lif kullanımına ve yapı elemanına etkiyen kuvvetlerin liflere yeterince aktarılmasına neden olur. Nemli bir zeminde kullanılan cam lif takviye elemanı, sertleştirilmiş durumda hemen hemen hiç mukavemet artışı getirmez.

Tablo 2.5 1 m³ cam lifli betonda üretim masrafları (Halm, 1992).

Malzeme	Üretim Masrafları (%)
800 kg Çimento	7
800 kg Agregat	3
120 kg Cam lifi (~% 4.5 Cem-Fil)	90
Toplam	100

Cam lifli betonun üretim yöntemlerinin seçimi; kullanılan cam lifinin tip ve cinsine, istenen ürün miktarına ve ürünün kalitesine göre bazı taleplere bağlıdır. Tablo 2.5'te ise beklenen malzeme maliyeti değerine yer verilmiştir.

Kısa boylu liflerin karıştırılması ve katılması oldukça yaygındır. Kısa boylu lifler, lif dağılımı açısından homojen bir oluşuma sahiptir. Cam liflerin katılması esnasında, karıştırma sırasında lif özellikleri olumsuz yönde etkilendiklerinden lif dökme ve yerleştirme işleminin titizlikle yapılması gerekir. Liflerin katılmasında, lif miktarı için üst limit değeri % 2-3 olarak alınmalıdır. Lifi taze betona katılması ile, matrisin işlenebilirliği az çok değişime gösterir. Lifler ana kütlede ağ gibi bezendiğinden karışım daha kıvamlıdır. Halbuki liflerin homojen dağılması açısından yumuşak ve az kıvamlı karışımlar gerekir.

Karışım betonları, küçük ve orta büyüklükte, az çok aşırı profilli yapı elemanlarında kullanılır. Bu betonları dökülebilir tarzda, dar kabuklu olarak da hazırlamak mümkündür. Kısa liflerin boyları genellikle 12 mm alınır ve bu boylar 24 mm'yi geçmez.

Oldukça yaygın olarak cam lifi betonların üretiminde kullanılan diğer bir yöntem de cam lif takviyeli plastiklerden esinlenerek geliştirilen cam lifli püskürtme betonlardır.

Lifli püskürtme beton yönteminde, hem % 5'e kadar ulaşan hacim oranlarında katkı yapılabilen ve hem de 50 mm'ye kadar olan lifler kullanılabilir. Bu nedenle ulaşılabilir mukavemet değerleri lifli püskürtme beton yönteminde, cam lifli karışım betonlarına oranla daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşır. Bu püskürtme yönteminde önce bir karıştırıcıda ince taneli beton matris olarak hazırlanır, daha sonra bir hortum üzerinden lüleyle gönderilir ve nihayet basınçlı hava ile püskürtülür.

Püskürtme sırasında, cam lif kesme düzeninde kesilen bazik ortama dayanıklı kısa Rovings lifleri matrise üflenir. Kısa lifler ve matris düzenli tabakalar halinde, kaplanacak zemine veya kabuk yüzeyine aktarılır.

Silindirler arasında geçirilerek, sarsarak veya preslenerek cam lifli betona sıkı yapı kazandırılıp, matrisle kısa lifler arasındaki bağ kuvvetlendirilebilir.

2.1.3. Polipropilen Lifler

Wörner'e (1992) göre, tanınmış çelik ve cam liflerin yanı sıra, gittikçe artan oranlarda organik lifler de belirli özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla betonda kullanılmaktadır. Sentetik organik lifler denildiğinde akla; polipropilen, poliakrilnitril, polivinilalkol ve aramid türü plastikler gelmektedir. Sentetik lifler mukavemet açısından yüksek değerlere ulaşmayı sağlarken, eğilme (sehim) değeri karşılaştırılan diğer liflerin katıldığı malzemelerden daha az olmaktadır. Bu malzemeler, tipine göre % 0.1 ile 0.2 arasında değişen hacim oranlarında betona katılabilmektedir.

Türker'e (2000) göre; polipropilen fiber elyaf, beton güçlendirme konusunda günümüzdeki en yeni metottur. Polipropilen lifler esas olarak, çelik hasır ve benzeri güçlendiricilerin yerine kullanılmak üzere dizayn edilebilmektedir. Polipropilen lif takviye elemanlarının en önemli formasyonu plastik gerilme çatlaklarını ve buna bağlı hasarları yok etmektir. Betonun çarpma mukavemetini % 50'ye yakın oranlarda artırırken, basınç mukavemetini % 10'a ulaşan oranlarda yükseltmektedir. Yüksek trafik altındaki alanlar, hava meydanları, köprüler ve tünel inşaatları başta olmak üzere; polipropilen liflerin her türlü betonarme yapıda kullanılması önerilmektedir.

Polipropilen lifler, halen kullanımda olan geleneksel hazır beton güçlendiricilerine göre en güçlü alternatiflerden biri olmuştur. Öyle ki, sahip olduğu karakteristikleri ile başta maliyetlere getirdiği düşme olmak üzere kullanım rahatlığı, hızlı imalat imkanı yaratması, çok uzun ömürlü oluşu ve diğer pozitif değerleri, çelik hasıra göre çok ciddi bir alternatif olmasını sağlamıştır.

Endüstriyel tesisleri, havaalanlarını, konutları ve yüzme havuzlarını da içine alan uygulama yerlerinde; çarpma ve aşınma mukavemetini artırırken, betonun geçirimsizliğini de artırmaktadır. Lifler korozyondan etkilenmemektedir, ayrıca tuz ve alkalilere dayanıklıdır. İç güçleri yok ederek mikro çatlakları engellemekte ve buna bağlı olarak plastik gerilimi düşürmektedir. Böylece çelik hasırda % 65'e kadar azalan plastik gerilme çatlakları, polipropilen lif kullanıldığında % 72'ye kadar azalabilmektedir.

Wörner'e (1992) göre; lif katkısıyla ve özellikle yüksek lif katkılarında taze betonun kıvamı azalır. Betonun yayılma değeri, lif miktarı arttıkça düşer. Yeni beton lif katkısı etkisi ile karışım, daha uygun ve iyileşmiş bir ham durum mukavemetine sahip olacağından daha erken kalıplanabilir.

Katılaşmış betonda özellik değişimleri büyük oranda kullanılan lif içeriğine bağlı kalır. Az oranda betona yapılacak olan katkılarda, lifler; sadece çekme eğilimi gösterirken, oldukça yüksek (% 1 hacim oranının üzerindeki) lif içeriklerinde öncelikle süneklik özelliğini etkilerken, mekanik özelliklerin de iyileşmesini sağlar.

Çatlamış beton kesitinde su geçirgenliği araştırılmış ve ilk deney grubunda, lifli betonun değişik sıvı ortam geçirgenliği (fuel-oil, metanol vs.) belirlenmiştir. Lif türüne göre aynı çatlak genişliğinde sızan akışkan miktarı % 90 oranlarına kadar azalma göstermektedir. Aynı çatlak genişliğinde lifli betonda görülen sızma değeri, lifsiz sade betona oranla dikkate değer ölçülerde azalmaktadır. Çelik lifli betonlar, PVA (polivinil alkol) ve akril lif takviyeli betonlara göre daha iyi performans göstermektedir.

Wang ve diğerleri (2000), halı artıklarından elde edilen polipropilen liflerin betonun eğilme ve basınç davranışı üzerine etkisini incelemiştir. Lif boyları; liflerin % 40'ı 5 mm'den küçük olmak üzere, 0 ile 25 mm arasında değişmektedir. % 0.15, 1.0, 1.3, 2.6 ve 3.9 olmak üzere beş farklı lif yüzdesi kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.6-0.63 arasında değişen betonlar hazırlanmıştır.

Araştırma, liflerin ince agregalı betonlarla kullanımının daha etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. % 2.6 hacimsel lif içeriğinde eğilme mukavemetinde önemli gelişme olduğu görülmüştür. % 1.3'ün altında eğilme mukavemetinin pek artmadığı ve % 2.6 lif içeriğinde performansın biraz düştüğü gözlenmiştir. Betonun basınç-deformasyon eğrisi davranışı polipropilen liflerle artırılmamıştır.

2.1.4. Diğer Lif Katkıları

Halm'e (1992) göre, önceleri asbest liflerin kullanımı yaygındı. Çünkü bu lifler yüksek bir çekme mukavemetlerinin yanı sıra, yanmama özelliği ve iyi bir bazik ortam dayanıklılığı göstermekteydi. Bu lifler geometrileri ve özellikle çaplarının 3 µm'den küçük olması nedeniyle, kolaylıkla akciğerlere girebilmekte ve akciğerleri tahrip edip kansere yol açmaktadır. Bu nedenle artık günümüzde asbest liflerin kullanılmasına izin verilmemektedir.

Plastik esashı lifler; asbestli liflere göre genellikle daha düşük mukavemetli ve daha düşük elastisite modülü gösterirken, yanma özelliğine sahiptir. Bazik ortam dayanaklıkları genelde iyidir.

Karbon lifleri yüksek mukavemetli ve gergin, bazlara dayanıklı ve oldukça ısı etkilerine dayanıklıdır. Bu liflerin fiyatlarının yüksek oluşu, yapı tekniğinde kullanım şanslarını ortadan kaldırmıştır.

Karbon lifleri son yıllarda yapay reçine içerisinde yastıklaarak köprü inşaatlarında kullanılmıştır. Köprü inşaatında bu liflerin kullanılması ile, çelik gerdirme elemanlarının bir kısmının yerine karbon lifler kullanılarak, ağırlığın azalması sağlanmıştır

Esen'e (1996) göre; boşluk oranı, kontrol numunesi % 4 kesik poliakrilnitril lif katılmış numunelerle karşılaştırıldığında % 30.89'dan % 33.26 gibi bir değere çıkmıştır. % 4 uzun lif katılmış numunelerde ise, % 38.36 gibi çok daha yüksek bir değere ulaşmıştır.

Kontrol numunesinde su/çimento oranı 0.34 olarak alınmış ve 28 günlük basınç dayanımı 32.6 MPa olarak bulunmuştur. Daha sonra dökülen poliakrilnitril lifli betonlarda sadece su/çimento oranı 0.36'ya çıkartılmış ve çimento hacminin % 1'i kadar lif katılan numunede basınç dayanımı 36.3 MPa'a çıkmıştır. Poliakrilnitril lifli beton numunelerin kontrol numunesine göre, elastisite modülünün daha düşük olduğu görülmüştür. Lifli betonların sünekliği, lif takviyesine bağlı olarak iyileşmekte ve beton gevrek yapıdan kurtulmaktadır. Çekme dayanımı kontrol numunesine göre, % 100'den fazla artış yapabilmektedir.

Lifli betonun amaçlarından biri de, betonda oluşan ve betonun doğal özelliği olarak kabul edilen rötre çatlakları ile termik çatlakları önlemektir. Poliakrilnitril lifler, betonun ilk zamanlardaki plastik rötre çatlaklarını % 90 azaltmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı dayanıklılığı arttırmak, ana donatıyı korozyona karşı korumak, plastik rötre ve termal çatlakları önlemek amacıyla kullanılır. Kısa poliakrilnitril lifli betonlarda donma-çözülme dayanıklılığı normal betona göre büyük düşüş gösterirken, uzun poliakrilnitril lifli betonlarda artmıştır.

Lif katılmamış beton numunelerinin 2. veya 3. ardışık darbe sonunda parçalandığı görülmüştür. Fakat lif katılmış betonlarda; lif içeriğine bağlı olarak, darbelere karşı çok büyük iyileşme olmaktadır. En az lif içeriğinde bile çarpma dayanımı 40 katına çıkabilmektedir. Poliakrilnitril lifli betonlar çarpma dayanımlarının yüksek oluşundan dolayı; yükleme-boşaltma yapılan liman yapılarında, kazık başlıklarında, hava meydanlarında, yol kenarındaki refüjlerde ve daha birçok çarpma etkisine maruz kalan yerlerde kullanılabilir.

Amat ve diğerleri; akrilik lifler üzerine yaptıkları araştırmada su/çimento oranını 0.35 civarında tutup, % 1.5 lif takviyesi ile eğilme mukavemetinin normal betona göre % 50 arttığını gözlemişlerdir (Esen, 1996).

Hannant'a (1978) göre; karbon lifler (u) şeklindeki kancalar halinde, ya da devam eden çekme elemanları olarak kullanılırlar. Yüksek tokluk kalitesi, çekme dayanımı ve

çimento pastasının alkali durumlardaki rölatif süre durumu pek çok işçi için yerleştirmede daha cesaret vericidir. Çimento pastasının alkali durumlardaki rölatif süre durumu pek çok işçi için yerleştirmede diğer liflerle yapılmış betonlara göre tercih nedenidir.

Nakagawa ve diğerleri (1989); çalışmalarında karbon, aramid ve yüksek dayanımlı vinil liflerle güçlendirilmiş beton özelliklerini incelemişlerdir. Bu araştırmacılar kısa liflerin dayanımı ve etkili takviyesinin, lif hacmine ve lif malzemesine bağlı olduğunu ispatlamışlardır.

Linton ve diğerleri; karbon lifle takviye edilmiş çimento ve harç konulu araştırmasında, % 1.65, 2, 3 lif içeriğine karşılık, su/çimento oranını 0.37 ve 0.21'de tutup, eğilme mukavemetinde % 165 ve % 90'lık bir artma sağlamıştır (Yıldız, 1998).

Park ve diğerleri yaptıkları karbon lifle takviye edilmiş çimento bileşiklerinin imalatı konulu araştırmada; % 1, 2, 3 lif içeriğine karşılık, su/çimento oranını 0.30'da tutup, çekme mukavemeti değerinde % 120, 170 ve 200'lük bir artış gözlemişlerdir (Yıldız, 1998).

Thomas ve Kline'a (1996) göre; betonun alışılmış dayanım metotlarına bir alternatif son zamanlarda Amerika'da beton onarımında (karbon lif takviyesi) ortaya çıkmıştır. Düşük ağırlık ve boylarına rağmen, karbon lifler çok yüksek çekme dayanımına sahiptirler. Bu teknoloji ile birçok yapısal problem çözülebilir, ama kalitesiz bir beton için kesin çözüm değildir.

Norris, Saadatmanesh ve Ehsani'ye (1997) göre; ince karbon lif takviyeli plastik tabaka ile desteklenen zarar görmüş veya düşük dayanımlı betonun davranışının analitik ve deneysel araştırılmasının sonuçları sunulmuştur. Karbon lif takviyeli plastik tabakalar, kesme ve eğilme dayanımlarını yükseltmek için beton kirişin çekme yüzü veya örgüsüne epoksi ile bağlanmaktadır. Karbon lif takviyeli plastik tabakaların etkisi ve kirişin rijitliği, kirişin eksenine uygun liflerin çeşitli yönlendirmeleri için düşünülmüştür. Üretilen on dokuz kiriş, üç farklı karbon lif takviyeli plastik ile

desteklenmiş, beton kırılma dayanımı üstten yüklenerek ölçülmüştür. Kirişler başarısızlık olasılığından dolayı sırayla yüklenmiştir. Maksimum dayanımdaki farklı başarısızlık durumları ve artış, liflerin yönüne bağlı olarak incelenmiştir.

Soroushian ve diğerleri (1991), silis dumanı içeren karbon lif katkılı betonun performans karakteristikleri üzerine kauçuk değişiminin etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada stiren bütadiyen kauçuk katkısı ele alınmış ve kauçuk değişimi ile çimento matrisi-karbon lif bağının artışı incelenmiştir. Normal bir beton ile kıyaslandığında kuruma hareketi ve su absorpsiyonu düşmüş, eğilme tokluğu yükselmiştir. Karbon lifli harcın arzulanan eğilme ve çarpma dayanımı, kauçuk değişiminden etkilenmemiştir. Kauçuğun varlığı, malzeme bileşiminin basınç dayanımında bir miktar azalmalara yol açmıştır. Karbon lifli harcın kauçuk içeriği, daha fazla donma dayanımı ve önemli derecede asit dayanımını sağlamıştır.

Ohama ve diğerleri, karbon lif ve silis dumanı ile takviye edilmiş çimentonun özellikleri konusunda yaptıkları araştırmada su/çimento oranını 0.30'da tutmuşlardır. Bunun yanında silis dumanı/çimento oranını da 0.40'ta tutup % 1, 3, 5 oranlarında lif katarak çekme gerilmesinde % 270, eğilme mukavemetinde % 340'lara varan bir mukavemet artışı gözlemişlerdir (Yıldız, 1998).

Hannant'a (1978) göre; Hindistan cevizi lifleri ve diğer sebze lifleri düşük elastisite modülüne sahiptirler. Ayrıca, doğal hava durumlarında daha uygundur. Diğer sebze lifleri gibi nem değişmelerine duyarlıdırlar.

2.2. Lifli Betonların Genel Özellikleri

Lifli betonların özellikleri genel olarak incelendiğinde lifler farklı dahi olsa, ufak tefek farklılıklar dışında genel olarak betonda benzer etkiler meydana getirmektedir. Taze ve sertleşmiş beton için bu etkiler farklı kaynaklardan farklı örnekler verilerek incelenmiştir.

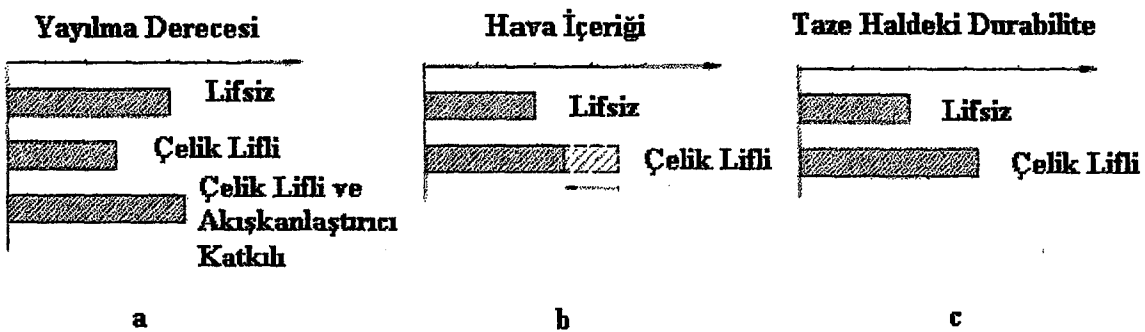
2.2.1. Lifli Betonlarda Taze Beton Özellikleri

Taze beton karışımının işlenebilirliği, onun taşınma, karıştırılma ve en önemlisi minimum hava içeriği, minimum homojenlik kaybıyla yerleştirilme ve sıkıştırılmasının bir ölçüsüdür. Bu karakteristiklerin birini ya da daha fazlasını değerlendirmek için birçok test yöntemleri mevcuttur (ACI 544.2R, 1989).

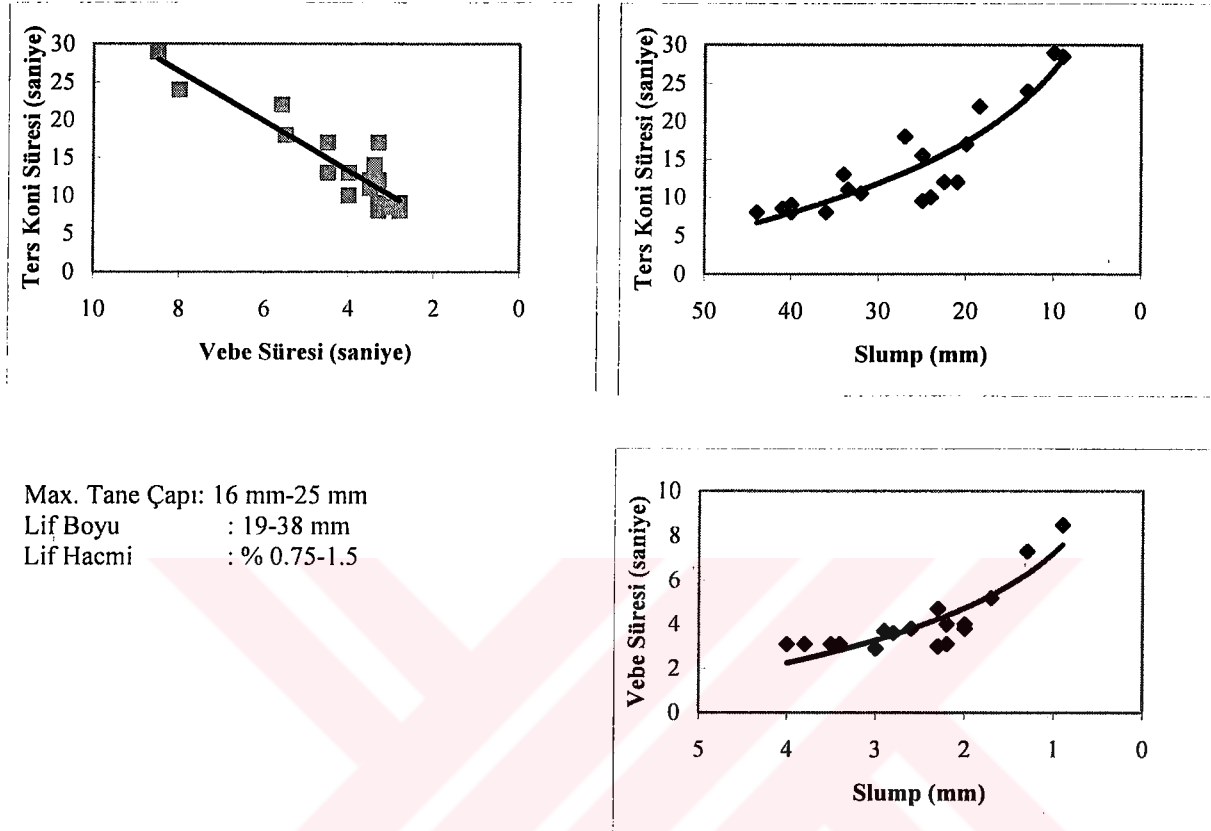
Lifli hafif betonlar üzerine yapılmış olan çalışmalarda; lif kullanım oranının artmasının çökme kaybına, Vebe işlenebilme değerinin, su emme değerinin ve aynı zamanda hava miktarının da artmasına sebep olduğu görülmüştür (Yıldırım, 1994; Sancak ve Ünal 1999).

Schnütgen'e (1992) göre; çelik lifli betonun taze beton özelliklerinden bahsedildiğinde, herkesin aklına öncelikle betonun işlenebilirliği gelir. Beton işlenebilirliği genellikle onun yayılma derecesi ile tanımlanır. Düşük ve orta lif miktarına bağlı olarak azalır. Akışkanlık yaratan madde katkıları ile, daha düşük su/katkı değerlerinde daha iyi bir işlenebilirlik derecesine ulaşılabilir (Şekil 2.5.a).

60 kg/m³'ü aşan yüksek lif içeriklerinde özellikle aşırı şekillendirilen liflerde, yerleşme derecesi işlenebilirliğin değerlendirilmesi açısından daha uygundur. İşlemlerde daima beton işleri için uygun gereçlerle karışımın uygunluğunun gözden geçirilmesi uygun olacaktır.



Şekil 2.5 Çelik Lif Katkısının Taze Beton Özelliklerine Etkisi (Schnütgen, 1992).



Şekil 2.6 Çelik lif katkılı betonda kıvam deneyi ölçümlerinin birbirleri ile ilişkileri (Uğurlu, 1994).

Çelik lifli betonun hava içeriği; lif miktarı ve lif geometrisine bağlı olarak, aynı şekilde hazırlanmış lifsiz bir betona oranla daha fazladır. Hava içeriğine, hava gözenekleri oluşturan katkıları neden olur. Artırılmış sıkıştırılma derecesinde bile ilke olarak hava içeriği (az orandaki lif katkıları dışında) lifli betonlarda, lifsiz betonların değerlerine düşürülemez (Şekil 2.5.b).

Özellikle boru vb. mamullerin üretimlerinde çelik lifli betonların en önemli özelliği ham durum dayanımıdır. Boruların kalıptan alınması ve nakliye durumları bu nedenle kolaylaşır ve süresi kısalmır (Şekil 2.5.c).

Uğurlu (1994) tarafından, işlenebilirlik üzerine yapılan çalışmalarda; laboratuvar şartlarında Vebe, şantiyede ters koni yöntemi kullanılarak, çelik lifli betonların test edilmesinde; Slump deneyine göre daha doğru sonuç verdiği gözlenmiştir. Ters koni, Vebe ve Slump yöntemlerinin birbirleri ile ilişkileri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

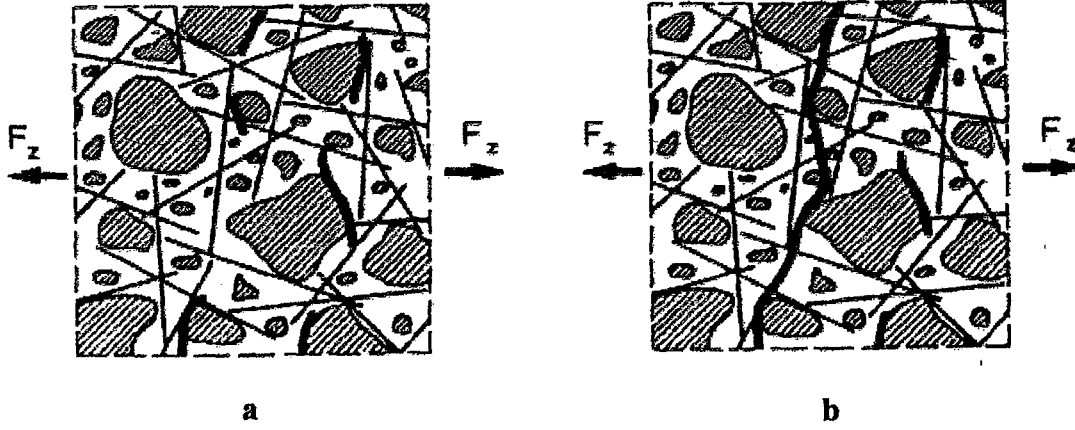
2.2.2. Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Schnütgen'e (1992) göre, çelik lifli betonun katı beton özelliklerinden söz edilirken; lifin çatlak oluşumuna, çatlak ilerlemesine ve çatlayan betona olan etkisinin birbirinden ayrı dikkate alınması gerekmektedir.

Çelik lifler öncelikle betonda iç yırtılmaları engellerler. Çatlak, çatlak kökü çelik life ulaşınca kadar büyür (Şekil 2.7.a). Lif çatlağı kararlı duruma getirir, diğer çatlaklar ilerlemeye devam eder. Eşit uzamada çok küçük çatlaklar oluşur. Buradan lif etkisiyle;

- Çekme, yırtılma meylinde azalma olur.
- Gazların ve sıvıların taşınımı (yer değiştirmesi) güçleşir, buna bağlı olarak hem kuruma olayı ve hem de rötire daha yavaş gerçekleşir.
- Betonun çekme dayanımı dengeli hale gelir.

Liflerle beton arasında hiçbir izafi hareket gerçekleşmediğinden, çelik liflerin lif boyu yönünde geometrik değişimleri (örneğin dalgalanmalar, kıvrılmalar vb.) çatlak oluşumuna çok az bir tesir eder. Lif yüzeyinin büyük olması; yani lif sayısının fazlalığı, çatlak oluşumu üzerine özellikle etkili olur. Boyca kısa olan lifler çok olumlu etkiler yapar.



Şekil 2.7 Betonda çelik liflerin etkisi (Schnütgen, 1992).

Uzunlamasına çatlakların oluşmasından sonra, çelik lifler yırtık kenarlarından kuvvetin taşınmasını sağlarlar (Şekil 2.7.b). Liflerle çimento matrisi arasında karşılıklı izafi hareket ortaya çıkar. Çelik liflerin uzunlamasına şekil değiştirmesi ve liflerin yeterli miktarda kendi sehimini (hafifçe eğilmesi) sonucu oluşan saptırıcı kuvvetler, taşınan kuvvet üzerinde pozitif bir etki yaratır. Uç kısımların kıvrılması özellikle etkilidir. Yırtılma yüzeyi üzerindeki kuvvetlerin iletiminde; uzun, sert ve geometrik biçimlendirilmiş, ucu kıvrık ve yeterli uzama özelliği gösteren (sünek) liflerin kullanılmasına çalışılmamıştır.

Eğer çatlaklar oluşursa, sistemin taşıyabileceği çekme zorlanması değeri düşer. Yırtılmayan betonun çekme dayanımı değerine bir daha ulaşamaz. Bu nedenle sadece çelik liflerle, örneğin merkezi zorlamada, çatlak eni sınır değerine hiç ulaşamaz.

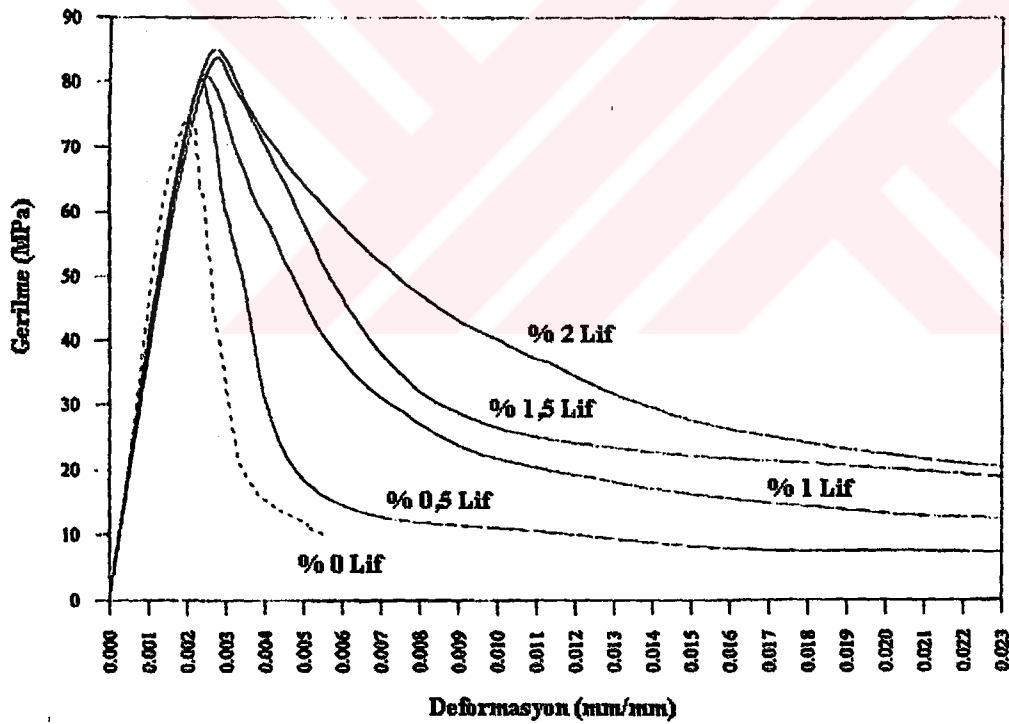
2.2.2.1. Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı üzerinde, çelik liflerin etkisinin değişken olduğu görülmüştür. Maksimum agrega boyutu 19 mm, lif narinliği 10 olan ve % 2 lif içeren betonlar 15x30 cm silindirlerle test edilmiştir.

Basınç altında çelik lifli beton için tipik gerilme-deformasyon eğrilerinde, çelik lifli harç için eğrilerde, maksimum (tepe) gerilmesinde, deformasyondaki önemli artış

dikkat çekicidir ve alçalan kısmın eğimi lifsiz kontrol numunelerinininkinden daha düşük olmaktadır. Ciddi şekilde daha yüksek uzayabilirlik gösterebilmektedir ki, bu deformasyon enerji absorpsiyonu kabiliyetinin bir ölçüsüdür ve yük-deformasyon eğrileri ya da gerilme-birim uzama (veya kısalma) eğrisi altındaki alandan hesaplanabilir. Verilen basınçta lifler tarafından geliştirilen uzayabilirlik, statik yükleme altında ani ve patlayıcı kırılmayı önlemede ve dinamik yükleme altında enerji absorpsiyonunda faydalıdır (ACI 544.4R, 1989).

Hughes ve Fattuhi'e (1977) göre; betonda lif malzemesi olarak kullanılan cam, plastik ve polipropilen gibi malzemelerin ilavesi, yeni yapılan lif takviyeli betonda bir mukavemet artışı sağlamamaktadır.



Şekil 2.8 Değişik lif hacimlerinin dayanım-deformasyon ilişkisine etkisi (Marar ve diğ., 2001).

Marar ve diğerleri (2001), çelik lif (ucu kıvrık) takviyeli standart silindirik (150x300 mm) numuneler kullanarak betonda 28 günlük basınç testleri yapmışlardır. Üç

farklı narinlikte (60, 75, 83) ve dört farklı çelik lif içeriği (beton hacminin % 0.5, 1, 1.5, 2) ile hazırlanan standart silindirler üzerinde yapılan deneylerde aşağıdaki gerilme-deformasyon eğrileri elde edilmiştir (Şekil 2.8).

Arslan ve Aydın'a (1999 a) göre; kirişlerde, kolonlarda ve kat döşemelerinde olduğu gibi diğer yapı elemanlarında da eğilme veya çekme kuvvetleri meydana gelir. Bu basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı ve zor kesit tesirlerine karşı yapı elemanı asal çelik donatı ile birlikte çelik lifler ile kuvvetlendirilerek dayanımı oldukça önemli mertebede artırılabilir.

Schnütgen'e (1992) göre, çelik lifli betonun basınç zorlanmasında değişen ince çekme davranışı nedeniyle çok az artan bir basınç mukavemeti oluşur. Ancak uygun süneklik değerine ulaşılır. Gerilme-şekil değiştirme diyagramının düşme gösteren tarafı daha fazla düzleşme gösterir. Elbette, bu özelliklerde sadece lif miktarına bağlı kalmaz, aynı zamanda malzeme özellikleri ve geometrisine de bağlılık gösterir.

Qian ve Stroeven (2000); genel mekanik özellikler üzerine temel olan düşük lif içeriği ile polipropilen lif (ince ve küçük yapılı) ve çelik lif karışımı takviyeli betonda lif boyutu, içeriği ve uçucu kül içeriğinin optimizasyonunu incelemişlerdir. Beton için ayrıca % 1 ve 2.5 oranlarında süperakışkanlaştırıcı da kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, betonun uçucu kül gibi küçük taneler içermesinin, liflerin düzenli dağılabilmesi için gerekli olduğunu göstermiştir. Liflerin katılması farklı mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemiştir. Küçük lif tiplerinin katılması basınç dayanımında önemli etki yapmış, ama çekme mukavemetini (silindir yarma) az etkilemiştir. İri liflerde narinlik ayarlanarak, tahkim edilen mekanik özelliklerde artış sağlanmıştır. Karışık lifli sistemde bir sinerji etkisi vardır.

Uçucu kül içeriği arttıkça, betonun ilk ve sonraki günlerdeki basınç ve silindir yarma dayanımı daha da artmıştır. Uçucu kül miktarı 100 kg/m^3 ve çimento içeriği 400 kg/m^3 olduğunda optimum polipropilen lif miktarının % 0.15 olduğu anlaşılmıştır. Polipropilen, lif beton ağırlığının hafifletilmesini sağlamıştır. Karışık lif içeriğine sahip

betonla, daha yüksek lif içeriğine sahip; ama tek tip çelik lif kullanılmış, beton ile hemen hemen aynı performansın sağlanması da mümkün olmuştur.

Vandenbossche ve Rettner (1999), yollar üzerine yapmış oldukları araştırmalarda polipropilen lifli beton kullanmışlardır. 1.8 kg/m^3 polipropilen lif içeriğine sahip su/çimento oranı 0.40 olan betonlar test edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 2.6).

Tablo 2.6 Polipropilen lifli beton numunelerin deney sonuçları (Vandenbossche ve Rettner, 1999).

Kür Süresi	Polipropilen Lifli Beton			
	Basınç Day. (MPa)	Elastisite Mod. (MPa)	Poisson Oranı	Eğilme Day. (MPa)
1 Gün	13.80	-	-	-
3 Gün	26.90	-	-	3.90
7 Gün	33.10	31.03	0.19	3.60
14 Gün	37.90	-	-	-
28 Gün	42.10	33.09	0.19	4.30

Arslan'a (1993) göre, cam ve polipropilen gibi liflerin elastisite modülü betonun elastisite modülünden daha küçük olabilmektedir. Fakat, çeliğin elastisite modülü betona nazaran çok daha fazladır ve bu nedenle çelik lifler betonun taşıma gücünü diğer liflere nazaran önemli ölçüde artırır.

2.2.2.2. Eğilme Dayanımı

Beton ve harcın eğilme dayanımı üzerine çelik liflerin etkisi, eksenel çekme ve basınca etkisinden daha büyüktür. İki eğilme dayanımı değeri genellikle rapor edilir. İlk kırılma (eğilme) dayanımı yükü olarak adlandırılan, lineerlikten ayrılmanın başladığı yük-deformasyon eğrisindeki yüke tekabül eder. Diğer genellikle kırılma modülü ya da maksimum eğilme dayanımı olarak isimlendirilen, ulaşılan maksimum yüke tekabül eder. Dayanımlar, matris kırıldıktan sonra formül ile tekabül eden yükten hesaplanmaktadır.

İlk kırılma ve maksimum eğilme dayanımı kaydedilirken meydana gelen karışıklığı vurgular ve benzer bir matriste farklı lif tipleri ve miktarları kullanıldığı zaman sonuçlanabilen eğilme yükü-sehim eğrilerini gösterir. Daha büyük lif miktarları için iki yük tamamen ayrıdır, ama daha küçük lif hacimleri için ilk kırılma yükü maksimum yük dahi olabilir. Son kırılma eğrisinin şekli dizaynda önemlidir ve buna eğilme tokluğunun hesabına göre karar verilmektedir. Eğilme tokluğu önemlidir ve bunun dayanım hesaplamaları üzerine düşüncelerde esas alınması açıkça belirtilmiştir.

İlk çatlak ve maksimum eğilme dayanımlarını belirlemek için kullanılan prosedürler, kalite kontrol için üçte bir nokta yükleme altında kirişlerde (100x100x350 mm) test etme üzerine esas alınmıştır. Diğer boyutlar ve şekiller daha yüksek ve düşük dayanımlar verir.

İki nokta yüklemesi altında ve hatta merkez yüklemesi yapıldığında, test edilen standart kirişlerdeki değerleri farklı testlerde elde edilen sonuçlarla ilişkilendirmek mümkün olmaktadır.

Bu standart 100x100x350 mm'lik kirişlerin performansı ile püskürtme beton astar ya da bir kaldırım kaplamadan elde edilen numune gibi bir malzemenin kalınlık ya da derinliği dizayn performansı ile ilişkilendirme girişiminde bulunulduğunda zorunludur. Lif uzunluğu ve lif takviyeli betonun dizayn kalınlığı ile genişlik ve derinlik boyutuna bağlı koşullar için, normal kısım kalınlığı ya da kütle beton uygulamaları için minimum genişlik ve derinlik boyutu, maksimum agrega boyutu ve lif uzunluğunun en az üç katı olmalıdır.

Maksimum eğilme dayanımı genellikle narinlik oranı ve betondaki lif hacmine bağlı olarak artar. Düşük narinlik oranına sahip liflerin (50'den az) hacmin % 0.5'inden az olması statik dayanım özellikleri üzerinde önemsiz etkiler yapar. Prizmatik lifler, çengelli lifler ya da ucu genişletilmiş (daha iyi ankrajlı) lifler, takviyesiz matrislerin eğilme dayanımının % 100'ü kadar dayanım artışı yapar. Son çatlama yük-deformasyon karakteristikleri, çoğunlukla lif tipi seçimine ve kullanılan spesifik lif tipinin hacim

yüzdesine bağlıdır. Belirli bir lif tipi miktarı kombinasyonunun maliyet etkisi, analiz ya da prototip testi ile değerlendirilebilir.

Yüksek eğilme dayanımları, harçlarda çok kolay elde edilir. Harç için (su/çimento = 0.45~0.55) tipik değerler, lif tipi ve narinlik oranına bağlı % 1.5 lif hacmi için 6.5~10 MPa civarındadır ve % 2.5 lif hacmi için 13 MPa'a yaklaşmaktadır.

Lif katkılı betonlar için, mevcut iri agrega oranı ve maksimum boyuttaki artışla dayanımlar düşer. Bu alanda elverişli düşünceler geleneksel ekipman yerleşimi ile birleşmiştir ve alıştırmalar genellikle üniform düz lifler için 100 civarında lif narinlik oranı ve hacim yüzdesiyle lif konsantrasyonunun üretimi genellikle sınırlıdır. 8 ila 19 mm agrega ile hacimsel olarak % 0.5 ila 1.5 lif içeren betonlar için 28 günlük maksimum eğilme dayanımları; genellikle su/çimento oranı, lif tipi ve narinlik oranına bağlı olarak 5.5~7.5 MPa civarındadır.

Kıvrılmış lifler, yüzeyi şekilli lifler ve sonu ankrajlı lifler, aynı hacim konsantrasyonundaki düzgün yüzeyli liflere göre yüksek dayanımlar sağlar ya da daha düşük lif konsantrasyonu ile benzer dayanım sağlanmasına izin verir. Süperakışkanlaştırıcı bir katkı kullanımı ile su/çimento oranı azaltılırsa, dayanımlar bu değerlerin üzerine çıkarılabilir (ACI 544.4R, 1989).

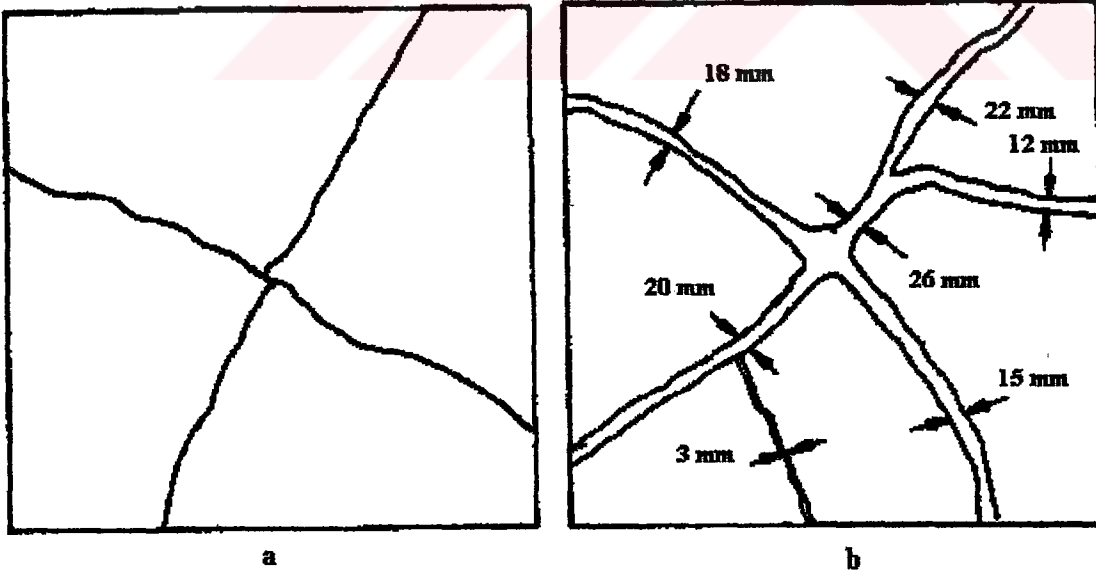
Taşdemir (2000), yapmış olduğu eğilme deneylerinde 500 x 500 mm boyutunda ve kalınlığı 150 mm olan kare biçimli plaklar kullanmış, bunları lifli ve lifsiz olarak denemiştir. Eğilmede kullanılan numuneler üzerinde kırılma şekli, çatlak, tokluk ve basınç dayanımı incelemeleri yapmıştır.

Çelik tel donatılı plaklarda ilk çatlak yükü genel olarak yüksektir. Ayrıca, göçme yükünün yalın plağinkinin yaklaşık 8 katı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu, çelik tellerle üretilen elemanlara durabilite yönüyle önemli bir yarar sağlar.

Çelik tel donatılı elemanlarda, elemanın her bölgesinde çekme gerilmeleri çelik teller yardımıyla karşılandığından taşıma ve montaj sırasında köşelerde ve birleşim yerlerinde çatlak oluşumu engellenir.

Çelik tel donatılı plakların kırılma türü sünek, çelik tel içermeyen plakların kırılması ise gevrek biçimdedir. Çelik donatılı plaklarda 15 mm'lik sehim durumunda numunede herhangi bir dağılma olmayıp, buna karşın tepe yüküne erişilir erişilmez yalın plaklarda belirgin ve derin çatlaklar oluşmakta ve daha az enerji yutarak dağılmaktadırlar.

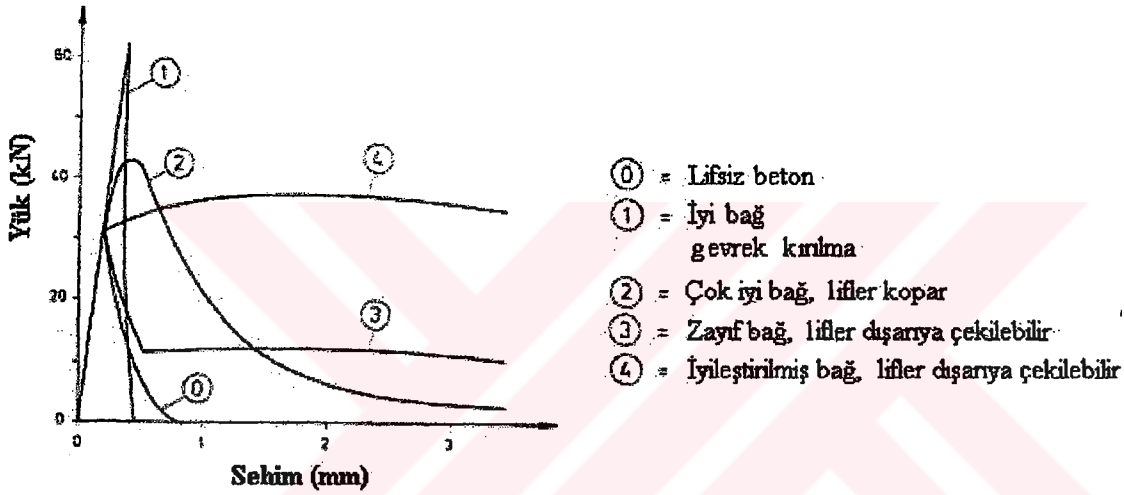
Şekil 2.9.a'da görüldüğü üzere: genel olarak çelik tel donatılı plaklarda çatlak, merkezden köşelere ve kenarlara doğru yayılmaktadır. 15 mm'lik sehim kadar numunelerde herhangi bir dağılma izlenmemektedir. Buna karşılık çelik tel donatı içermeyen yalın plaklarda gevrek kırılma görülmekte ve numuneler 15 mm'lik sehimden önce üç veya dört parçaya ayrılarak dağılma eğilimi sergilemektedir (Şekil 2.9.b).



Şekil 2.9 Çelik tel donatılı ve donatı içermeyen plaklarda oluşan çatlaklar (Taşdemir, 2000).

Schnütgen (1992), Şekil 2.10'da şematik olarak değişik lif tiplerinde yük-sehim ilişkisini vermiştir. Eğilme zorlaması yolu ile; eğer liflerle beton arasındaki bağ iyi sağlanırsa, mukavemet değerlerinde artış sağlanabilmektedir.

- Lifler 1 (İdeal bağ, çelik liflerle ulaşılamaz).
 Lifler 2 (Çok iyi bağ, çelik liflerle sınır değerlere ulaşabilme davranışı).
 Lifler 3 (Zayıf bağ, eğilme mukavemetinde etkili olmaz, yırtılma sonrası az oranda yük taşıyabilir).
 Lifler 4 (Lifin şekil değiştirme etkisiyle iyi bağ, ilk çatlak oluşumuna az etki, çatlak oluşumu sonra iyi yüklenebilirlik, çoklu yırtılma).



Şekil 2.10 Eğilme deneyinde farklı bağ davranışlarında lifli betonun yük-sehim ilişkisi (Schnütgen, 1992)

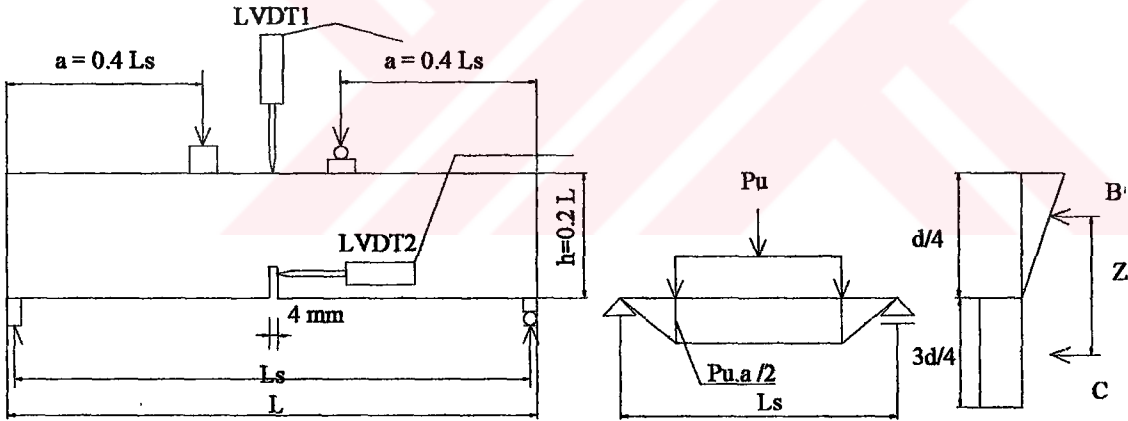
Şener ve diğerleri (1999), çelik lifli dört nokta yüklemesi altında açıklık ortası çentikli kirişlerde boyut etkisini incelemişlerdir. Kiriş yükseklikleri sırasıyla 40, 80 ve 160 mm, tümü için açıklık yükseklik oranları $S/h = 4.75$, uzunluk yükseklik oranları $L/h = 5$ 'tir. Çentik yüksekliği kiriş yüksekliğinin dörtte biri olarak ve çentik genişliği 4 mm olarak alınmıştır.

Araştırma sonunda lifli betonun eğilme gerilmeleri altındaki davranışının bilinen geleneksel teoriler ile açıklanamayacağı anlaşılmıştır. Gerilme bloğu yukarıdaki şekilde verildiği gibi olup, şu varsayımlar kullanılmıştır (Şekil 2.11).

- Çekmede gerilme ve uzama orantılı değildir.
- Lifli beton çekme ve basınçta farklı davrandığı için tarafsız eksen ağırlık merkezi değildir.
- Elastik davranış varsayımı ile bulunan eğilme çekmesi eksenel çekmenin üç katına yakındır.
- Gerçekte olmadığı halde elastik davranışı tasarımda kullanmak yeterlidir.

Uygulanan dış yük momenti $M_u = P_u \cdot a / 2 = B \cdot Z = C \cdot Z$, Kuvvet kolu $Z = 13d / 24$, çekme bölgesindeki gerilmelerin bileşkesi $C = 12 \cdot P_u \cdot a / 13 \cdot d$ 'dir.

Diğer beton yapıların gevrek davranarak göçmesinde olduğu gibi çelik lifli betonların göçmelerinde de boyut etkisi görülmüştür. Çelik lifler göçme gevrekliğini azaltmaktadır.



Şekil 2.11 Kiriş üzerinde yapılan eğilme deneyi, deney sonucu meydana gelen gerilme blokları ve kesme diyagramı (Şener ve diğ. 1999)

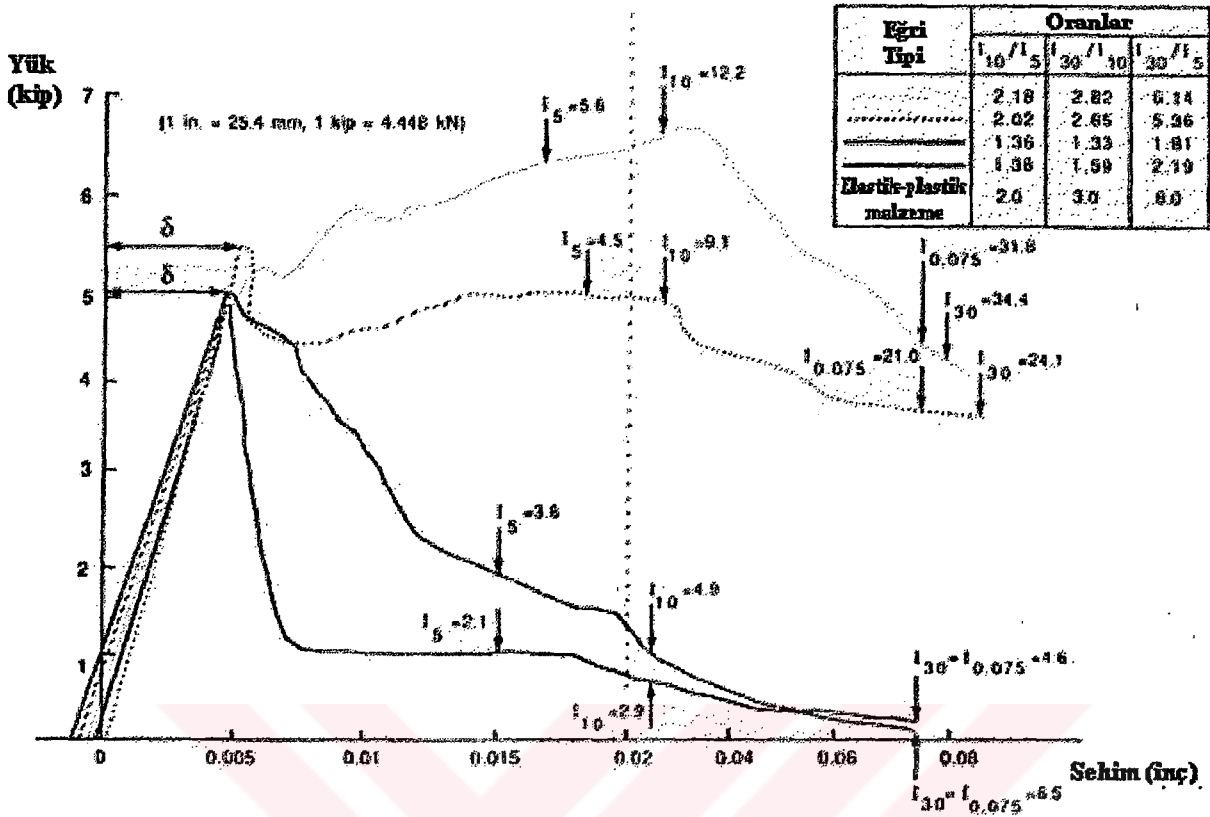
Yıldız (1998); cam lifler; betona sadece % 0.6 civarında katıldığında bile eğilme mukavemetinde % 67.78'lik bir artışın olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca, lif oranı arttıkça deformasyon kabiliyeti ve süneklik de artmaktadır. Bu da, daha fazla enerjinin absorbe edebilmesi anlamına geleceğinden, bunlardan depreme dayanıklı yapıların yapılması mümkün görülmektedir.

2.2.2.3. Tokluk (Enerji emme kapasitesi)

Tokluk, dinamik veya darbe yüklerine ya da statik deformasyonlara maruz kalma, kırılmalara karşı koyabilme gibi hususlarda malzemeyi karakterize etmekte kullanılır ve malzemenin enerji emme kapasitesinin bir ölçüsüdür. Lifli betonlar üzerinde yapılan direkt çekme testlerinin kontrolünün zorlukları onların tokluk kontrolünde kullanılmasını engeller. Buradan da, daha basit olan eğilme metodu, lifli betonların tokluk sınırlamaları için tavsiye edilir. Daha basit olmasının yanısıra, eğilme testleri lifli betonların çoğu pratik uygulamaları için yükleme durumlarını simüle eder (ACI 544.2R, 1989).

Tokluk, çelik lifli beton için önemli bir karakteristiktir. Statik yükleme altında, eğilme tokluğu numunenin ayrılmasını tamamlamadan önce absorbe edilen tüm enerji olan eğilmede yük deformasyon eğrisi altında kalan alan olarak tanımlanabilir. Eğilme tokluk indeksleri, ilk çatlağa kadar olan alana ya da lifsiz matris için elde edilen alana, belirlenmiş bir son noktaya kadar çelik lifli beton için yük-deformasyon eğrisi altındaki alanın oranı olarak hesaplanabilir. Şekil 2.12'de 100x100x350 mm'lik bir kiriş için test son noktası tanımlamak için 1.9 mm'lik sabit bir deformasyon kullanarak hesaplanan indeks değerlerinin bazı örnekleri gösterilmektedir.

Herhangi bir numunenin şekli ya da boyutu için hesaplanan I_5 , I_{10} ya da I_{30} indeks değerlerinin örnekleri de Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Bu indeksler, ilk çatlağa kadar olan eğri altındaki alan ile ilk çatlak deformasyonunun bir katı olan deformasyonla sınırlanmış yük deformasyon eğrisi altındaki ayrılmış alan tarafından elde edilir. I_5 , ilk çatlak deformasyonunun 3 katı bir deformasyonda, I_{10} 5.5 katı ve I_{30} 'da 15.5 katı deformasyonlarda sınırlandırılmıştır. Örneğin, şekildeki en yüksek ikinci eğri için ilk çatlak deformasyonu 0.014 mm'dir. I_5 , bundan dolayı 0.042 mm'lik bir deformasyon ile sınırlıdır. Diğer değerler benzer şekilde hesaplanır.

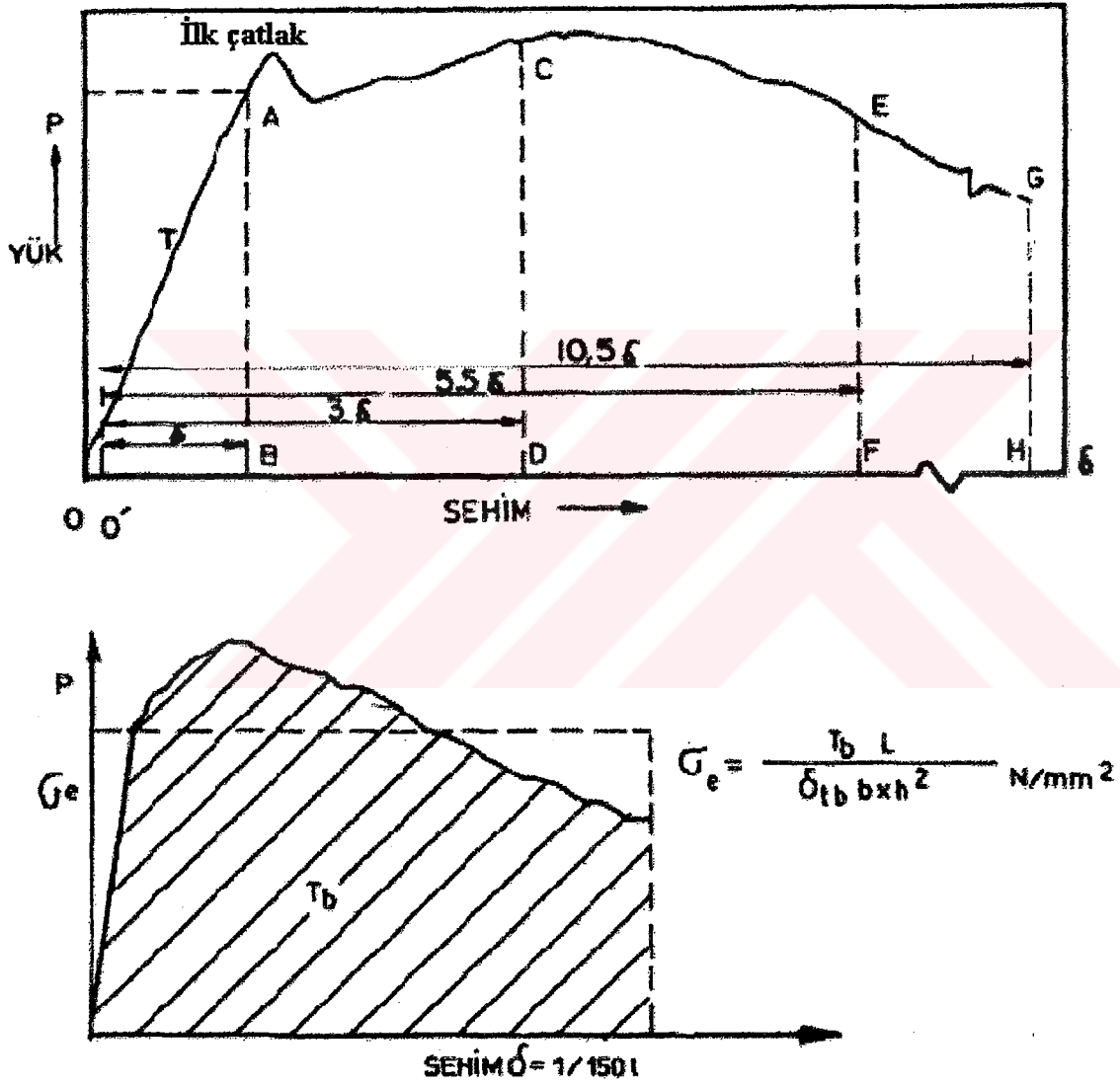


Şekil 2.12 Liflerin değişik tip ve miktarlarını içeren dört karışım için muhtemel malzeme davranışının yük-deformasyon eğrileri (ACI 544.4R, 1989).

Tokluk indekslerinin değerleri ilk olarak liflerin narinliği, konsantrasyonu, tipine ve esasen matrisin harç ya da beton olup olmadığına bağlıdır. Böylece, indeksler ilk çatlak dayanımındaki bir artış gibi oluşabilen herhangi bir dayanım etkisinden farklı olarak liflerin tokluğa etkisini yansıtır.

Bu yapının dayanım etkileri ilk olarak su/çimento oranı gibi matris karakteristiklerine bağlıdır. Genellikle, sonu ankrajlı lifler yüzeyi şekilli ve kıvrılmış lifler, daha düşük lif konsantrasyonlarında başarılı olunan benzer indeks değerlerine izin verir ya da aynı hacim konsantrasyonundaki düz liflerinkinden daha büyük tokluk indeksleri üretir. I_5 için 5 ve I_{10} için 10'luk indeks değeri, yüzey şekilleri, çengelli uçlar, ankrajlı uçlu liflerle takviye edilmiş beton için, % 1'lik lif yüzdesi ya da daha düşük lif yüzdesinde kolaylıkla başarılabılır. Bu tip indeks değerleri, ilk çatlamadan sonra plastik

davranış gösteren bir kompozit, akma noktasına ulaştıktan sonra (Şekil 2.12’de iki en üst eğri) yumuşak çeliğin davranışına yakın bir davranış göstermiştir. Daha düşük lif hacimleri ya da daha az etkili ankrajlı liflere nazaran daha düşük indeks değerleri üretir (Şekil 2.12’deki alttaki iki eğri) (ACI 544.4R, 1989).



Şekil 2.13 Yük-sehim eğrisi (TS 10515, 1992).

Yük-sehim eğrisinin başlangıç bölümünde bir içbükeylik söz konusudur. Fakat, bu kısım lineer kabul edilir. Yük-sehim eğrisinin lineer bölümden ilk kez ayrıldığı nokta

(Şekil 2.13'deki A noktası) tanımlanarak ilk çatlak belirtilir. Yabancı tesirleri düzeltmek için deney eğrisinden ayrıldığı T noktasından itibaren yük-sehim eğrisinin lineer bölümünü temsil eden düz çizgi AT, 0' noktasında yeni bir merkeze yerleştirilir. Çizgi sonraki alan hesaplamalarında eğri OTA yerine kullanılır. Yük sehim eğrisinde ilk çatlağa karşılık gelen yükü kullanarak ilk çatlak meydana getiren gerilme hesaplanır. İlk çatlama sehim O'B uzunluğuna karşılık gelen sehim değeridir. İlk çatlak sehimine kadar, yük-sehim eğrisinin altındaki alan O'AB üçgenidir. İlk çatlak sehiminin 3 katı sehime kadar yük-sehim eğrisinin altındaki alan O'ACD alanı belirtilir. Bu alan, ilk çatlağa kadar olan alana bölünür. Bulunan sayı, elastik şekil değiştirme indeksi I_5 'i verir. Bu düzensiz şekilli alanların belirlenmesi Simpson kuralının uygulanması veya bilinen alanlardaki karelerin sayılması gerektirir. Aynı diyagram için farklı ölçekler kullanıldığında, fiziksel alan ölçümlerinin elastik şekil değiştirme indekslerine çevrilmesinde bunun dikkate alınması gerekir. İlk çatlak sehiminin 5.5 katı bir sehime kadar yük-sehim eğrisinin altındaki alan bulunur (O'AEF). Bu alan, ilk çatlağa kadar olan alana bölünür ve I_{10} elde edilir. İlk çatlak sehiminin 10.5 katı sehime kadar olan yük-sehim eğrisinin altındaki alan da (O'AGH), ilk çatlağa kadar olan alana bölünür ve I_{20} elde edilir. Aşağıda önemli gerilmelerin hesabı için kullanılan formüller verilmektedir.

$$R_{10-20} = 10 \cdot (I_{20} - I_{10}), \quad \sigma_u = P_u \times \frac{L}{b \cdot h^2}, \quad \sigma_e = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \times \frac{L}{b \cdot h^2}, \quad \sigma_{emn} = \frac{\sigma_e}{\gamma_e}$$

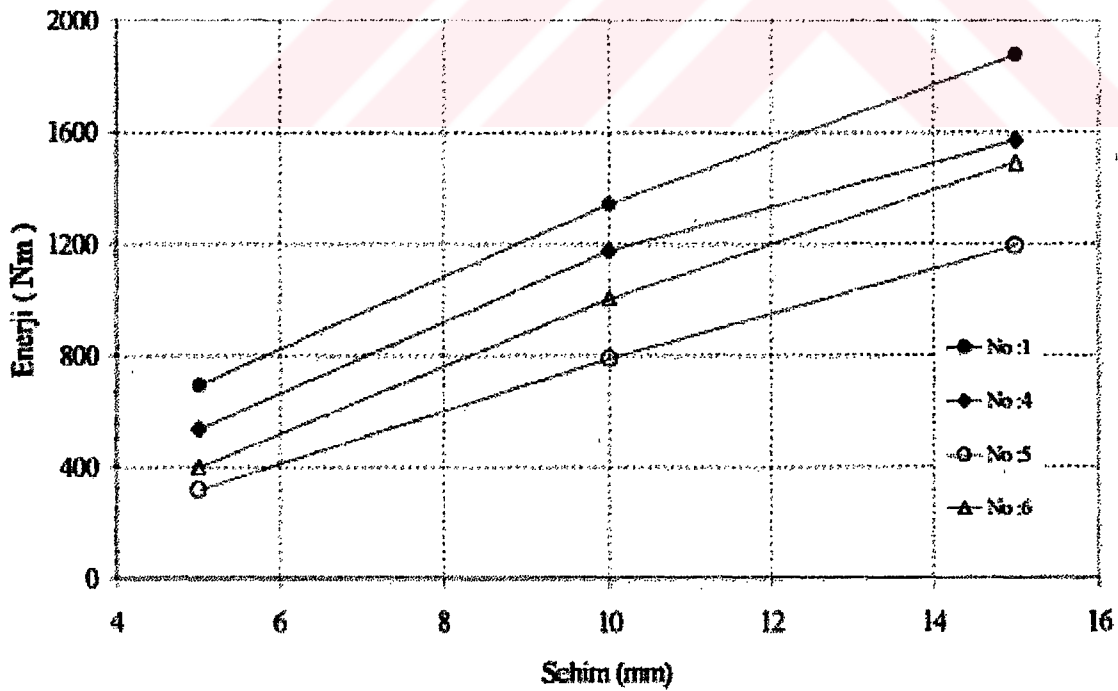
R ve σ_e değerleri sayesinde, tellerin beton yapısı üzerindeki fonksiyonları ve tel donatılı betonların birbirleri ile karşılaştırılması mümkün olmaktadır. Betona karıştırılacak tel miktarı ve cinsinin, yapılarda ortaya çıkan gerilmeler hesaplandıktan sonra, bu değerler göz önünde bulundurularak tayin edilmesi gerekmektedir.

İlk çatlağa veya belirtilen diğer sehimlere ilişkin mutlak değerler, büyük ölçüde numune ve deney sistemiyle ilgili geometrik düzenlemelere (numune boyutu vb.) bağlı olmaktadır. Bu değerlerin, belirtilen deney metoduna göre numune hazırlanmasında kullanılan telli betonla imal edilen yapı elemanının enerji emme kapasitesi ile direkt ilişkisi yoktur. Elastik şekil değiştirme indeksleri I_5 , I_{10} ve I_{20} , fiili performansın,

kolayca anlaşılabilir performans referans seviyesi ile karıştırılmasını sağlamaktadır. I_5 , I_{10} ve I_{20} 'e ait 5, 10 ve 20 değerleri; birinci çatlağa kadar lineer elastik malzeme hareketine, daha sonra mükemmel plastik davranışa karşılık düşer. Yüksek ölçüde elastik mukavemet gerektiren uygulamalar için, bu davranış önerilir ve sadece tel tipinin, tel miktarının ve beton basınç mukavemetinin özenle seçilmesi suretiyle bu plastik davranışa ulaşılabilmektedir. Elastik şekil değiştirme indekslerinin değerleri, Tablo 2.7'de verilen değerler arasında olmalıdır.

Tablo 2.7 Elastik şekil değiştirme indekslerinin değerleri (TS 10515, 1992).

Baz Alan	İndeks	Eğilme Kriteri	Normal Beton	Elastik-Plastik Malzeme	Lifli Beton İçin Aralık
OACD	15	3	1	5	1-6
OAEF	110	5.5	1	10	1-12
OAGH	120	10.5	1	20	1-25



Şekil 2.14 Çelik tel donatılı numunelerde yutulan enerji-sehim eğrileri (Taşdemir, 2000).

Taşdemir (2000), Şekil 2.14’de görüldüğü gibi her bir plak için yük-sehim eğrisi altında kalan alanı hesaplayarak tokluk değerlerini bulmuş, ayrıca her bir numune için yutulan enerji-sehim eğrilerini de elde etmiştir.

İlk çatlak yükü değerleri, incelenen çelik tel donatılı plaklarda genel olarak yüksek bulunmuştur. Çelik tel donatılı plaklarda göçme sırasında yutulan enerji değerleri de yüksektir. Yalın plaklar gevrek kırıldıklarından mevcut deney tekniği ile yük-sehim eğrisindeki inen kol elde edilememiştir. Yalın plaklarda göçme yükü ortalama olarak 100 kN bulunmuştur. Maksimum yüke kadar yük-sehim eğrisi lineer, toplam sehim 4 mm ve inen kol dahil tüm eğri de üçgen varsayılarak, yaklaşık olarak yutulan enerji 200 Joule (Nm) bulunmuştur.

Narinlik (tel boyu / tel çapı) oranı arttıkça çelik tel donatılı plakta yutulan enerji ve en büyük yük artmaktadır. Dramix tellerin uçlarının kancalı oluşu yutulan enerjinin daha da yükselmesine neden olmaktadır.

İşlenebilirliği iyi olmak koşuluyla çelik tel donatılı plaklarda çelik tel içeriği arttıkça, hem maksimum yük hem de yutulan enerji belirgin biçimde artmaktadır.

Polk ve diğerleri (1993), halı artığı lifleri yeniden değerlendirmek amacı ile çeşitli işlemlerden geçirmişler ve % 2 hacim oranında Tip I (uzunluğu 12 ile 25 mm) ve Tip II (uzunluğu 3 ile 25 mm) olmak üzere, yapıları birbirinden biraz farklı lifleri betonda kullanmışlardır. Ayrıca bu betonları, % 0.5 oranında kullanılan daha önce kullanılmamış polipropilen lifli (uzunluğu 19 mm) betonlarla ve lifsiz beton ile karşılaştırmışlardır.

Artık lifli betonun 28 günlük basınç dayanımı % 0.5 polipropilen lifli betona göre gözle görülür bir düşüş meydana getirirken, eğilmede yaklaşık aynı ve tokluk olarak daha yüksek değer vermiştir. Bunun yanında, kontrol betonu değerlerinin tokluk haricinde % 0.5 polipropilen lif katkılı betonunkine çok yakın olduğu görülmektedir (Tablo 2.8).

Tablo 2.8 Polipropilen ve halı artığı liflerin basınç, eğilme dayanımı ve tokluk değerleri (Polk ve diğ. 1993).

Lif Çeşitleri	Lif Hacmi (%)	Basınç dayanımı		28 Günlük eğilme testi		
		1 Gün	28 Gün	Dayanım	Tokluk	
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	I ₅	I ₂₀
Kontrol Betonu	0	20.9	52.6	4.6	1	1
Polipropilen lif	0.5	24.2	52.2	4.6	2.6	6.9
Tip I artık lif	2	20.9	39.7	4.7	3.3	7.5
Tip II artık lif	2	18.6	40.7	4.4	3.5	9.8

2.2.2.4. Darbe Etkisi

Darbe testlerinin en basiti “tekrarlanan darbe” ağırlık düşürme testidir. Bu test, test numunelerindeki belirlenmiş gerilme seviyeleri için gerekli darbe sayısını vermektedir. Bu sayı, belirlenmiş gerilme seviyelerinde numune tarafından emilen enerjinin bir değerlendirmesi olarak kabul edilebilmektedir. Test, sıradan beton ile kıyaslanan lifli betonun gelişmiş performansını göstermek için ve farklı oranlarda lifli beton karışımlarının bağıl değerlerini kıyaslamak için kullanılabilmektedir. Farklı kalınlıklardaki bağıl darbe dayanıklılığını göstermek için de uygun olabilmektedir. Test ekipmanı olarak agrega darbe aşınması deneyi için kullanılan cihaz kullanılmaktadır.

Numuneler 7, 28 ve (arzu edilirse) 90 günlük yaşlarda test edilebilir. Numunelerin bakımı ve tutulması basınç numunelerine benzer olarak yapılabilir. Rapor edilen kalınlıklar, üst yüzeye herhangi bir çap boyunca numunenin bir köşesi ve merkezinde ölçülen kalınlıklar ortalama alınarak sınırlandırılabilir. Bu testlerin sonuçları, çok değişkendir ve lif içeriği, karışım tipleri gibi farklılıklarla göreceli olarak değişebilir.

Çarpma yükleri uygulamak için geleneksel (alışlagelmiş) mekanizmalara sahipken; cihazlı darbe testi, tek bir darbe kırılmasıyla, çarpma olayı esnasında enerji eğrileri, deformasyon, sapma ve yüklerin gösterilmesine izin verir. Bu yüklemenin farklı oranlarında gerinim ya da deformasyona ve maksimum enerji emme, kırılma tokluğu gibi temel malzeme özelliklerinin ölçülmesini sağlar.

Cihazlı darbe testi, lif takviyeli betona başarıyla uygulanmaktadır. Genellikle iki tip sistem uygulanmaktadır. Biri; düşü ağırlık tipi sistem ve bir sarkaç tipi sistem (Charpy çarpma sistemi) bu sistemlerin cihazlı kontrolü gerçekte karışıktır ve bu yük hücreleri gibi hareket eden örs destekleri kadar vurucunun cihazlı kontrolünü de kapsar.

Cihazlı düşü-ağırlık sisteminde, bir vurucu ile donatılmış bir ağırlık iki kol tarafından yönlendirilerek numune üzerine yer çekimi ile düşürülür. Charpy sisteminde, çarpma mekanizması gibi bir vurucu ile donatılan, serbest düşen bir sarkaç ağırlığı kullanılır. Her iki sistemde, darbecinin ağırlığı ve düşü yüksekliği, çarpma testindeki enerji kapasiteleri ve darbe hızlarının alanının bulunmasını sağlar. Elektronik kontrol düşü ağırlığının ve Charpy sistemlerinin mekanik konfigürasyonu farklı olmasına rağmen her iki sistem de aynıdır (ACI 544.2R, 1989).

Arslan ve Aydın'a (1999 a) göre, yapı mühendisliğinin pek çok uygulamasında betonun darbe yüklerine ve tekrarlı yüklere karşı yeterli dayanıma sahip olması istenir ve liflerin darbe dayanımında sağladığı mükemmel artış da lifli betonların en önemli avantajlarındanıdır.

Tablo 2.9 Değişen narinlik ve lif içeriğine bağlı olarak numunenin dayanabildiği darbe sayısı (Arslan ve Aydın, 1999 a).

Beton Tipi	Narinlik	Lif hacmi (%)	Darbe Sayısı	
			İlk çatlak	Kırılma
Kontrol	-	0	4	5
Çelik Lifli	60	0.5	8	18
Çelik Lifli	60	1	22	45
Çelik Lifli	60	1.5	40	75
Çelik Lifli	60	2	101	192
Çelik Lifli	75	0.5	17	37
Çelik Lifli	75	1	29	56
Çelik Lifli	75	1.5	43	151
Çelik Lifli	75	2	116	276
Çelik Lifli	83	0.5	21	48
Çelik Lifli	83	1	33	68
Çelik Lifli	83	1.5	81	172
Çelik Lifli	83	2	193	373

Marar ve diğerkleri (2001), elik lif (ucu kıvrık) takviyeli betonun darbe testi için en basit (drop-weight) darbe aparatını kullanmışlardır. Araştırmacılar, üç farklı narinlikte (60, 75, 83) ve dört farklı elik lif içeriğı (beton hacminin % 0.5, 1, 1.5, 2) ile hazırlanan standart silindirler üzerinde basınç ve kesilen parçalar üzerinde darbe uygulamışlardır.

elik lif içeriğı ve narinliğı yükseldikçe darbe mukavemeti artmış ve beton darbeye karşı mükemmel bir performans göstermiştir. Tablo 2.9’da değışen narinlik ve lif ieriğıne bağılı olarak numunenin dayanabildiğı darbe sayısı verilmektedir.

Mu ve diğerkleri (2000), kısa cam ve polivinilalkol (PVA) lif takviyeli harçların çekme dayanımı ve çarpma dayanıklılığını araştırmışlardır. Harçlarda özel olarak alkalilere dayanıklı üretilmiş kısa ve ince cam lifler, Tip I imentosu, cüruf ve silis dumanı ieriğıne sahip süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Çekme dayanımı ve darbe açısından en iyi sonuçları, % 4 cam lifi ieriğıne sahip numuneler vermiştir. Ayrıca, % 2 PVA ve % 1 cam lif kullanılan numuneler de oldukça iyi performans göstermiştir. En olumsuz sonuçları, içinde cüruf kullanılmayan % 2 PVA ieriğıne sahip betonlar vermiştir. Aynı numunede cüruf içeriğinin artmasının çekme ve darbe dayanımını artırdığı gözlenmiştir. Lifsiz beton çalışmada incelenmemiştir.

Raouf ve arkadaşları (1976); 25x25x210 mm’lik elik, cam, polipropilen ve karbon lifli numuneler üzerinde yaptıkları patlayıcı testlerinde; karbon lifli numunelerin darbe dayanımının düşük olduğunu belirlemişlerdir. Fakat bu konudaki yetersiz deney sayısı da vurgulanmaktadır. Ayrıca elik liflerin numune içerisindeki dağılımını x-ray metoduyla inceleyerek vibrasyondan sonra elik liflerin rasgele şekillerinin bozulduğunu gözlemlemişlerdir. alışmalarında cam liflerin matris içinde daha üniform dağılması nedeniyle en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu, fakat alkali etkisine karşı dayanımının ise düşük olduğunu görmüşlerdir. alışmalarından elde ettikleri sonuçlar topluca Tablo 2.10’ da değılendirilmiştir (Arslan ve Aydın, 1999 b).

Tablo 2.10 Lifli betonlarda patlayıcı testleri ve sonuçları (Arslan ve Aydın, 1999 b).

Numune No	Lif Tipi	% Lif Hacmi	Çatlak Uzunluğu (mm)				Notlar
			11	12	13	14	
1	Lifsiz	0	22	58	-	-	Her iki numunede dağılma görülmüştür.
2	Lifsiz	0	22	38	70	-	
3	Polipropilen	1.71	26	-	-	-	Çatlaklar çok ince ve numune sağlam kalmıştır.
4	Polipropilen	1.71	22	65	-	-	
5	Polipropilen	3.47	-	-	-	-	Sismik patlayıcılara rağmen çatlaklar çok ince ve numune sağlam kalmıştır.
6	Polipropilen	3.47	-	-	-	-	
7	Çelik	1.39	24	54	82	-	Çatlaklar çok ince ve numune sağlam kalmıştır.
8	Çelik	1.39	24	39	64	120	
9	Çelik	2.78	20	35	50	80	Çatlaklar çok ince ve numune sağlam kalmıştır.
10	Çelik	2.78	22	56	108	-	
11	Karbon	0.79	25	75	-	-	Her iki numunede de dağılma olmuştur.
12	Karbon	0.79	25	80	100	-	
13	Karbon	1.57	58	110	-	-	Numuneler kırıldı, fakat tek parça olarak kalmıştır.
14	Karbon	1.57	67	127	-	-	
15	Lifsiz	0	30	58	100	-	Numune dağılmıştır.
16	Cam lifi	1.12	-	-	-	-	Görünür çatlak yok, bütün numuneler sağlam kalmıştır.
17	Cam lifi	1.12	-	-	-	-	
18	Cam lifi	2.24	-	-	-	-	
19	Cam lifi	2.24	-	-	-	-	

2.2.2.5. Yorulma Dayanımı

Hua ve diğerleri (2000), karbon ve polipropilen karışımı lifli betonların eğilme yorulması hasar karakteristiklerini detaylı olarak incelemişlerdir. Karbon ve polipropilen liflerin beton içindeki hacimsel oranları düzenli olarak; karbon için 0, 0.5, 1, 1.5 ve polipropilen için 0, 0.5, 0.7, 0.9; çap, karbon lif için 6 μ m, polipropilen lif için 10 μ m ve narinlik oranı karbon lif için 500, polipropilen lif için 800; eğilme deneyinde kullanılan prizma boyutu 100x100x300 mm alınmıştır.

Eğilme yorulma numuneleri önce maksimum değeri 4 kN'u geçmeyen statik bir yüklemeye maruz bırakılmıştır. Bu ön yüklemeden sonra, 105 Hz sinüzoidal dalga şekli ile yorulma yüklemesinin değişmez bir alanı kullanılarak deney yönlendirilmiştir.

Numune yüklenmeksizin devir sayısı 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 ve 2000 alınarak, yorulma deformasyonu genliği ve artan deformasyon ölçülmüş ve daha sonra tekrar yüklenerek, numune kırılana kadar teste devam edilmiştir. Ayrıca formüller kullanılarak hesap ile bulunan değerler deneysel değerler ile karşılaştırılmış ve bunların birbirine yakın olduğu görülmüştür.

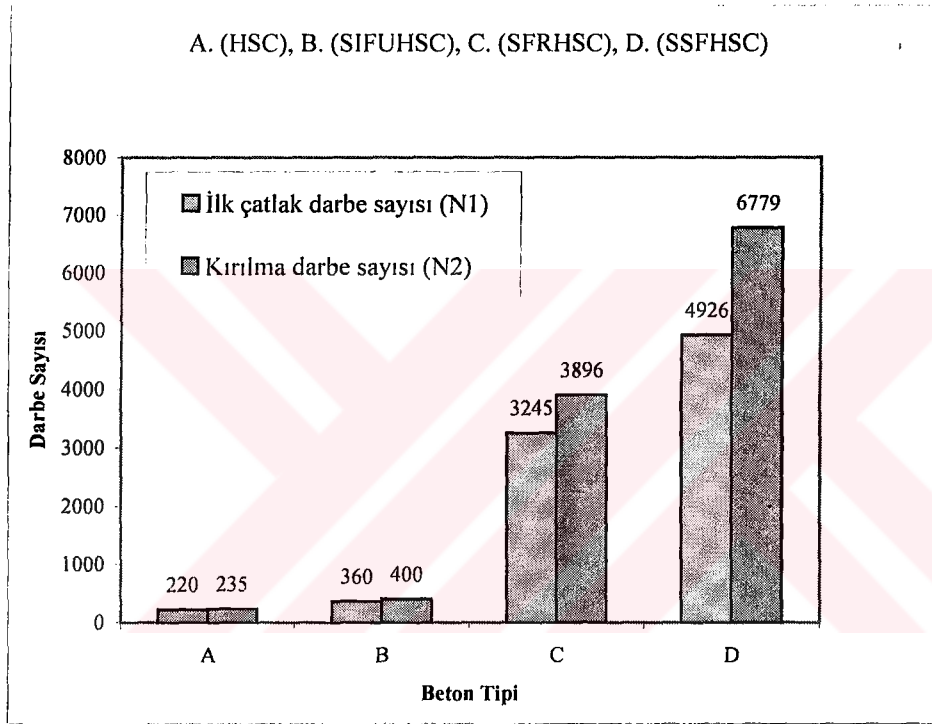
Hasarın değerlendirilmesi yapılırken; bu büyüklüğün devir sayısı, yorulma gerilmesi oranı ve lif yüzdesine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Çatlak gelişimi lifler sayesinde engellenerek, hasar ve yorulma azaltılmıştır.

Arslan ve Aydın'a (1999 b) göre; çelik lifler, betonun; kesme, yorulma ve burulma dayanımını yükselterek, kesitin küçülmesine ve bazen de asal donatıya gereksinimin ortadan kalkmasına sebep olmaktadır. Özellikle, yüksek kiriş, silo ve perde gibi yapı alanlarında kullanımı etkilidir.

Yan ve diğerleri (1999); tekrar eden dinamik yükler altında, yüksek dayanımlı beton (HSC), silis dumanlı yüksek dayanımlı beton (SIFUHSC), çelik lifli yüksek dayanımlı beton (SFRHSC) ve çelik lifli silis dumanlı yüksek dayanımlı beton (SSFHSC) üzerine çalışmışlardır. Ayrıca, silis dumanı ve çelik lifle hasarı azaltma mekanizmalarını da araştırmışlardır. Sonuç olarak çelik lifler; çatlak tiplerinde çekme yoğunlaşmalarını hafifleten bir HSC yapısında kırılma esnasında çatlakların başlangıç ve yayılmasını etkin bir şekilde sınırlamakta, darbe ve yorulma altında hasar oluşumunu geciktirmektedir. Silis dumanı etkin olarak bağlantı bölgelerindeki zayıflıkları bertaraf ederek beton yapısındaki bağları güçlendirmekte, çatlak boyut sayısını azaltmakta, çelik liflerin çatlamalara karşı dayanıklılığını artırmakta ve hasarı sınırlamaktadır. Beton darbe ve yorulmaya tabi tutulduğunda çelik lif ve silis dumanı sayesinde performans oldukça artmaktadır.

Eğilme yorulması testleri 100x100x400 mm prizma şeklindeki numuneler

üzerinde üçte bir noktalardan yüklenerek yapılmıştır. Yük çevrimi karakteristik değeri 0.1'e eşit alınmıştır. Gerilme oranı, yorulma sayısı 10^6 olana kadar azalarak değişen, yorulma eğilme dayanımının yorulma dayanımına oranı olarak tanımlanmaktadır. Gerilme oranı, yorulma hareketinde numune kırılana kadar bu değerle devam ettirilmiştir. Yükleme hareket frekansı, $n \geq 0.8$ olduğunda 5-7 Hz, $n < 0.8$ olduğunda 15-20 Hz alınmıştır.



Şekil 2.15 Değişik tipteki betonların dayanabildiği darbe sayıları (Yan ve diğerleri, 1999)

Dört seri betonun çarpma dayanıklılığı performansı Şekil 2.15'de görülmektedir. Yüksek dayanımlı betona yapılan lif ve silis dumanı takviyesi betonun kinetik enerjiyi absorbe edebilme kabiliyetini mükemmel geliştirmiş, çatlakların başlangıç ve yayılmaları sınırlandırılmış, deney sonunda tam kopma meydana gelmemiştir. İlk çatlak için gerekli darbe sayısı (220'den 4926'ya), kırılma için gerekli darbe sayısı (235'den 6779'a) çok büyük, ilk çatlak oluşumu ile kırılma arasındaki darbe sayısı da 100 mislinden fazla (15'den 1853'e artmıştır) artış göstermiştir.

Toplam dört seri için 500 numuneyi kapsayan yorulma testi sonuçları, lineer regresyon analizi ile çözülmüştür. Yorulma sayısı (Lg N) ve gerilme oranı ile ilgili regresyon denklemleri aşağıda gösterilmiştir:

$$\begin{aligned} n &= 1.029 - 0.061 \lg N & \gamma &= 0.954, S = 0.021 \\ n &= 1.045 - 0.057 \lg N & \gamma &= 0.967, S = 0.019 \\ n &= 1.048 - 0.0556 \lg N & \gamma &= 0.973, S = 0.02 \\ n &= 1.0511 - 0.0539 \lg N & \gamma &= 0.973, S = 0.02 \end{aligned}$$

γ bağıl katsayı ve S de regresyon hatasıdır.

Yorulma sayısı arttığı zaman, tüm beton serileri için gerilme oranları azalmaktadır. Gerilme oranındaki azalma, silis dumanı ve çelik lif içeren betonlarda daha düşük çıkmaktadır.

2.2.2.6. Rötire

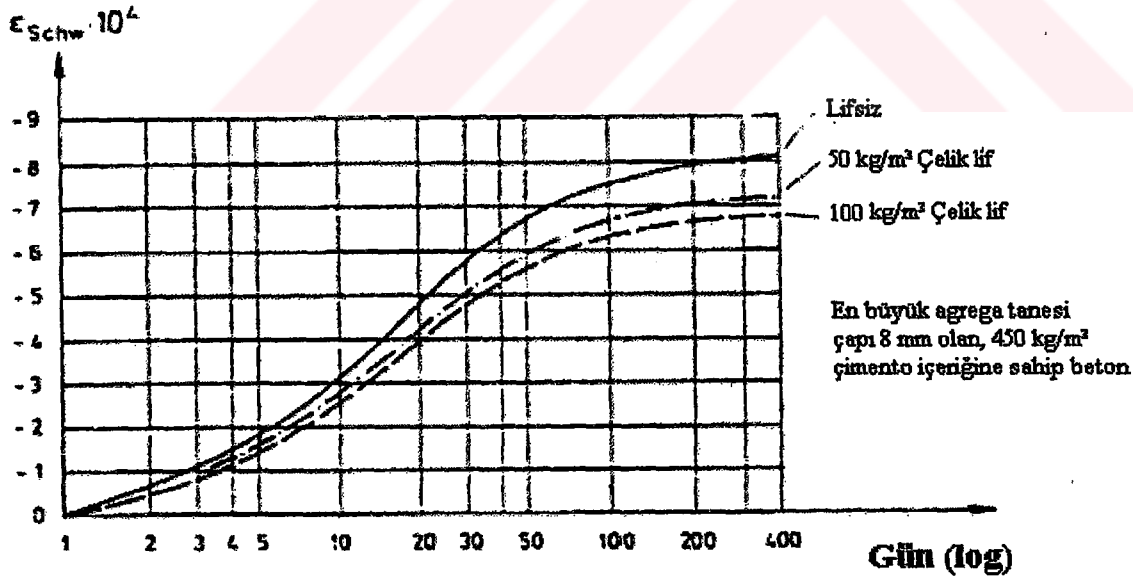
Altoubat ve Lange (2001)'e göre, lifli beton üzerinde yapılan rötire çalışmaları sınırlıdır. Balaguru ve Shah (1992) bu çalışmaların bazılarını özetlemişlerdir. Çelik lif ilavesinin sınırlı bir boya sahip betonda rötreyi azalttığı görülmüştür. Ancak ürünün boyu hala tartışmaya açıktır. Örneğin Grzybowski ve Shah (1990), % 1 hacimsel çelik lif ilavesi ile kuruma rötresinin azalmadığını görmüşlerdir. Diğer yandan Swamy ve Stavrides (1979), % 1 hacimsel çelik lif ilave edildiği zaman rötrede % 15-20 azalma olduğunu rapor etmişlerdir. Magnat ve Azari (1988), % 3 ve daha yüksek çelik lif ilavesiyle önemli rötire azalması olduğunu yazmışlardır. Öte yandan Edgington ve diğerlerine (1974) göre; çelik lif, beton rötresi üzerinde etkisizdir.

Deneylerde Tip I çimentosu, silis dumanı, süperakışkanlaştırıcı, 25. mm'lik maksimum tane çapına sahip kırma kireçtaşı ve kum, ayrıca çelik lif (30 mm uzunluğunda ve 0.4 mm çapında) ve polipropilen lif olmak üzere iki tip lif kullanılmıştır. Çelik lifli betonlar % 0.6 çelik lif içeriğine sahip olup, 0.48, 0.5 ve 0.56

olmak üzere su/çimento oranına sahip 3 tipte kullanılmış ve yine yüksek dayanımlı polipropilen lifli betonlar % 0.5 çelik lif içeriğine sahip olup, 0.32, 0.4 ve 0.5 olmak üzere su/çimento oranına sahip 3 tipte kullanılmıştır.

Çelik lifler rötreyi normal betona göre etkilememiş, ancak polipropilen lifler özellikle erken yaşlarda plastik rötreye ve rötreye çatlaklarını kontrol altına almıştır. Çatlakların azalması polipropilen lifin erken yaşta betonun elastisite modülünün yüksekliğine ve rijitliğin azalmasına bağlanmıştır. Ayrıca, polipropilen lifler çelik liflere göre daha küçük olmaları sebebiyle, daha fazla boşluk doldurarak ve sık bir doku oluşturarak, rötreye davranışında gelişme sağlamışlardır.

Chem ve Young'a (1989) göre, lifli betonun rötreye yaş ve boyut etkisi lifsiz betondakine benzerdir. En ideal rötreye oranı % 2 çelik lif içeriğinde sağlanabilmektedir. Daha fazla lif içeriği aksine rötreyi artırmaktadır. Sonraki yaşlarda etki giderek ve lif miktarı arttıkça artar. Liflerin erken yaştaki etkisi tartışılabilir (Altoubat and Lange, 2001).



Şekil 2.16 Çelik liflerin prizma numunelerinde rötreye (büzülme) etkileri (Schnütgen, 1992).

Schnütgen'e (1992) göre, mikro yırtılma oluşumunun etkilenmesi ve bu nedenle engellenen taşınım olayları; karbonat oluşum hızı, klorürlerin ilerlemesine karşı gösterilen direnç ve boyut değiştirmeden (büzülme) etkilenir. İyi bağa sahip lifler, örneğin büyük yüzeye sahip lifler, bu ilişkide önemli derecede etkili olur. Şekil 2.16'daki ilişki; doğrusal, düzgün yüzeyli 25 mm uzunluğunda ve 0.4 mm çapındaki çelik lifler için elde edilmiştir.

PCI Committee on GFRCP (2001), AR cam lifleri (hacimsel içerik % 3, uzunluğu 25-38 mm) üzerinde yapmış olduğu çalışmada rötre çatlaklarının sayısının lif sayısı, yoğunluğu ve yönüne bağlı olduğu görülmüştür. Kuruma rötresi azalmamasına rağmen, dayanım ve çatlak sayısı atma riski azaltılabilmektedir. Kum/çimento ağırlık oranı arttıkça rötre azalmakta, fakat bu oran 1'in üzerine çıktığı zaman dayanım düşüşlerine sebep olabilmektedir.

2.2.2.7. Donma-Çözülme Etkisi

Juska ve diğerleri (1999), ısı etkilerinin lifli betonlar üzerine yapmış olduğu etkilerle ilgili daha önce yapılmış olan çalışmaları derlemişlerdir. Bu çalışmalar kür sıcaklığının üzerindeki ısılar, donma çözülme tesirleri ve değişik sıcaklık çevrimleri ile ilgilidir. Aşağıda bu çalışmalara örnekler verilmiştir.

Gomez ve Casto (1996); cam lifli kompozitler üzerinde, % 2 NaCl çözeltisi içinde donma (-17.8 °C) – çözülme (4.4 °C) deneyini uygulamışlardır. Numunelerin eğilme dayanımları ve diğer özelliklerinin önemli derecede kayba uğradığını görmüşlerdir (Juska vd., 1999).

Karbhari ve Engineer (1996), karbon ve cam lifi takviyeli epoksili betonları 54 °C ve 92 °C sıcaklıklarda kürlemişler ve daha sonra betonu deniz suyu, şebeke suyu, - 15 °C ve donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakmışlardır. Betonlardaki liflerin bu etkilerden olumsuz etkilendiği görülmüştür (Juska vd., 1999).

Kukko ve Matala'ya (1991) göre, basınç dayanımı 60 ile 100 MPa olan yüksek dayanımlı betonların kullanımı 1980'lerin başlarından beri araştırılmaktadır. Hava içeriği olmaksızın donma dayanıklılığı, yüksek mukavemetli betonda genellikle yüksektir. 28 günlük numuneler üzerine yaptıkları araştırmalarda, -20°C (havada) ve $+20^{\circ}\text{C}$ (suda) arasında 500 donma-çözülme çevrimi uygulamışlar ve en iyi sonucu silis dumanlı ve dumansız hızlı sertleşen portland çimentosu ile elde etmişlerdir. Cürufu çimento ve yavaş sertleşen portland çimentosu iyi dayanıklılık göstermemiştir. Özellikle de yaşlandıktan sonra dayanıklılığı azalmıştır.

Yüksek dayaklılığa sahip betonların mikro yapısı yoğundur. Porozite araştırması ve ışınsal araştırmalara göre; donma hasarı nedeniyle, başlangıç çapıyla boşlukların boyutu 50-100 nm arasında artış göstermektedir.

Yıldız (1998); cam liflerin betonda kullanımı konusunda yapılan çalışmalar arasında, donma dayanımına olan etkilerinin hiç araştırılmadığını görmüştür. Bu nedenle bu tür üretilcek betonların, bu olaydan nasıl etkileneceğini görmek açısından kendisinin yaptığı çalışmanın araştırmacılara bu yolda bir fikir vereceğini düşünmektedir.

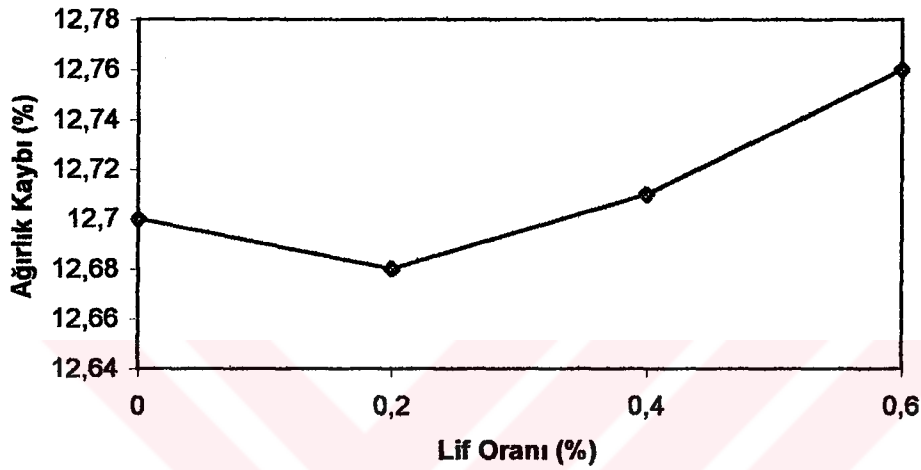
Tablo 2.11 Cam lifli betonlarda donma-çözülme deneyi sonunda görülen ağırlık kaybı (Yıldız, 1998).

Numune	Lif Oranı (%)	Kuru Ağırlık(gr)	Son Ağırlık(gr)	Ağırlık kaybı (%)
Kontrol	0	2440	2130	12.7
L2	0.2	2420	2113	12.68
L4	0.4	2410	2104	12.71
L6	0.6	2400	2094	12.76

25. donma-çözülme periyoduna ulaşana kadar numunelerde fazla bir değişiklik olmadığı, fakat 25. donma-çözülme çevriminden sonra numunelerde kopmaların başladığı görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler Tablo 2.11'de görülmektedir. Lif katkılı numunelerde boşluk oluşması ve bu liflerin aderanslarının fazla iyi olmaması gibi nedenlerden dolayı numunelerin donma çözülme olayından etkilendikleri,

yüzeydeki çatlakların fazla geliştikleri; fakat numunelerde lif katkısından dolayı kopmaların olmadığı anlaşılmıştır. % 2 lif içeriğinde, kontrol numunesine göre az da olsa donma-çözülme ağırlık kaybı miktarı azalmış, ama % 4 ve 6 lif içeriğinde; cam lifler, donma-çözülme çevrimlerinden olumsuz etkilendiğinden artmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Numunelerde lif oranına bağlı ağırlık kayıpları (Yıldız, 1998).

Myers ve Murthy (2001), lif takviyeli polimer (karbon, cam ve aramid) ile beton arasındaki bağ ve durabiliteyi araştırmışlardır. Deney programında 152x152x610 mm boyutundaki karbon, cam ve aramid lif takviyeli polimer levhalı ve önceden kırılmış 48 kiriş kullanılmıştır. Çalışmada 15 kirişin sonuçları verilmiştir. Kirişler önce tek nokta yüklemesi altında çatlatılmış, kirişler lif takviyeli polimer levhalı olarak denendikten sonra, sabit yük altında (% 0, % 25, % 40) donma-çözülme, yüksek nem, yüksek sıcaklık ve ultraviyole gibi çevre etkilerine maruz bırakılmıştır. Daha sonra levhaların bağımlı daha iyi test etmek için kirişin boyuna çelik donatısı kesilmiştir. Kirişler sonraki aşamada iki nokta yüklemesine maruz bırakılarak çatlak büyümeleri ve deformasyonlar kaydedilmiştir.

Donma çözülme çevrimleri sonucu, eğilme rijitliği ve dayanımın cam lifli levhalarda daha fazla azaldığı görülmüştür. Bu özellikler en olumlu olarak karbon lifli levhalarda gözlenmiştir.

PCI Committee on GFRCP (2001) donma-çözülme çevrimleri üzerine yapmış olduğu araştırmada; cam lifli betonların 300 çevrim ve üstüne kadar işlemlerde eğilme dayanımlarında yaklaşık yarı yarıya düşüş olduğunu, lifsiz olan betonlarda ise bu değer 120 çevrimde tamamen düştüğünü görmüşlerdir. Cam lifli betonlarda % 5 cam lifi, 0.35 su/çimento ve 2/1 çimento/kum oranı kullanılmıştır.

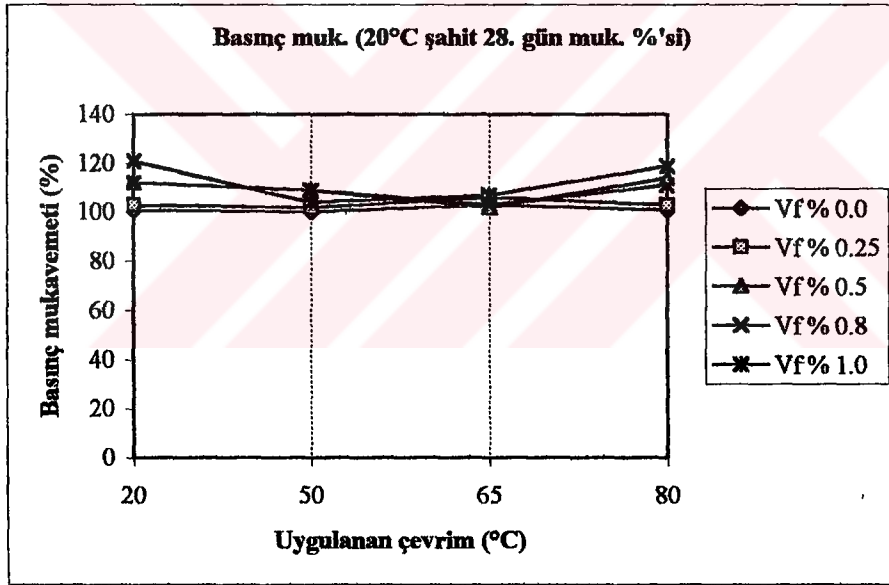
Morgan (1991); kuru ve ıslak karışımlı püskürtme lifli betonları, ASTM C666 suda donma-çözülme (A) yöntemine göre test etmiştir. Hava sürüklendiğinde ve yüksek oranlarda çelik ve polipropilen lif kullanıldığında ıslak ve kuru karışımlı püskürtme betonda donma çözülme durabilitesi sağlanabilmektedir. Fakat, hava sürüklenmediği zaman, ıslak ve kuru karışımlarda durabilite çok hızlı düşmektedir. Hava sürükleyicileri püskürtme betonda etkin olarak kullanmak mümkün olmamasına rağmen, çelik lifli karışımların uygun şekilde dizaynı ile durabilite artırılabilir. Yüksek polipropilen lifli ıslak-kuru karışımlı püskürtme beton üretmek pratik olarak imkansız olduğundan, donma-çözülme durumu anlaşılamamıştır.

2.2.2.8. Sıcaklık Etkisi

Ünal (1994); ısıtılmanın, narinlik oranı 60 olan ve 2.5, 5, 8 ve 10 dm³/m³ çelik lif içeriklerine sahip betonlar üzerine etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmalarda betonların basınç ve eğilme dayanımları, ultrases hızları, tokluk, işlenebilirlik, kılcallık ve porozite özellikleri üzerinde durulmuş; betonun lif içeriği arttıkça dayanım, ultrases ve tokluk özelliklerinin arttığı; kılcallığın olumlu, işlenebilirlik ve porozite özelliklerinin olumsuz etkilendiği gözlenmiştir.

Isıl işlem görmüş kontrol ve lifli betonlarda 1. günde 20 °C'ye oranla sağlanan mukavemet artışı 28. günde de devam edebilmektedir (Şekil 2.18). 90 günlük numunelerde ise, azalma görülmektedir. Azalmanın 90. günde ortaya çıkması

numunelerin saklandığı ortam şartlarına bağlanmaktadır. Kontrol betonu ve lifli betonların 1 günlük eğilme mukavemetlerinde görülen artış hızı, ısıtma işlem sıcaklığı 50 °C'den itibaren azalmaktadır. Isıtma işlem uygulamasının 1 günlük numunelerdeki mukavemeti artırıcı etkisi, 28. günde de devam ederek, betona katılan lif miktarının artışına bağlı olarak azalmaktadır. Isıtma işlemlerin kontrol ve lifli betonların 90. günde eğilme mukavemetleri üzerine yaptığı etki hemen hemen aynı olmaktadır. Betona katılan lif miktarının artması, hem 20°C'de hem de ısıtma işlem görmüş numunelerde erken ve ileriki yaşlardaki eğilme mukavemetini artırmaktadır. Ancak liflerin mukavemeti artırıcı etkisi, 20°C'lik kür şartlarında daha fazla olmaktadır. 1, 28 ve 90 günlük numunelerde eğilme mukavemetleri, lif yüzdesi artışına bağlı olarak artmakta; ancak betonun yaşı ilerledikçe liflerin eğilme mukavemeti artışına etkisi azalmaktadır.



Şekil 2.18 Isıtma işlemine tabi tutulmuş lifli betonlarda lif yüzdesine bağlı basınç mukavemeti değişimi (Ünal, 1994).

Isıtma işlem uygulaması kontrol ve lifli betonların 1 günlük basınç mukavemetlerini, eğilme mukavemetinde olduğu gibi artırmaktadır. Isıtma işlem uygulamasının 1 günlük numuneler üzerindeki mukavemeti artırıcı etkisi, basınç mukavemetinde daha fazla olmaktadır. Kontrol ve lifli betonların 1 günlük basınç mukavemetlerinde görülen

mukavemet artış hızı, eğilme mukavemetine benzer şekilde ısıtma işlem sıcaklığı 50°C'den itibaren azalmaktadır. Isıtma işlem uygulamasının 1 günlük numunelerin basınç mukavemetlerini artırıcı etkisi, betona katılan lif miktarına bağlı olarak azalmaktadır. Bu da, betona katılan liflerden dolayı artan kusurların yüksek ısıtma işlem sıcaklıklarında kendini daha belirgin şekilde göstermesine bağlanabilir.

Isıtma işlem uygulaması kontrol ve lifli betonların 1 günlük ultrases hızlarını 20 °C'ye oranla artırmaktadır. Ultrases hızındaki artış hızı ısıtma işlem sıcaklığı 50 °C'den itibaren azalmaktadır. Betona katılan lif miktarının artması, 1 günlük numunelerin ultrases hızlarını 20 °C'lik kür şartlarında artırırken; ısıtma işlemlerde azalmaktadır. Isıtma işlem uygulamasının lifli betonların 1 günlük ultrases hızlarına yaptığı etki, eğilme ve basınç mukavemetindeki etkiye benzer biçimde olmaktadır. Bu da ultrases hızı ile basınç mukavemeti arasında bir ilişkinin olabileceğini göstermektedir. Isıtma işlem uygulaması 28 ve 90. günlerde kontrol numunelerinin ultrases hızlarını 20 °C'ye göre değiştirmeyenken, lifli betonların ultrases hızlarını azaltmaktadır. Bu etkileme şeklinin genellikle basınç mukavemetini etkileme şekline yakın olması, mukavemetlerin belirlenmesinde ultrases hızı ölçümlerinin anlamlı sonuçlar vereceğini göstermektedir. 28 ve 90. günlerde hem 20 °C'de hem de ısıtma işlemlerde genel olarak lif miktarının artmasıyla ultrases hızları azalmaktadır. Ancak, 20 °C'de 90 günlük numunelerde basınç mukavemetinin tersine ultrases hızları lif miktarının artışına bağlı olarak artmaktadır.

Isıtma işlem uygulaması kontrol ve lifli betonlarda kılcallığın 20 °C'ye göre azalmasına sebep olmaktadır. 20 °C'lik kür halinde lif miktarının artması kılcallığı azaltmaktadır. Isıtma işlemlerin kılcallığı azaltıcı yöndeki etkisi en fazla lif yüzdesi 1 olan betonlarda görülmektedir. Isıtma işlem uygulaması kontrol betonlarının görünen porozite oranlarını 20 °C'ye oranla artırmakta iken, lifli betonlarda önemli bir artış görülmemektedir.

Purkiss (1996); karışımlarda çelik lif yüzdeleri 0.75 ve 1.50 olan düz ve zikzaklı, 20 mm boyunda ve 0.25 mm çapında iki tip lif kullanmıştır. Bu beton karışımları 300 °C ile 800°C arasında değişen sıcaklıklarda deneye tabi tutulmuştur. Deney

sonuçlarından yararlanılarak uygulanan sıcaklıklardaki dayanım farkları, şahit betonlara göre, boysuz olarak hesaplanarak sıcaklıkla değişimleri gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, lifli betonların sıcaklık tesiri altında lif tipi ve miktarından bağımsız olarak dayanımlarının, 600 °C'den düşük sıcaklıklarda, normal betona göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Fakat genel olarak 800 °C sıcaklıkta tüm karışımların dayanımları azalmaktadır.

Aynı şekilde lifli betonların eğilme dayanımı üzerine sıcaklığın etkisi araştırıldığında; normal ve lifli betonun eğilme dayanımının artan sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiği belirtilmiştir. En iyi sonuçların 350 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda sağladığı ve 800 °C'de, dayanımında oldukça azalma görüldüğü gözlenmiştir.

Brogan (2002)'a göre; cam lifi takviyeli kompozitler, hafif ağırlıklı, korozyona dayanıklı ve kuvvetlidir. Fakat, bu malzemelerin rijit olmaması ve yüksek ısıya dayanamamaları sorun teşkil eder. Lif takviyeli plastikler ise aşırı yüksek ısıya maruz kaldıklarında bile deforme olmazlar. Ama, donatı çelikleri yüksek sıcaklıklara dayanamayıp erirler. Donatı çelikleri yerine lif takviyeli plastiklerin kullanılması yangınlarda binanın yıkılmasını geciktirmektedir.

2.3. Liflerle Beton Kullanımı ve Kullanım Alanları

Beton harmanına lif katılması yavaş yavaş yapılmalıdır. Lifli betonların hazırlanmasında belli başlı üç yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıda belirtilmektedir.

a) Beton santralinde liflerin karıştırılması yöntemi, en başarılı ve en kolay yöntem olarak bilinir. Kum, çakıl ve çelik lifler bir konveyör bant aracılığı ile karıştırma kazanına verilebildiği gibi, beton santralinin tartı kovalarına da konulabilir. Her iki durumda da lifler, kum ve çakılın üzerine dökülmelidir. Bu durumda betonyere birkaç tur attırılarak kuru karışımda tel demetlerinin çözülmesi ve dağılması sağlanır. Karışıma su, çimento, katkı, vs. gibi diğer elemanlar ilave edilir. Bütün lifler tek tek ayrılıp dağılıncaya kadar betonyer çalıştırılır. Bu süre mikser tipine bağlı olup yaklaşık 1-2

dakika arasındadır. Lifler, hazırlanan betona karıştırma kazanı içerisinde en son olarak da ilave edilebilir. Bu durumda da lifler tek tek ayrılncaya kadar karıştırma işlemine devam edilir. Bu yöntem toplam karışım süresini 1 ~ 2 dakika kadar uzatır.

b) Transmikserde bütün malzemelerin karıştırılması yönteminde; kum, çakıl ve lifler transmiksere konarak karıştırılır. Bu süre 1 dakikadan az, oldukça kısa ve sınırlıdır. Çimento, su, katkı, vs. ilave edilir. Mikser çalıştıktan 2 ile 4 dakika sonra karışım kontrol edilerek liflerin tek tek ayrılıp ayrılmadığı kontrol edilmelidir. Eğer lifler tek tek dağılmamışsa transmikser bir süre daha çalıştırılır.

c) Transmikserde bulunan hazır betona liflerin ilave edilmesi yöntemi, A ve B yöntemlerinin kullanılmasının mümkün olmadığı zamanlarda tercih edilir. Bu durumda aşağıdaki koşullara uyulmalıdır.

Transmikser kapasitesinin % 80'i kadar beton hazırlanır. Hazırlanan betonun su/çimento oranı düşük tutulmuş olmalıdır. Bu amaçla gerekirse akışkanlık verici katkı maddeleri kullanılmalıdır. Çelik lifler transmiksere dakikada 20-30 kg yükleme hızı ile ilave edilerek transmikserin kazanı en yüksek devirde döndürülmelidir. Karıştırma süresi mikser tipine bağlı olup, bütün lifler ilave edildikten sonra 1 dakika beton karıştırılmalıdır. Üniform bir dağılım olup olmadığı kontrol edilmeli ve lifler tam olarak ayrılmamışsa tambur bir süre daha döndürülmelidir.

Transmikserin haznesi tam doldurulmamalı, kapasite yaklaşık 1 m³ azaltılmalıdır. Liflerin topaklanmaması için tambur içerisinde temiz ve düzgün olması istenir. Beton pompalamasında sorun çıkmaması için, betonun akışkanlaştırıcı v.s. kullanarak ve pompa betonu için diğer gerekli şartlara uyularak beton dökümü yapılabilir. Ama bu da yeterli olmayabilir ve döküm koşullarını daha sağlıklı kılmak amacıyla lifli betonu yeterli basınç ve hacimde basabilen pompa, geniş çaplı boru (yaklaşık 155 mm), bükülebilir ve kıvrılabilir hortum ve liflerin demet halinde hortuma girişini önlemek amacıyla aletin ağzına 50-75 mm açıklıklı bir elek kullanılmalıdır. Ayrıca ayrışma olup iri kısmı ve lifler ince kısımdan ayrı pompa ağzına yöneleceğinden, tıkanmayı önlemek için çok yüksek çökmeye sahip betonlar kullanılmamalıdır.

Lifli betonda kalıp vibratörü kullanmakta fayda vardır. Ama kalıp vibratörü kullanılmadığı durumlarda daldırma tipi vibratörlerin kullanımında çubuk şekilli olmamasına özen gösterilmelidir. Çünkü, bu tip vibrasyonlarda lifler vibratör çevresinde toplanmaktadır. Bazen, özellikle de döşemelerde vibrasyonlu masterların kullanımı liflerin yüzeyden çıkmamaları için daha iyidir. Uçları yuvarlatılmış perdah makinaları veya bunların kullanılmayacağı alanlarda yüzey vibratörlerinin ya da tahta malaların kullanılması yüzey işlemlerinde dikkat edilmesi gereken hususlardandır. Yüzey işlemleri lifli betonda mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır (Uğurlu, 1994).

De Vos'a (1992) göre; bloklardan oluşan monolitik zeminlerin yapımında 1978 yılından beri, yapım kolaylığı ve ekonomikliği nedenleriyle çelik lifli betonların kullanımı artmıştır. Çelik lifli betonların endüstriyel zeminlerde kullanılmasının temel nedenini, bunların kolay döşenebilirliği ve çatlamaya karşı yüksek bir güvenlik değerine sahip olmalarında ve bu özellikleriyle klasik çelik çubuklu betonlara karşı iyi bir seçenek oluşturmalarında aramak gerekir.

1978 ile 1992 yılları arasında, çelik lifli betonların ilk kullanıldığı yıllarda, bir çok mükemmel özelliğe rağmen, zemin imal edenler aşağıdaki problemleri çözmek zorunda kalmışlardır:

- Beton karışımındaki ana kütlede liflerin uygun dağılımının sağlanması,
- Liflerin kirpi oku gibi yığılmalarını önlemek için dengeli dağılmanın sağlanması,

banda iletilmesi ve oradan da doğrudan karıştırıcı arabaya yüklenmesi mümkün olmuştur.

Monolitik beton zeminlerin yapımı esnasında liflerin yüzeyden dışarıya çıkması durumunda lif ya dışarı çekilmeli ya da içeriye bastırılmalıdır. Bu amaçla yüzeysel vibrasyon uygulanarak; hem liflerin, hem de iri taneli agregaların yüzeyden uzaklaşması sağlanabilir.

Kırmataş yerine doğal kum ve çakılın kullanılması liflerin yastıklanması açısından önem taşır ve tercih edilir. Çelik liflerin kullanılması ile çoğu kez problem yaratan çelik hasırların döşenmesine gerek kalmaz. Liflerin betona katılabilmesi için yeni inşaat araçlarının kullanımı gerekmektedir. Beton pompalarının yerine, düşük lastik havalı damperli araçlar ve doğrudan karıştırıcı araçlar kullanılabilir.

Wörner'e (1992) göre, sentetik organik lif katkıları özellikle aşağıdaki kullanım yerlerinde başarılı olmaktadır.

Bunlar; dinamik yüklenen yapı elemanları, yüksek mukavemetli (duruma göre yangın etkilerine dayanıklı) ve eğilme zorlamasına maruz, kalınlığı az yapı elemanları, cephe elemanları ve kabuk elemanlarıdır.

Ayrıca, akışkan geçirgenliği açısından zorlanan yapı elemanları; küvetler ve çevresinde kirlenme tehlikesi bulunan su kaynağı olan yapı tesisleri de sayılabilir.

Yukarıda sayılan kullanım yerleri haricinde sentetik organik lif katkıları pratikte aşağıda bahsedilen yerlerde de kullanılmaktadır:

- a) Çevre güvenliği istenen yerlerde malzemeleri koruyucu çeperlerin yapımı (2500 m² duvar yüzeyi, % 1.7 hacim oranında lif katkısı).

Karıştırma işlemi: Sırasıyla, kum, su, çimento, lifler ve kaba agrega katılarak karıştırılır.

- b) Köprü başlıkları (lif içeriği % 1 hacim oranı).

Karıştırma işlemi: Beton karışımına lifler ilave edilerek karıştırılır.

c) Çevreye akışkan madde sızdırmayan akışkan kaplarının yapımı (lif içeriği % 1 hacim oranı).

Karıştırma işlemi: Beton karışımına lifler ilave edilerek karıştırılır.

d) Mekanik olarak zorlanan su olukları (lif içeriği % 1 hacim oranı).

Karıştırma işlemi: En büyük tane iriliği 4 mm olan agregalı beton karışımına lifler mikser ile ilave edilerek karıştırılır.

e) Çelik çubuk kullanılmayan ana su depolarında sızdırmazlığı sağlamak için (lif içeriği % 1 hacim oranı).

Karıştırma işlemi: Beton karışımına lifler ilave edilerek karıştırılır.

f) Çelik çubuk kullanılmadan kat kat ön cephe yapımı (lif içeriği % 1 hacim oranı).

Karıştırma işlemi: Beton karışımına mikserde lifler ilave edilerek karıştırılır.

g) Endüstriyel zeminler (lif içeriği % 0.1-1 hacim oranı).

Karıştırma işlemi: Karıştırıcı tesisteki lif miktarına göre hazır beton karışımına lifler ilave edilerek karıştırılır. Sade karıştırıcı tesis için % 0.5-1 hacim oranında, hareketli karıştırıcıda % 0.1-0.5 hacim oranında katkı yapılır.

Arslan ve Aydın'a göre (1999 b), çelik lifli betonun düktilitesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre daha dayanıklıdır. Deprem oluşması olasılığı yüksek olan bölgelerde ve konutlar da dahil her türlü yapılarda kullanılması çok uygun olmaktadır. Çarpma rijitliği ve termal etkilere karşı dayanım istenen endüstriyel yapılarda; barajlar, kanallar, dinlendirme havuzları ve dolu savaklarda plak yerine veya kavitasyon hasarlarına karşı koymak için hidrolik yapılarında, normal plaklardan daha ince plak yapılması istendiği durumlarda havaalanları ve karayollarının yol kaplamasında, yüksek alüminli çimento kullanılan püskürtme beton Shotcrete (Şatkrit) uygulamalarında kullanılabilmektedir. Çelik lifli betonların püskürtme beton olarak kullanılabilmesi için özel makineler geliştirilmiştir.

Ekonomik açıdan erken yaşlarda prefabrik yapı elemanlarına dayanım kazandırmak için liflerin kullanılması; ısıtma işlem ve priz hızlandırıcılara göre daha avantajlı olmaktadır. Çünkü lifler; çatlak sayısı ve deplasmanı azaltmakta, çekme ve basınç dayanımında artış sağlamaktadır. Ayrıca, aderans artışı nedeniyle tokluk da

artmakta ve betonarme donatısı ile beraber kullanıldığında bazı davranış bozukluklarını önleyebilmektedir.

Halm'e (1992) göre; cam lifli püskürtme betonlar, daha çok büyük ve düzlemsel yapı elemanlarında kullanılır. Cam lifli püskürtme betonun kullanıldığı yere, Amerika ve Japonya'da yaygın olan ön cephe tarafından uygulanan süsleme çerçevesi "studframe" tekniği örnek olarak gösterilebilir. Bu teknikte geniş yüzeyli ve ince çeperli çelik lifli beton ön cephe elemanları bir çelik çerçeve aracılığı ile binaya tutturulur. Bu ince cam lif beton katlarının kullanılması, ön cephede ağırlığın belirgin bir şekilde düşmesini sağlar. Yüksek malzeme sünekliği nedeni ile cam lifli püskürtme betonların Japonya gibi ülkelerde ve deprem etkileri altında kalan bölgelerde kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Cam lifli püskürtme yönteminin değişik bir şekli de lifli harç işleme tekniğidir. Burada lüleden çıktıktan sonra cam lifle ince taneli betonun karışması işlemi yerine, bir tesiste ön karışım şeklinde ince liflerin karıştırıldığı kuru bir harcın hazırlanması işlemi gerçekleşir. Daha sonra bu süprüntü şeklindeki ön harca su ve bazı akışkan katkıları yapılarak karışım hazırlanır, hortum ve püskürtme lülesi ile istenen yüzeye püskürtülür.

Püskürtülerek elde edilen katın kalınlığı 1 ile 2 cm arasında bulunur ve tek işlemlerle püskürtme tamamlanır. Harç karışımı uygun bir kıvama ulaştığında çok iyi bir bağ oluşturur. Yırtılma ve çatlama riski azdır ve iyi bir sızdırmazlık özelliğine sahiptir. Bu özellikteki bir harç karışımı geri sıçramaz ve zemine iyi bir şekilde tutunur. Yöntemde sadece 12 mm'ye kadar boya sahip lifler kullanılabilir.

3. ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

3.1. Agregası

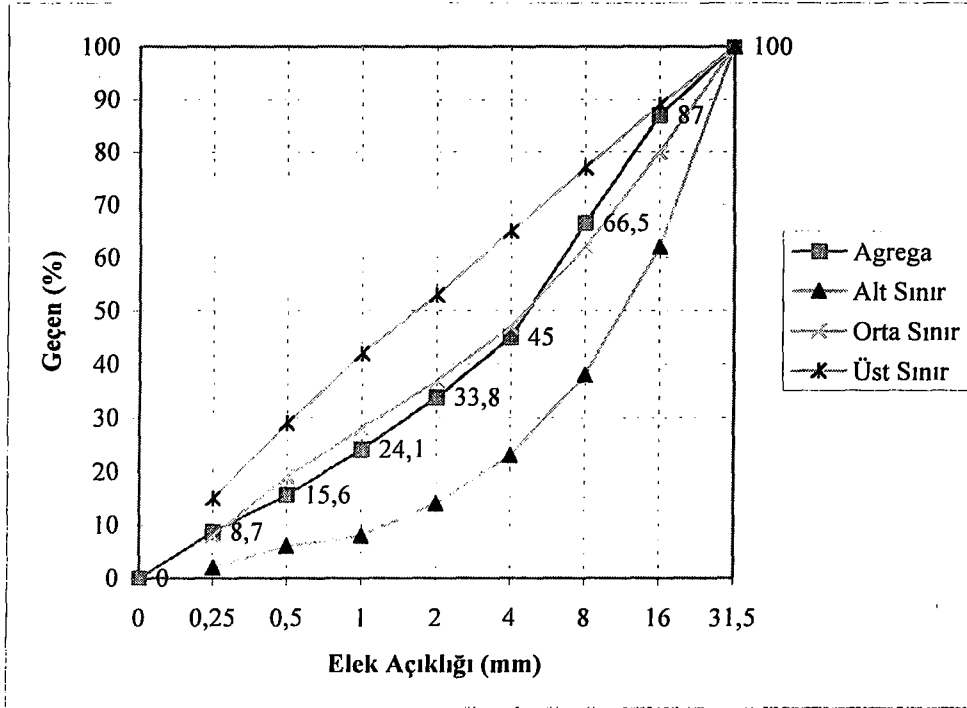
Deneylerde kullanılan agrega Gölyaka Koç Beton Firması'nın agrega tesislerinden elde edilmiş olup, özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. 0-0.5 mm (kırmataş tozu), 0.5-4 mm (doğal kum), 4-16 mm (doğal çakıl) ve 16-32 mm'lik (kırmataş) eleklerle göre dört grup farklı agrega malzemesi kullanılmıştır. Agreganın en büyük tane boyutu 22 mm'dir. TS 3529'a göre birim ağırlık ve TS 3526'ya göre özgül ağırlık deneyleri, agrega doymuş kuru yüzey (DYK) haldeyken yapılmıştır. Agreganın diğer bazı özellikleri de Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1 Kullanılan agreganın önemli özellikleri.

Agrega Cinsi	Elek Aralığı (mm)	Su Emme (%)	Özgöl Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)	Sıkışık Birim Ağırlık (kg/m ³)
Kırmataş Tozu	0-0.5	1.5	2620	1137	1363
Doğal kum	0.5-4	2	2650	1407	1557
Doğal çakıl	4-16	0.6	2700	1390	1563
Kırmataş	16-32	0.4	2700	1427	1577

Tablo 3.2 Kullanılan agreganın diğer bazı özellikleri.

Diğer İncelenen Özellikler	Deney sonucu
Aşınma (Los-Angeles, 500 Devir, (%))	9.73
Organik madde (Renk)	Açık sarı
Donma-çözülme kaybı (%)	0.05
Zararlı madde (%)	0.50



Şekil 3.1 Agreganın granülometri eğrisi.

Granülometri eğrisinde agrega malzemesinin TS 706'da verilen sınır değerler arasında kaldığı gösterilmiştir (Şekil 3.1.). Eğriye göre ve incelik modülü ($I.M.= 4.19$) hesabına göre, agrega genel olarak orta büyüklükte bir yapıya sahiptir.

3.2. Çimento

Çalışmada; Bolu Çimento Fabrikası ürünü ve Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Firması aracılığı ile temin edilmiş olan PÇ 42.5 çimentosu kullanılmış olup, analizleri aşağıda verilmiştir. Çimentolar, üretim tarihinden itibaren en fazla üç ay içinde tüketilmiş ve depolama şartlarına dikkat edilmiştir. Çimentonun genel özelliklerinin tümü Tablo 3.3'te belirtilmiştir.

Tablo 3.3 Deneylerde kullanılan çimentonun (PÇ 42.5) tüm özellikleri.

Kimyasal Bileşim	Değerler (%)
SiO ₂	20.03
Al ₂ O ₃	5.09
Fe ₂ O ₃	3.44
CaO	64.52
MgO	1.43
SO ₃	2.26
Na ₂ O	0.19
K ₂ O	0.65
Toplam Alkali	0.62
Cl-	0.007
Çözülmeyen Kalıntı	0.42
Kızdırma Kaybı	2.31

Çimentonun Ana Bileşenleri	Değerler (%)
C ₃ S	62.76
C ₂ S	10.11
C ₃ A	7.66
C ₄ AF	10.48

Modüller		Standart Değeri	
Modül Adı	Değerler (%)	En Az	En Çok
Silis Modülü	2.35	1.2	4
Hidrolik Modül	2.26	1.7	2.2
Kireç Modülü	0.77	0.66	1.02
Alümin Modülü	1.48	1	4

Fiziksel Özellikler	Değerler	Standart Değeri	
		En Az	En Çok
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.07		
Priz Başlangıcı (Saat)	02:55	01:00	-
Priz Sonu (Saat)	03:45		10:00
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3413	2800	
90 m Elek üstü (%)	0.5		
45 m Elek üstü (%)	6.6		
Hacim Genleşmesi (mm)	5	-	10

Süre	2 Gün	7 Gün	28 Gün
Basınç Dayanımı (MPa)	24.2	40.6	53.1

3.3. Çelik Lif

BEKSA Dramix Fabrikası'ndan (üretimi de aynı fabrikaya aittir) temin edilmiş olan (RC-80/60-BN) marka lif tellerinin uçları kancalı olup birbirlerine özel tutkalla yapıştırılmış ve demetler halinde standart torbalarında ambalajlanmıştır. "R" telin uçlarının kancalı, "C" birbirine yapışık olduğunu, 80 performans sınıfı veya narinlik oranını, 60 mm cinsinden uzunluğunu, "B" parlaklığını ve "N" düşük karbonlu olduğunu göstermektedir. Telin teknik özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Ayrıca, döküm için firma tarafından tavsiye edilen doz Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Çelik lif malzemenin teknik özellikleri

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik	Yoğunluk (kg/dm ³)	Elastisite Mod. (MPa)	Çekme Mukav. (MPa)	Kilogramdaki Lif Sayısı
RC-80/60-BN	60	0.75	80	7.48	200000	1100	4600

Tablo 3.5 Çelik lif malzemenin tavsiye edilen beton içine karıştırma dozajları.

Dozaj (kg/m ³)	Agrega Çapı (mm)		
	2/8	4/16	4/32
Dökme	70	60	45
Pompa	55	45	35

3.4. Cam Lifi

Kullanılan cam lifleri (Cem-Fil Anti-Crack: HP Fibre/ ARC 14 38 HP) 18 kg'lık kutular halinde ithal edilmektedir. Liflerin yapıları birbirlerinden bağımsızdır. Burada çelik liflerde olduğu gibi herhangi bir yapıştırma söz konusu değildir. ARC 14 38 HP'de; AR korozyona karşı cam lifler açısından önemli alkali dayanıklılığını, "C" sürekli flamanları, 14 mikron cinsinden flaman çapını, 38 ISO belgelendirme numarasını ve HP (yüksek performans) de üretim kodunu göstermektedir. Tablo 3.6'da lifin teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.6 Cam lifi malzemenin teknik özellikleri.

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (μ)	Narinlik	Yoğunluk (kg/dm ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Mukav. (MPa)	Kilogramdaki Lif Sayısı
HP Fiber	12	14	857	2.68	72000	1700	200 Milyon

3.5. Polipropilen Lif

Deneylerde, BEKSA Dramix Fabrikası'ndan ithal yolu ile temin edilmiş olan, Duomix F 20/5.1 malzemesi kullanılmıştır. 'F' liflendirilmiş olduğunu, 20 mm cinsinden uzunluğu, 5.1 de üretim tipi numarasını bize vermektedir. Piyasada (Avrupa'da) herbiri 0.9 kg ağırlıkta olan 11 veya 12 paketlik karton kutularda ve yine her biri 18 kutudan oluşan ambalajlarda bulunmaktadır. Tablo 3.7'de lifin teknik

özellikleri verilmiştir. Bunlara ek olarak malzeme su emmemekte ve azami 145 °C sıcaklığa kadar kullanılabilir.

Tablo 3.7 Polipropilen lif malzemenin teknik özellikleri.

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (μ)	Narinlik	Yoğunluk (kg/dm ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Mukav. (MPa)	Kilogramdaki Lif Sayısı
Duomix F20/5.1	20	50	400	0.91	3500-3900	320-400	82 Milyon

3.6. Mineral Katkı

Tablo 3.8 Akışkanlaştırıcı katkı malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Bileşim	Değerler (%)
SiO ₂	88-92
Al ₂ O ₃	0.40-1.10
Fe ₂ O ₃	0.50-1.50
CaO	0.40-0.90
MgO	0.90-1.30
K ₂ O	0.90-1.20
Na ₂ O	0.40-0.70
Cl-	0.01-0.05
C	0.80-2.00
S	0.15-0.30

Fiziksel Özellikler	Değerler
Durum	Kuru Toz
Renk	Açık gri
Özgöl ağırlık	2200 kg/m ³
Gevşek birim ağırlık	200-300 kg/m ³
Sıkışık birim ağırlık	500-700 kg/m ³
Yüzey alanı	16-25 m ² /g
Ortalama tane boyutu	0.15 mikron

Beton içinde silis dumanı bazlı süperakışkanlaştırıcı içeren toz halde beton katkı malzemesi (Sikacrete-PP1 HR); yoğunluk, dayanıklılık, dayanımı ve en önemlisi kıvamı artırmak için kullanılmıştır. Katkı; aktif silikon dioksit içermektedir. Bu, betonun sertleşme süreci boyunca, beton içinde hidrate olmuş çimento tanelerinin oranını, işlenebilirlik süresini ve durabiliteyi de artırabilmektedir. Özellikle su, klor ve zararlı gaz geçirimsizliğini, donma-çözülme etkilerine karşı dayanıklılığı artırmaktadır. Mineral katkıları etkisiyle; karbonasyon azalır, erken ve nihai mukavemetler

artmaktadır. Mineral katkıları korozif maddeler içermemektedir. Yukarıda, katkı malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir (Tablo 3.8).

3.7. Karışım Miktarları

Araştırmanın ana malzemesi olan betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı 20 MPa, sınıfı C 20'dir. Maksimum agrega çapı 22 mm olup, granülometri eğrisi TS 802'ye göre maksimum tane çapı 32 mm olarak değerlendirilmiştir. Hesaplama kabul edilen çökme miktarı, içinde lif kullanıldığından yüksek tutulmuş ve 13 mm kabul edilmiştir. Betonlar ve agregalar, tabloları kısaltmak ve kolaylık sağlamak amacı ile sembolize edilmiştir (Tablo 3.9 ve Tablo 3.10). 1 m³ beton karışımında kullanılmış olan malzemelerin kullanılan miktarları Tablo 3.11 ve Tablo 3.12'de belirtildiği gibidir.

Tablo 3.9 Betonların kısaltılmış sembolleri.

Sembol	Anlamı
K	Lifsiz kontrol betonu
S 0.5	Hacimce % 0.5 çelik lif içeriğine sahip beton
S 0.75	Hacimce % 0.75 çelik lif içeriğine sahip beton
S 1	Hacimce % 1 çelik lif içeriğine sahip beton
P	Hacimce % 0.1 polipropilen lif içeriğine sahip beton
G	Hacimce % 0.5 cam lif içeriğine sahip beton
SP 0.5	Hacimce % 0.5 çelik lif ve % 0.1 polipropilen lif içeriğine sahip beton
SP 0.75	Hacimce % 0.75 çelik lif ve % 0.1 polipropilen lif içeriğine sahip beton
SP 1	Hacimce % 1 çelik lif ve % 0.1 polipropilen lif içeriğine sahip beton
SG 0.5	Hacimce % 0.5 çelik lif ve % 0.1 cam lif içeriğine sahip beton
SG 0.75	Hacimce % 0.75 çelik lif ve % 0.1 cam lif içeriğine sahip beton
SG 1	Hacimce % 1 çelik lif ve % 0.1 cam lif içeriğine sahip beton

Tablo 3.10 Betonları kısaltılmış sembolleri.

Sembol	Anlamı
FA1	İnce Agregası (kırmataş tozu)
FA2	İnce Agregası (doğal dere kumu)
CA1	İri Agregası (doğal dere çakılı)
CA2	İri Agregası (kırmataş)

Tablo 3.11 Beton karışımında kullanılan malzemelerin numune tipine ve TS 802'ye göre hesap edilmiş hacim değerleri.

Beton	Betonda Kullanılan Malzemelerin Numune Tipine Göre Hacimleri (dm ³)											
Numune Tipi	Lifler			Su	Çimento	Agrega				Kimyasal Katkı	Tahmini Sık.Hava	Toplam Hacim
	S	P	G			FA1	FA2	CA1	CA2			
K	0	0	0	181	91.82	110.83	208.87	298.38	92.36	6.74	10	1000
S 0.5	5	0	0	181.09	91.87	110.03	207.36	296.22	91.69	6.75	10	1000
S 0.75	7.5	0	0	181.23	91.93	109.60	206.56	295.09	91.34	6.75	10	1000
S 1	10	0	0	181.41	92.03	109.17	205.74	293.92	90.97	6.76	10	1000
P	0	1	0	181.43	92.04	110.57	208.38	297.69	92.14	6.76	10	1000
G	0	0	1	181.44	92.04	110.57	208.37	297.68	92.14	6.76	10	1000
SP 0.5	5	1	0	181.55	92.10	109.76	206.85	295.51	91.47	6.76	10	1000
SP 0.75	7.5	1	0	181.71	92.18	109.33	206.05	294.35	91.11	6.77	10	1000
SP 1	10	1	0	181.91	92.28	108.89	205.22	293.18	90.74	6.78	10	1000
SG 0.5	5	0	1	182.02	92.33	109.65	206.64	295.20	91.37	6.78	10	1000
SG 0.75	7.5	0	1	182.17	92.41	109.22	205.84	294.05	91.02	6.79	10	1000
SG 1	10	0	1	182.37	92.51	108.78	205.01	292.87	90.65	6.79	10	1000

Tablo 3.12 Beton karışımında kullanılan malzemelerin numune tipine ve TS 802'ye göre hesap edilmiş ağırlık değerleri.

Beton	Betonda Kullanılan Malzemelerin Numune Tipine Göre Ağırlıkları (kg)										
Numune Tipi	Lifler			Su	Çimento	Agrega				Kimyasal Katkı	Toplam Ağırlık
	S	P	G			FA1	FA2	CA1	CA2		
K	0	0	0	181	281.89	290.37	553.50	805.64	249.36	14.84	2376.59
S 0.5	37.4	0	0	181.09	282.03	288.27	549.50	799.81	247.56	14.84	2400.49
S 0.75	56.1	0	0	181.23	282.24	287.16	547.39	796.73	246.61	14.85	2412.31
S 1	74.8	0	0	181.41	282.52	286.03	545.22	793.58	245.63	14.87	2424.06
P	0	0.91	0	181.43	282.55	289.69	552.21	803.76	248.78	14.87	2374.19
G	0	0	2.68	181.44	282.58	289.68	552.19	803.72	248.77	14.87	2375.94
SP 0.5	37.4	0.91	0	181.55	282.75	287.57	548.16	797.86	246.96	14.88	2398.04
SP 0.75	56.1	0.91	0	181.71	282.99	286.45	546.03	794.76	246.00	14.89	2409.83
SP 1	74.8	0.91	0	181.91	283.30	285.30	543.84	791.57	245.01	14.91	2421.55
SG 0.5	37.4	0	2.68	182.02	283.47	287.28	547.60	797.05	246.71	14.92	2399.12
SG 0.75	56.1	0	2.68	182.17	283.71	286.16	545.47	793.95	245.75	14.93	2410.91
SG 1	74.8	0	2.68	182.37	284.02	285.01	543.28	790.76	244.76	14.95	2422.63

4. BETON ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI

Araştırmada taze ve sertleşmiş beton için yapılan deneyler ve deney programı araştırma programı kapsamında verilmiştir.

4.1. Araştırma Programı

Araştırmanın amacı doğrultusunda, kullanım miktarları daha önce 3. bölümde verilmiş olan çelik, polipropilen, cam, çelik+polipropilen ve çelik+cam lifli betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Araştırma programı Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloda görüleceği gibi deney yöntemleri ve numune sayısı işlenmiş, kullanılan standart deney yöntemleri ve diğer yöntemler de ilgili bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Her deney için karışımlar ve deney numuneleri dikkatli ve kısa sürede hazırlanmış, laboratuvar şartları, zaman ve insan faktörlerinin sonuçları değiştirecek etkilerinin bütün karışımlar için değişmez tutulmasına çalışılmıştır.

Deneysel çalışmalar; Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Laboratuvarı’nda ve Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü Laboratuvarında yürütülmüştür. Röntgen çekimleri, Düzce Tıbbi Görüntüleme Merkezi’nde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1 Deneysel araştırma programı.

Araştırılan Özellik	Deney Yöntemi	Karışım Sayısı	Her karışımdaki Numune Sayısı ve Boyutu
---------------------	---------------	----------------	---

AGREGA			
Birim Ağırlık	TS 3529	-	Her karışımdan bir deneme
Özgül Ağırlık	TS 3526	-	Her karışımdan bir deneme
Su Emme	TS 3526	-	Her karışımdan bir deneme
Aşınma	TS 3694	-	Her karışımdan bir deneme

TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON			
Vebe	TS 3115	12	Her karışımdan üç deneme
Birim Ağırlık (Taze Beton)	TS 5931	12	Her karışımdan üç deneme
Görünür Özgül Ağ.(kg/m ³)	TS 3624	12	Her karışımdan üç deneme
Su Emme (%)	TS 3624	12	Her karışımdan üç deneme
Görünür Boşluk Oranı (%)	TS 3624	12	Her karışımdan üç deneme
Basınç Dayanımı	TS 3114	12	150x150x150 mm Küp x 3
Ultrasonik Ses Hızı	-	12	150x150x150 mm Küp x 3
Elastisite Modülü ve Poisson Oranı	TS 3502	12	150x300 mm Silindir x 3
Eğilme Dayanımı	TS 3284, TS 10515	12	150x150x500 mm Prizma x 3
Tokluk (Enerji Emme Kapasitesi)	TS 10515	12	150x150x500 mm Prizma x 3
Darbe Dayanımı	ÖZEL	12	100x100x100 mm Küp x 3
Yorulma Dayanımı	ÖZEL	12	100x100x100 mm Küp x 3
Rötre	TS 3322	12	100x100x300 mm Prizma x 6
Donma-Çözülme	ASTM C666, ÖZEL	12	80x80x360 mm Prizma x 3
Sıcaklığa Dayanıklılık	ÖZEL	12	100x100x100 mm Küp x 12

RÖNTGEN İLE LİF DAĞILIMI İNCELEMESİ			
X-Işını	ÖZEL	4	150x50 mm Silindir x 5, 150x300 mm'lik yarım silindir 100x100 mm küpx3

4.2. Taze Beton Deneyleri

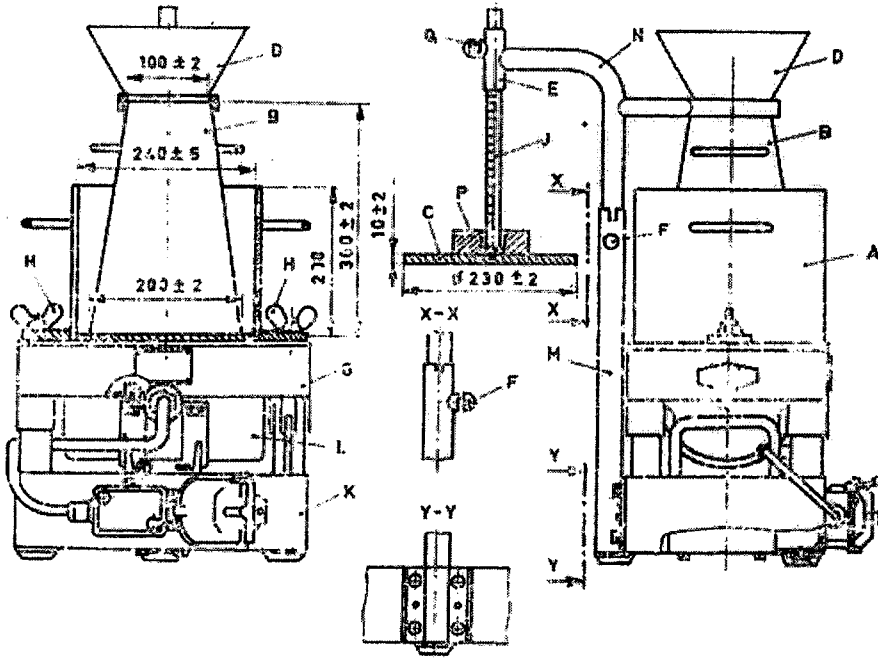
4.2.1. Birim ağırlık ve Kıvam

4.2.1.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Taze betonun vazgeçilmez ve çok önemli özellikleri olan kıvam ve birim ağırlık tespiti yapılmıştır. Kıvam TS 3115'te verilen Vebe metodu ile betonlar kalıplara dökülmeden önce, birim ağırlıklar da 150x150x150 mm'lik kalıplara doldurularak ve üç numune ortalamasına bakılarak bulunmuştur. Deneyler; Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Laboratuvarı'nda ve Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Birim ağırlıklar, basınç deneyi için hazırlanan beton numunelerden TS 5931'e uygun olarak bulunmuştur. Bu numuneler standart ve yüzeyi düzgün metal kalıplar içinde üretilmiştir.

Lifli betonlarda Slump deneyi pek olumlu sonuç vermediğinden; çalışmada, literatürlerde özellikle tavsiye edilen Vebe metodu kullanılmıştır. Aslında Slump metodunun iyi sonuç vermemesinin sebebi liflerin taze betonu birarada tutması ve kıvamı yanıltıcı bir değerden (daha düşük çökme) vermesidir. Bu olay, deney yapılarak gözlemlenmiş, çökme miktarı hesapta 130 mm alınmasına rağmen liflerin Slump değerini oldukça fazla etkilediği anlaşılmıştır. Deney için gerekli olan Vebe tespit cihazı (Fotoğraf 4.1, Şekil 4.1) ve bir kronometre temin edilmiştir.



Şekil 4.1 Vebe deney cihazı.



Fotoğraf 4.1 Laboratuardaki Vebe deney cihazının görünüşü.

4.2.1.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Birim ağırlık tespiti için, kalıplar dökümden önce ve beton üç kademede sıkıştırılarak doldurulduktan sonra tartılmıştır. Kalıpların tam dolu olmasına ve betonun üstten taşmamasına dikkat edilmiştir. Numune ağırlığı kap hacmine bölünerek birim ağırlıklara ulaşılmıştır. Aşağıda taze beton birim ağırlığının bulunuş formülü verilmiştir.

$$\gamma_{bt} = \frac{W_{bk} - W_{kap}}{V_{kap}}$$

Vebe deneyi için Şekil 4.1'de D hunisi vasıtasıyla B kesik konisine taze beton üç kademeli ve sıkıştırılarak doldurulmuş ve D hunisi çekilerek yüzeyi düzeltilmiştir. Daha sonra B kesik konisi de çekilerek, C disk, F ve J vidaları ile J çubuğu yardımı ile beton yüzeyine temas edecek şekilde ayarlanmıştır. Vibrasyon masası titreşime başladığı anda kronometre çalıştırılmış ve bitiş anında saniye değeri ile J çubuğundaki çökme değeri okunmuştur.

Tablo 4.2 Taze beton numunelerin birim ağırlık ve kıvam özellikleri

Beton Cinsi	Sıkışık birim Ağırlık (kg/m ³)	Vebe Süre (sn)	Vebe Çökme (mm)
K	2376.59	2.2	136
S 0.5	2400.49	2.9	121
S 0.75	2412.31	5.3	105
S 1	2424.06	7.4	95
P	2374.19	2.3	135
G	2375.94	2.6	130
SP 0.5	2398.04	3.2	113
SP 0.75	2409.83	5	97
SP 1	2421.55	8.2	90
SG 0.5	2401.12	4.3	95
SG 0.75	2413.91	8.8	87
SG 1	2422.63	9.5	80

Birim ağırlık ve Vebe deneyleri yapılarak, her numune için bulunan değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

4.2.1.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

Tablo 4.2’de görüldüğü gibi özgül ağırlığı betondan çok daha fazla olan çelik liflerin betona karışım miktarları arttıkça, betonun birim ağırlığı da artmıştır. Betona göre daha hafif olan polipropilen lifler birim ağırlığı azaltmakta, ama betona fazla katılmadıkları için bu azalma düşük olmaktadır. Cam lifi özgül ağırlık olarak betondan çok farklı olmadığından, varlığı ağırlığa çok az tesir etmiştir. Liflerin karışık kullanımları da tek başlarına kullanımlarına paralel bir etki yapmakta, yani betonun birim ağırlığını kendi özgül ağırlıklarına bağlı olarak etkilemektedir.

Vebe sürelerine bakıldığında, değerlerin hacimsel çelik lif artışına paralel olarak arttığını görülmektedir. Bu da, liflerin işlenebilirliği azaltmasından kaynaklanmaktadır. Polipropilen lifler Vebe süresini pek etkilememekle beraber, biraz artırmıştır. Cam lifler Vebe süresini artırmıştır, ama yine de bu artışın yüksek olmadığı açıktır. Vebe çökme değerleri Vebe süreleri ile genel olarak paralellik arz etmektedir.

4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

4.3.1. Özgül ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı

4.3.1.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Sertleşmiş betonun ilk tespit edilmesi gereken özellikleri olan; görünür özgül ağırlık, su emme ve görünür boşluk oranı tayini deneyleri TS 3624'e göre yapılmıştır. Bu özellikler bulunmadan önce, numuneler 105 °C sıcaklığa sahip etüvde kurutulmuş (W_k) ve daha sonra soğutularak 24 saat suda bekletilmiştir. Yüzey ıslaklığı alınarak tartılan numuneler (W_{dyk}), suda tekrar tartılmıştır (W_{sa}). Deneyler, Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Laboratuvarı'nda ve Düzce Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

4.3.1.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Betonda görünür özgül ağırlık (γ_g), kuru ağırlığın (W_k), dolu hacme (V_d) bölünmesi ile elde edilmektedir. Fakat, dolu hacme ulaşmak için burada ağırlıkların kullanılması gerekir. Betonun doymuş kuru yüzeyli halindeki ağırlığından (W_{dyk}), sudaki ağırlığı (W_{sa}) çıkarıldığında aradaki fark bize betonun hacmini verir. Çünkü, burada suyun kaldırma kuvveti (F_s), batan kısmın hacmi (V_{bat}) ile suyun özgül ağırlığının (γ_{su}) çarpımına eşittir. Bu birim ağırlık ve özgül ağırlığın ayrıldığı noktadır. Eğer, birim ağırlık bulunmak istenirse bu hacim aynen kullanılır, ama özgül ağırlığın bulunabilmesi için bu hacimden boşluk hacminin (V_b) çıkarılması gerekir. Ağırlıklar kullanılarak dolu hacme ulaşabilmek için de, kuru ağırlıktan suda ölçülen ağırlığın çıkarılması yeterlidir.

$$F_s = V_{bat} \times \gamma_{su} \Rightarrow F_s = V_{bat}$$

$$V_{bat} = V$$

$$F_s = W_{dyk} - W_{sa}$$

$$V = W_{dyk} - W_{sa}$$

$$V_b = W_{dyk} - W_k$$

$$V_d = V - V_b$$

$$V_d = W_{dyk} - W_{sa} - (W_{dyk} - W_k) = W_k - W_{sa}$$

$$\gamma_g = \frac{W_k}{W_k - W_{sa}}$$

Betonun su emme oranı (m_1); emilen su miktarı, kuru ağırlığa bölünerek bulunabilir. Emilen su miktarı; doymun kuru yüzey ağırlıktan, kuru ağırlık çıkarılarak bulunur. Emilen su miktarı, % cinsinden elde edilir.

$$m_1 = \frac{W_{dyk} - W_k}{W_k} \times 100$$

Görünür boşluk oranını (B_o) bulmak için; betonun boşluk hacminin tüm hacme oranlanması gerekir. Boşluk hacminin ve tam hacmin yukarıdaki ifadelerde suyun kaldırma kuvveti yardımıyla ağırlık cinsinden nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Görünür boşluk oranı da % cinsinden ifade edilebilmektedir.

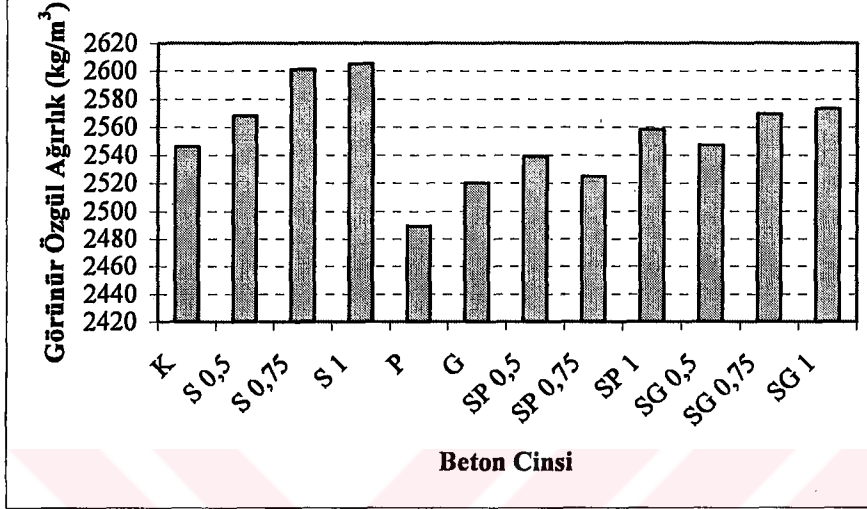
$$B_o = \frac{W_{dyk} - W_k}{W_{dyk} - W_{sa}} \times 100$$

Tablo 4.3 Sertleşmiş beton numunelerin özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı özellikleri.

Beton Cinsi	Görünür Özgül Ağ. (kg/m ³)	Su emme (%)	Görünür Boşluk Oranı (%)
K	2546	6.51	14.23
S 0.5	2567.75	6.37	14.05
S 0.75	2600.96	5.72	12.96
S 1	2605.08	5.58	12.68
P	2489.25	5.53	12.10
G	2520.04	5.39	11.95
SP 0.5	2539.02	6.01	13.27
SP 0.75	2524.83	6.21	13.75
SP 1	2558.13	5.82	13.03
SG 0.5	2547.18	5.89	13.01
SG 0.75	2569.10	5.12	11.45
SG 1	2573.05	5.29	11.91

Formüllerden elde edilen veriler, tüm numuneler için bulunarak, tablo haline getirilmiştir (Tablo 4.3).

4.3.1.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

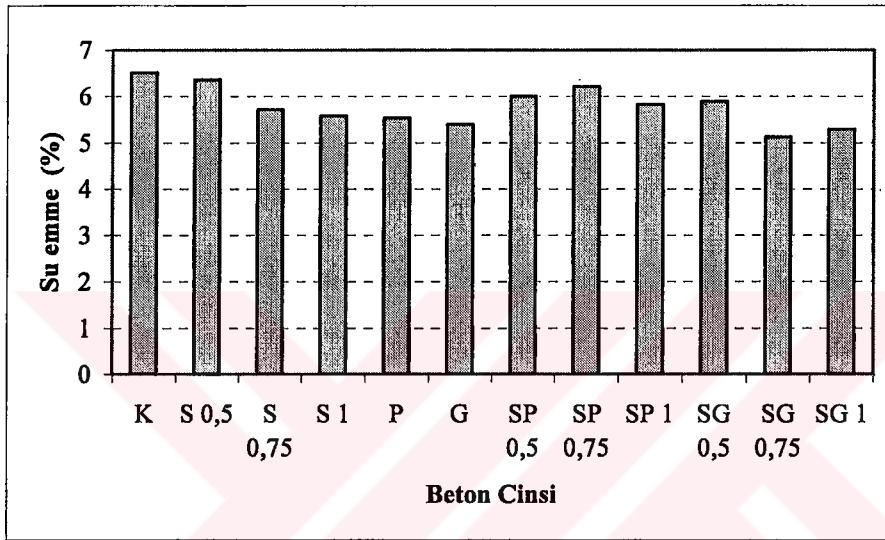


Şekil 4.2 Beton numunelerin görünür özgül ağırlıkları.

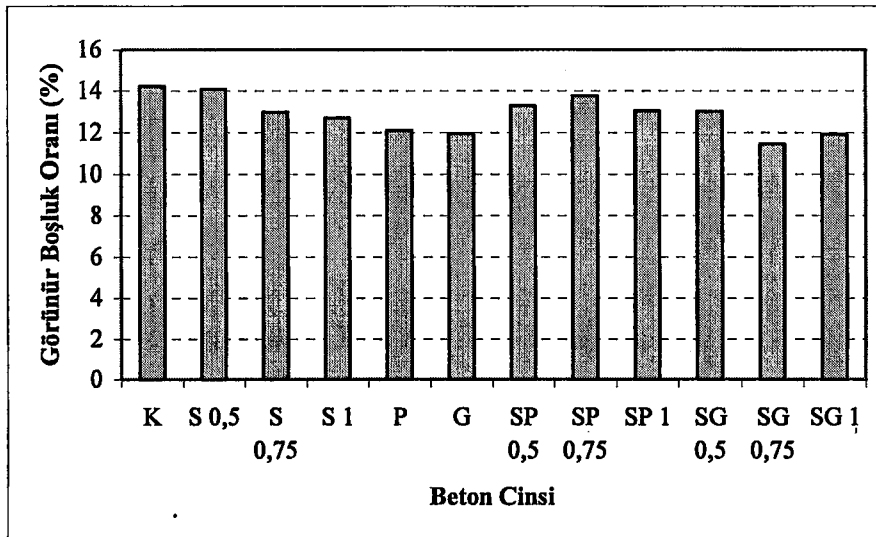
Şekil 4.2’de görüldüğü gibi numunelerin görünür özgül ağırlıkları lif özgül ağırlıkları ve miktarları ile doğru orantılıdır. En yüksek değerleri çelik lifli betonlar vermiştir. Polipropilen ve cam liflerinin beton ağırlığını düşürdüğü görülmüştür. Cam liflerin özgül ağırlıklarının kontrol betonundan biraz daha yüksek olmasına rağmen, cam lifli betonun sudaki ağırlığının daha düşük olmasından dolayı görünür özgül ağırlığı da daha düşük çıkmıştır. Cam liflerin suyu yüzeylerinde tutmamasının ve suyu itici etkisinin bunda rolü büyüktür.

Çelik lif miktarı arttıkça, numunelerin su emme ve boşluk miktarı, kuru ağırlığın yükselmesi nedeniyle düşmektedir (Şekil 4.3, Şekil 4.4). Ayrıca, betondaki su emme miktarını; çelik liflerin su emmemesi ve yüzeylerinde fazla su tutmaması düşürücü, lif-beton arayüzündeki boşluklar ise artırıcı yönde etkilemektedir. Cam lifler, polipropilen liflere göre hacme düşen kilogram miktar açısından daha ağırdırlar ve ağırlık başına düşen lif sayısı da cam lifli betonda fazladır. Polipropilen liflerin

yüzeylerinde cam liflerine nazaran daha fazla su tuttukları görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı cam lifli betonlar daha az su emerler. Betonların su emme ve görünür boşluk oranı değerleri de görüldüğü gibi paralel artmaktadır. Liflerin karışık kullanıldığı betonlarda, sadece çelik lif kullanılmış betonlara göre su emme ve boşluk oranı yönünden pek değişiklik olmamaktadır.



Şekil 4.3 Beton numunelerin su emme yüzdeleri.



Şekil 4.4 Beton numunelerin görünür boşluk oranları.

4.3.2. Basınç Dayanımı

4.3.2.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Betonun basınç dayanımı tespiti 150x150x150 mm'lik küp numuneler üzerinde TS 3114'e uygun olarak yapılmış; bu numunelerin 3, 7, 28 ve 90 günlük dayanımları üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Deneyler, Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

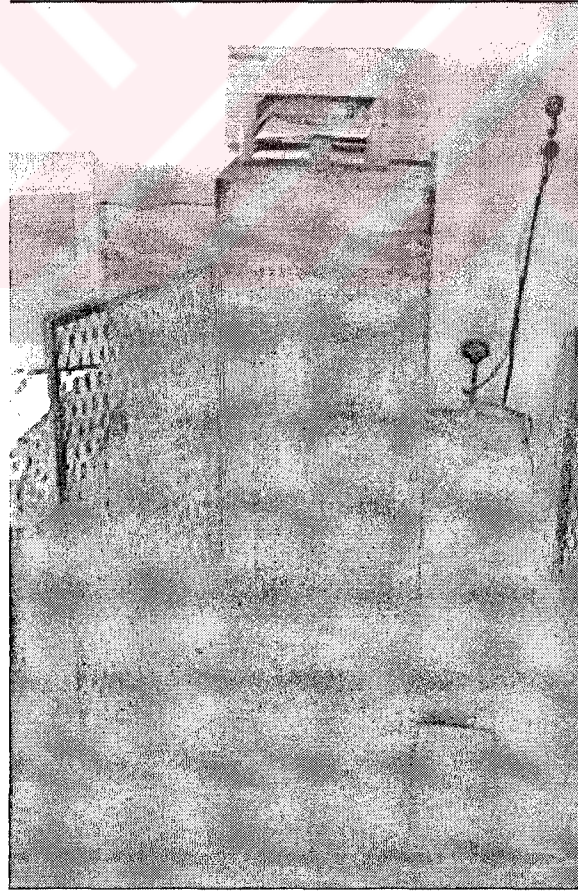
Numuneler standart ve yüzeyi düzgün metal kalıplar içerisinde üretilmiştir. Dökümden önce kalıp yüzeyleri betonun yapışmasını önlemek için yağlanmıştır. Numuneler mikserde sırasıyla agrega, çimento, su ve lifler karıştırılarak üretilmiş; bu işlem üç kademeli olarak ve her kademedede 25 kez şişlenerek uygulanmıştır. Kalıp, tam doldurulduktan sonra boşluk kalmaması için, vibrasyon masasında 10 sn daha bekletilmiştir. Vibrasyondan sonra, kalan boşluk tekrar beton ile doldurulmuş ve yüzeyi mala ve spatula ile düzeltilmiştir.

Numuneler 24 saat kalıp içinde bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak su içine konmuştur. Yukarıda belirtilen sürelerde bekletilen betonlar sudan çıkarıldıktan sonra, yüzeyleri bezle kurulanmış ve iyice kuruması beklenerek, kırılmaya hazır hale getirilmiştir.

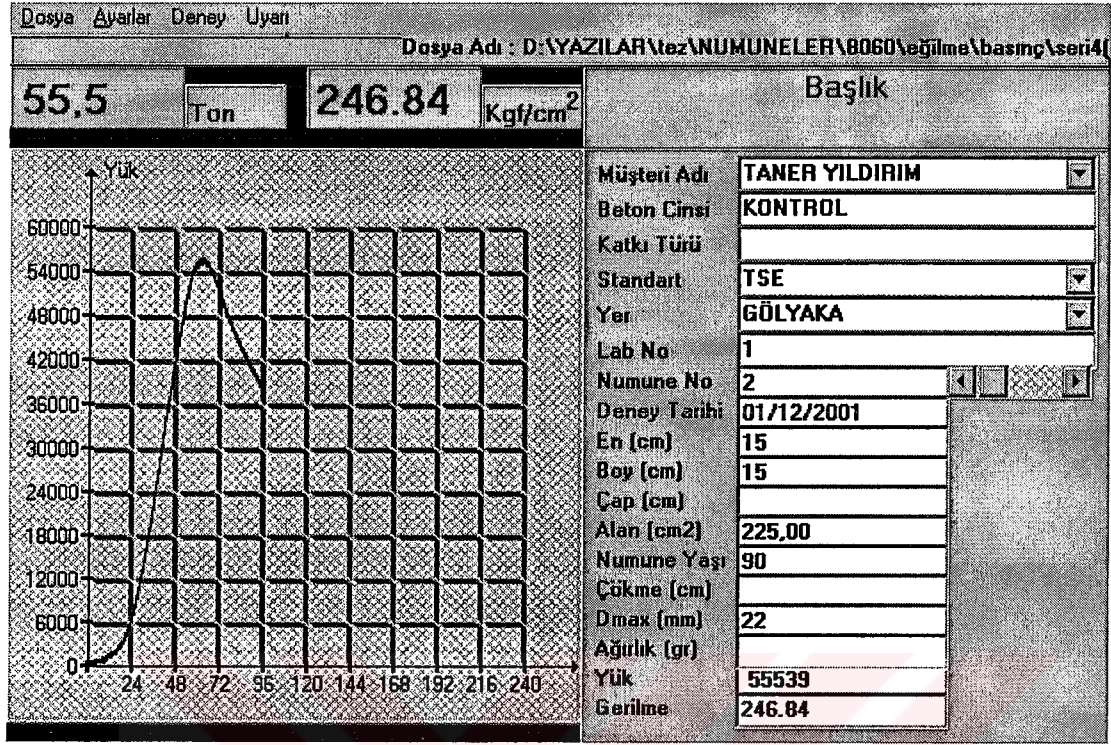
Deney cihazı bilgisayar kontrollü olarak çalışmaktadır. Numuneler, deney cihazının çeneleri arasına yan yüzeyleri alt ve üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca, yüklemeye başlamadan önce ani yükleme durumunu önlemek için, cihazın çenelerinin numune üzerine tam temas etmesi sağlanmıştır.

4.3.2.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

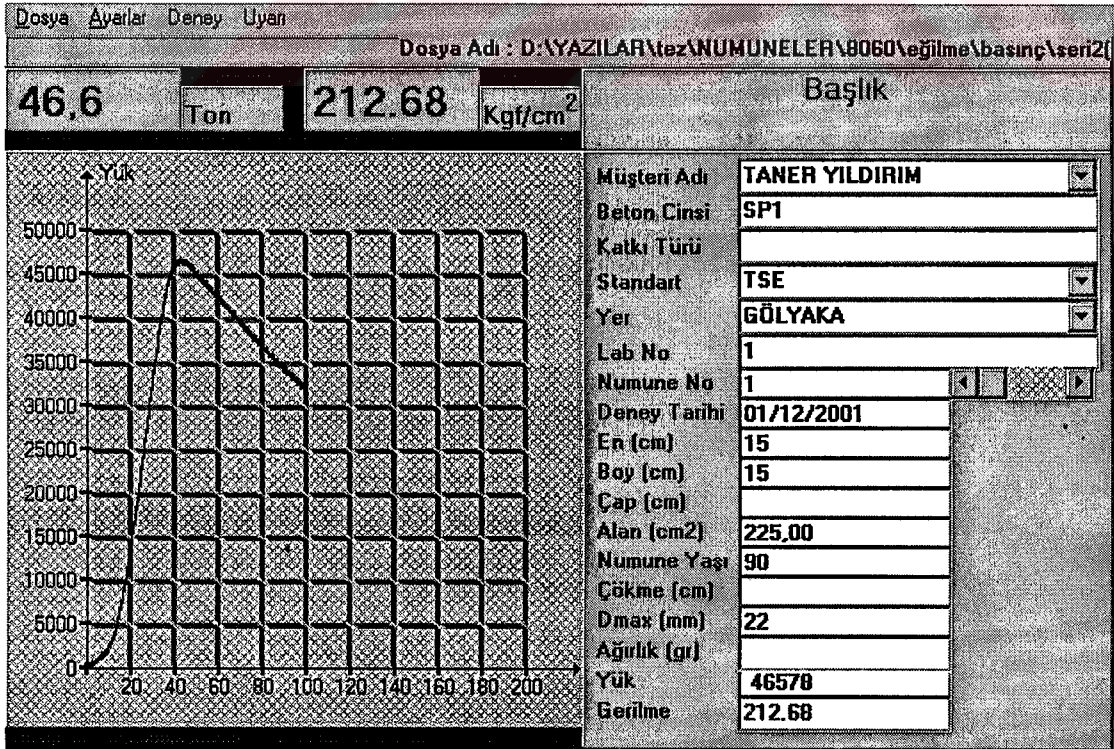
Numuneler 1 kg/cm²'lik sabit yük altında kırılarak, basınç dayanımları ve eğrileri elde edilmiştir (Fotoğraf 4.2). Numunelerdeki kısılma miktarları geyç kullanılarak bulunmuştur. 90 gün suda bekletilmiş bir kontrol betonu ve çelik+polipropilen lifli (SP1) beton için, basınç dayanımı deneyi sonucu elde edilmiş grafikler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görülmektedir. Prese bağlı bilgisayar programının çizdiği eğrinin yatay eksenini birim kısılma miktarını göstermemekle beraber, düzenli artmakta ve birim kısılma ile ilişkilendirilebilmektedir (Geyç ile üç ölçüm yapılarak, aralıklara karşılık gelen birim kısılma miktarı da tespit edilmiştir). Düşey eksen basınç yükünü göstermekte ve bu yük değerlerinin tamamı için bilgisayar tarafından başka programlara aktarılabilir bir metin dosyası oluşturmaktadır.



Fotoğraf 4.2 Numunelerin basınç dayanımlarının bilgisayara bağlı pres ile tespiti.



Şekil 4.5 90 gün suda bekletilmiş bir kontrol betonunun basınç deneyi grafiği.



Şekil 4.6 90 gün suda bekletilmiş bir çelik+polipropilen lifli (SP 1) betonunun basınç deneyi grafiği.

Tüm numuneler kırıldıktan sonra tablo haline getirilmiştir. Tablo 4.4'te 3, 7, 28 ve 90 günlük tüm numunelerin basınç dayanımları (üç numune ortalaması) verilmektedir.

Tablo 4.4 150x150x150 mm'lik beton deney numunelerinin basınç dayanımı sonuçları.

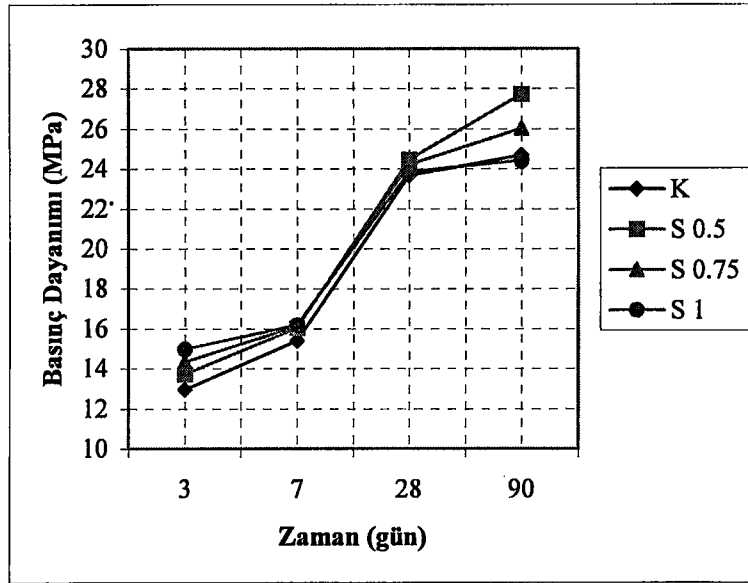
Beton Cinsi	Basınç Dayanımı (Mpa)			
	3 Gün	7Gün	28Gün	90 Gün
K	12.95	15.4	23.64	24.68
S 0.5	13.73	16.03	24.47	27.74
S 0.75	14.33	16.12	24.2	26.04
S 1	14.96	16.2	23.86	24.43
P	13.54	14.97	22.19	23.84
G	14.95	15.99	24.36	26.79
SP 0.5	11.56	14.51	22.96	24.26
SP 0.75	12.89	15.46	21.6	22.65
SP 1	13.34	16.88	21.06	22.93
SG 0.5	14.52	15.52	24.08	24.78
SG 0.75	14.64	15.6	22.97	24.04
SG 1	15.9	16.44	23.09	23.57

4.3.2.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

Basınç deneyi sonunda oluşan eğriler kontrol betonu ve lifli betonlar için pek farklı değildir. Yalnızca, lif oranı arttıkça numunelerin genellikle daha fazla deformasyon yaparak kırıldığı görülmüştür. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 incelenecek olursa, aradaki farkın daha iyi anlaşılması mümkündür. Burada, programın önceden yapılmış olan kalibrasyon ayarlarından dolayı eğrilerin devamı elde edilememiştir, ama daha önceki literatür taramalarından eğrilerin ne şekilde devam edeceği tahmin edilebilmektedir.

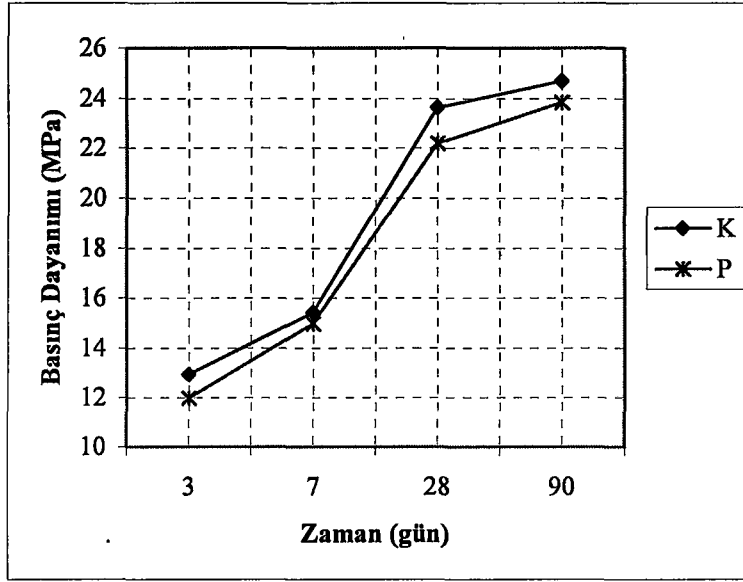
Liflerin basınç dayanımı açısından sağladığı diğer avantajlar, Poisson oranının fazla olması ve matrisin bir bütün halinde kalarak kırılmadan sonra dağılmamasıdır. Poisson etkisi; ayrıca deneyleri yapılarak ele alınmıştır. Kırılma esnasında, matrisin dağılma miktarının; lif miktarı ve uzunluğuna bağlı olduğu anlaşılmıştır. Lif miktarı ve uzunluğu arttıkça, çatlakların oluşum hızı ve büyümesi yavaşlayarak, dağılma gecikmiştir. Kontrol numunelerinde çatlak oluşuktan sonra bu çatlakların hemen büyüyerek çabuk kırılmaya yol açtığı görülmüştür.

Deneylerde kullanılan çelik liflerin narinlikleri yüksek olduğundan basınç altında dağılma çok gecikmiştir. Cam liflerinde hacme düşen lif sayısının ve narinlik oranının polipropilen life göre fazla olması bu açıdan avantaj sağlamıştır.



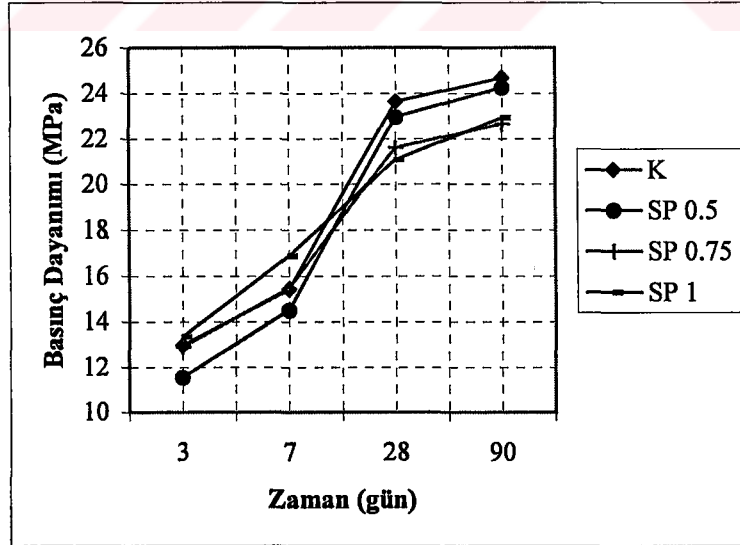
Şekil 4.7 Kontrol betonu ile çelik lifli betonların basınç dayanım grafikleri.

Şekil 4.7’de çelik liflerin 3, 7, 28 ve 90 günlük betona olan etkileri görülmektedir. Betonda ilk günlerde çelik lif etkisiyle dayanım artışı görülmekte ve lif miktarı arttıkça dayanım da artmaktadır. Bu olayda, ilk günlerde matrisin zayıflığının da etkisi vardır. 7 günde değerler birbirine yaklaşmış ve 28. günde benzer şekilde devam etmiştir. Fakat, 28 günlük betonlarda lif miktarının % 0.5 olmasının daha fazla avantaj sağladığı ve lif miktarı arttıkça dayanımın düştüğü anlaşılmaktadır. % 1 oranında lifli numunelerde dayanım kontrol betonu ile aynı mertebeye gelmiştir. 90 gün gibi ileriki yaşlarda 28 günlük durumdaki gelişmeler daha belirgin hale gelmiş, hatta % 1 çelik lif içeren numuneler kontrol betonuna göre dezavantajlı duruma gelmiştir. Daha önceki literatür bilgilerine dayanarak, kullanılan çelik liflerin narinliğinin yüksek oluşu sebebiyle, hacimsel lif yüzdesinin % 0.5’ten yüksek oluşunun basınç açısından olumlu bir etki yapmadığı sonucuna varılmıştır.



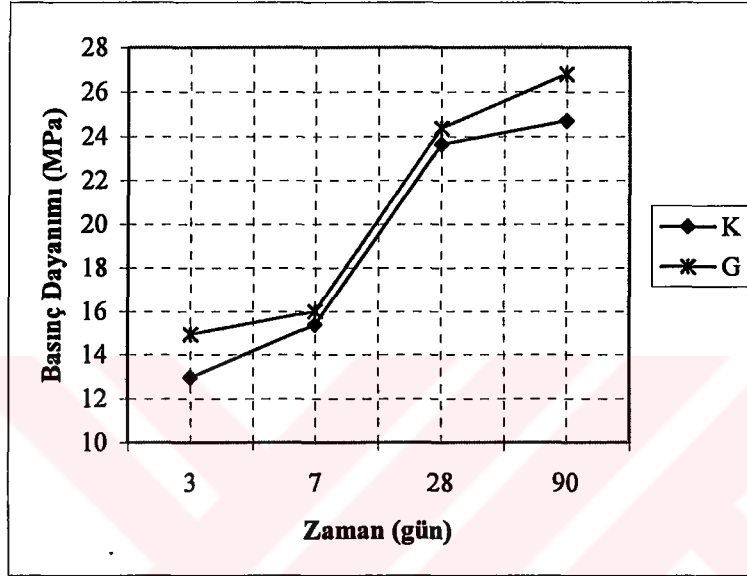
Şekil 4.8 Kontrol betonu ile polipropilen lifli betonların basınç dayanım grafikleri.

Şekil 4.8’de polipropilen lifli beton eğrisinin tüm grafikte kontrol betonu eğrisi ile paralel gittiği, fakat 3. günden itibaren daha düşük değerler aldığı açıkça görülmektedir.



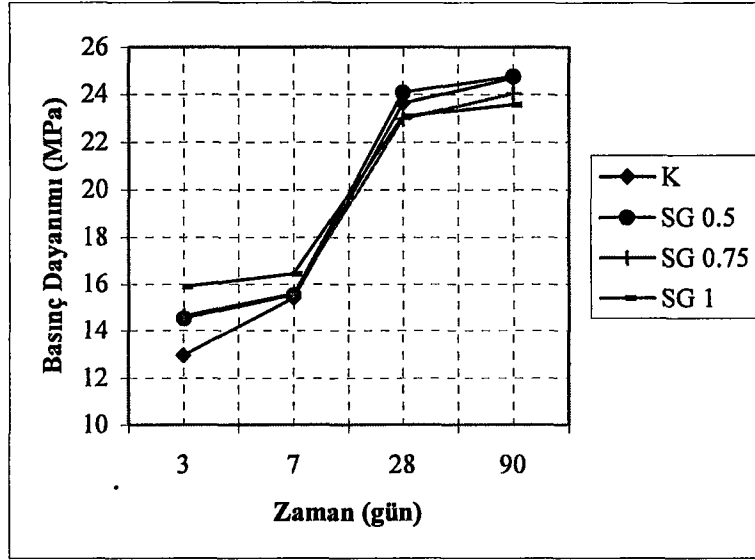
Şekil 4.9 Kontrol betonu ile çelik+polipropilen lifli betonların basınç dayanım grafikleri.

Çelik+polipropilen liflerin basınç dayanımı eğrilerinin görüldüğü Şekil 4.9'da 3 günlük ve 7 günlük lifli betonlar da lif miktarı arttıkça dayanım da artmıştır, ama 28 ve 90 günlük betonlarda lif miktarı artışına paralel olarak dayanım azalmıştır. Kontrol betonu 28 ve 90 günlük betonlar arasında en yüksek düzeydedir.



Şekil 4.10 Kontrol betonu ile cam lifli betonların basınç dayanım grafikleri.

Şekil 4.10'da cam liflerinin betona dayanım açısından olumlu etki yaptığı ve bu etkinin tüm grafikte devam ettiği görülmektedir. 90 günlük betonda da dayanımın kontrol betonundan yüksek oluşu, cam lifinin zirkonyum içeriği ile alkali saldırılarına karşı güçlendirilmiş olmasına bağlanabilir.



Şekil 4.11 Kontrol betonu ile çelik+cam lifli betonların basınç dayanım grafikleri.

Şekil 4.11’de çelik+cam liflerinin betona olan etkisi görülmektedir. 3 günlük betonlarda lifler dayanımda büyük artış sağlamakta ve lifler arttıkça dayanım da artmaktadır. 7 günlük numunelerde sadece % 1 çelik lifi+cam lifi oranına sahip betonlar daha belirgin bir yüksek dayanım sağlamaktadır. 28 ve 90. günlerde % 0.5 çelik+cam lifli beton en yüksek, kontrol betonu da ona yakın dayanım verirken, sırasıyla % 0.75 ve % 1 çelik+cam lifli betonlar daha düşük dayanım vermiştir. Bu da matriste lif sayısının artmasına bağlanabilir. Matriste fazla lif olması, görüldüğü gibi pek avantaj sağlamamaktadır. Nitekim, bulunan değerler Şekil 4.5’de görülen sadece çelik lif içeren betonlarınkinden daha da düşüktür.

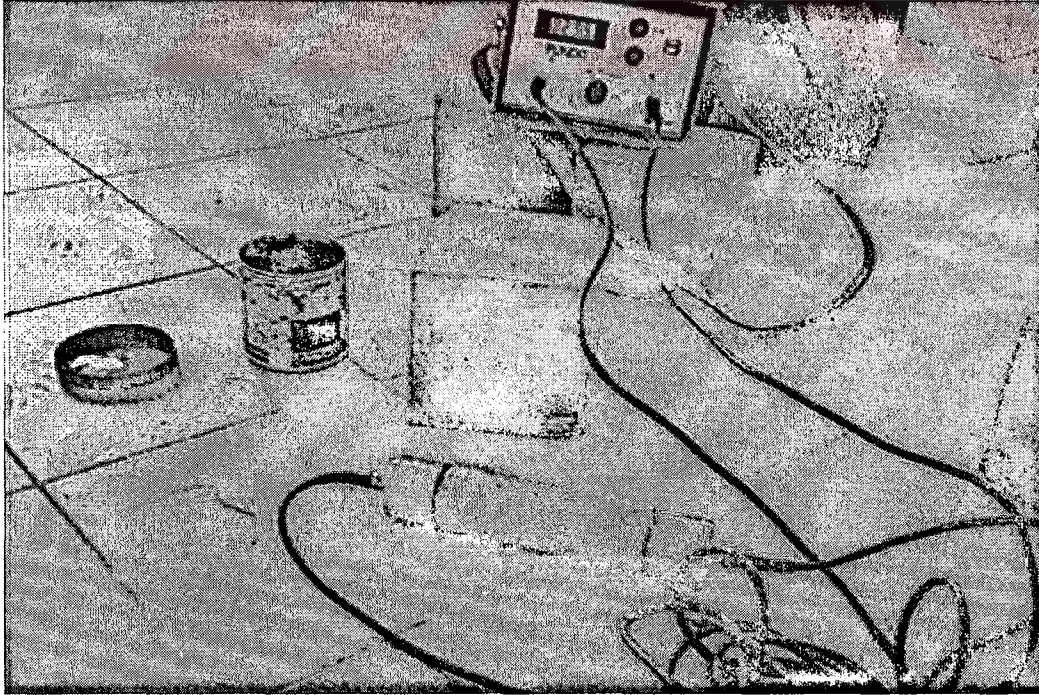
4.3.3. Ultrasonik Ses Hızı

4.3.3.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Betonun ultrasonik ses hızının tespiti 150x150x150 mm'lik standart küp numuneler üzerinde yapılmış, bu numunelerin 3, 7, 28 ve 90 günlük değerleri üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Deneyler, Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Laboratuvarı'nda basınç deneyi yapılmadan hemen önce yapılmıştır.

4.3.3.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Deneyin ultrasonik ses cihazı ile uygulanışı Fotoğraf 4.5'de görülmektedir. Cihazda her okumadan önce betonla temas edecek silindir kısımlar gres yağı ile yağlanmış ve kalibrasyon silindiri ile kalibre edilmiştir (kalibrasyon değeri 25.3 μ s'dir).



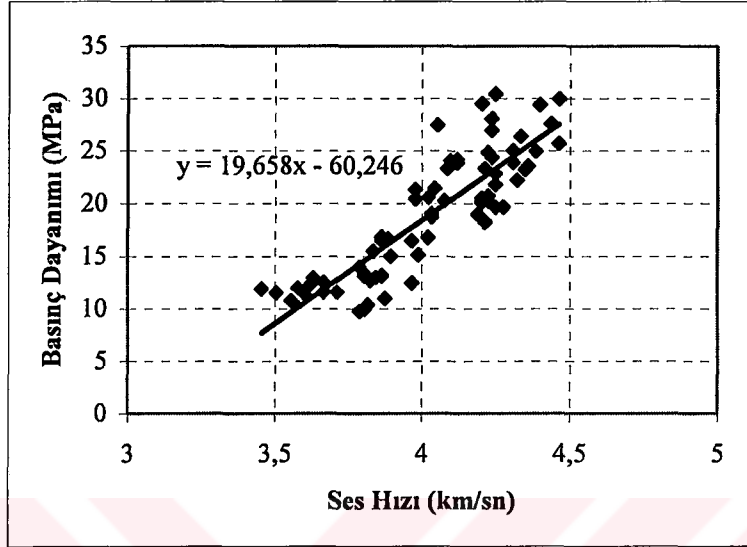
Fotoğraf 4.3 Ultrasonik ses cihazı ile ölçülen numuneler.

Tüm numuneler ölçüldükten sonra, ölçülen numune kalınlığı, ölçülen ses geçiş süresine bölünerek ($v = l / t_p$), ultrasonik ses hızı değeri hesaplanmıştır. Ultrasonik ses hızı değerleri tablo haline getirilmiştir. Tablo 4.5'te 3, 7, 28 ve 90 günlük tüm küp numunelerin ultrasonik ses hızları verilmektedir.

Tablo 4.5 150x150 mm'lik beton deney numunelerinin ultrasonik ses hızı sonuçları.

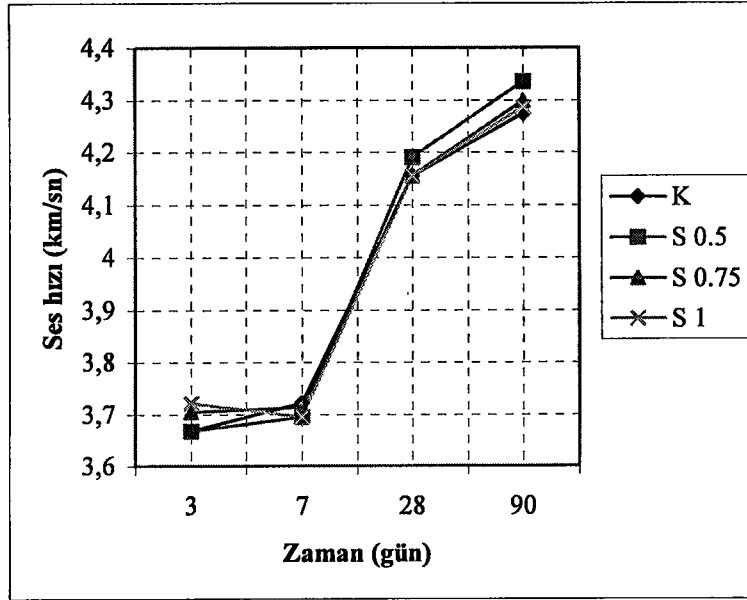
Beton Cinsi	Ultrasonik Ses Hızı (km/sn)			
	3 Gün	7Gün	28Gün	90 Gün
K	3.67	3.72	4.16	4.27
S 0.5	3.67	3.69	4.19	4.34
S 0.75	3.70	3.71	4.16	4.30
S 1	3.72	3.69	4.16	4.29
P	3.65	3.69	4.10	4.09
G	3.72	3.78	4.19	4.34
SP 0.5	3.55	3.64	4.09	4.20
SP 0.75	3.61	3.71	3.98	4.18
SP 1	3.64	3.76	3.96	4.16
SG 0.5	3.69	3.76	4.17	4.26
SG 0.75	3.69	3.80	4.08	4.24
SG 1	3.69	3.83	4.12	4.25

4.3.3.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması



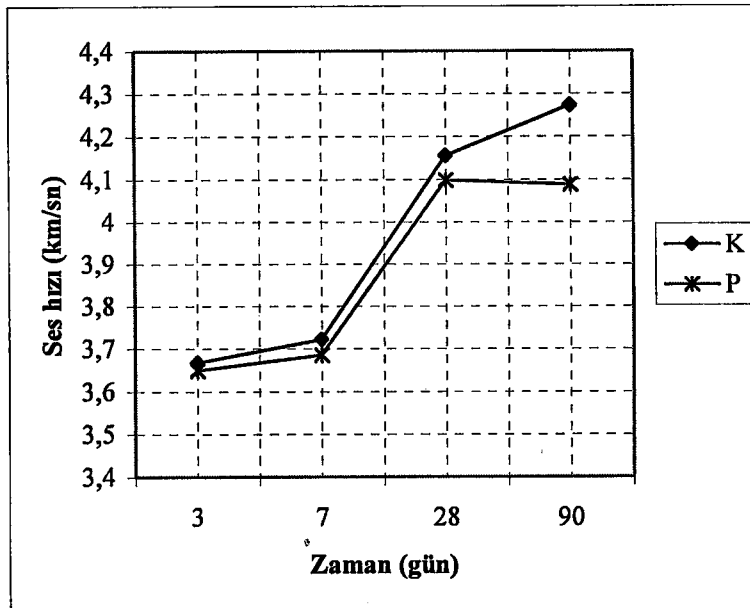
Şekil 4.12 Ultrasonik ses hızı ve basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması ile oluşturulan eğri.

Cihazdan elde edilen verilerin ultrasonik ses hızı hesabında kullanılması ile elde edilen Tablo 4.5'teki değerlerin basınç dayanımı değerlerini ne kadar yansıttığını görmek amacıyla, bir eğri oluşturulmuştur (Şekil 4.12). Ultrasonik ses hızı ve basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması ile oluşan noktaların arasından, uygun ve doğrusal bir eğri geçirilmiştir. Grafiğin denklemini oluşturduğumuzda $y = 19.658x - 60.246$ gibi lineer bir grafik denklemi çıkmaktadır. Bu denklem ile bundan sonra aşağı yukarı aynı malzemeler ve malzeme oranlarıyla yapılacak olan betonların basınç dayanımı hakkında ultrasonik ses hızı deneyi yardımı ile bilgi sahibi olmak mümkündür.



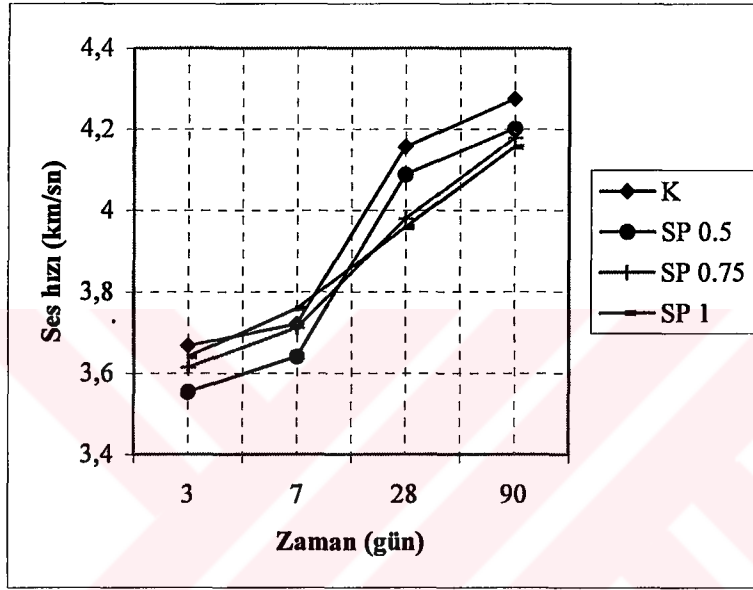
Şekil 4.13 Kontrol betonu ile çelik lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.

Şekil 4.13’de görülen eğride, genel olarak kontrol betonu diğer betonlardan daha düşük değer almıştır. Ayrıca 90. günde kontrol betonu en küçük değeri almıştır. Yine 90. gün sonunda en yüksek değeri % 0.5 çelik lif katkılı beton vermektedir.



Şekil 4.14 Kontrol betonu ile polipropilen lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.

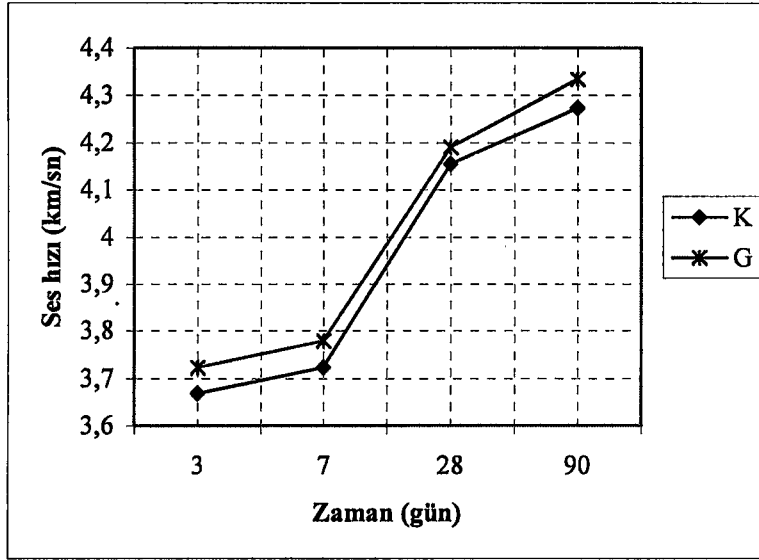
Şekil 4.14’de görüldüğü gibi polipropilen lifli betonun eğrisi, kontrol betonunki ile kıyaslanmış ve basınç dayanım eğrisi ile büyük benzerlikler görülmüştür. Polipropilen lifli betonlar 90. günde 28 günlük ölçümlerine göre daha da düşük değer almıştır. 90. gün hariç eğrinin tümünde paralellik göstermiştir.



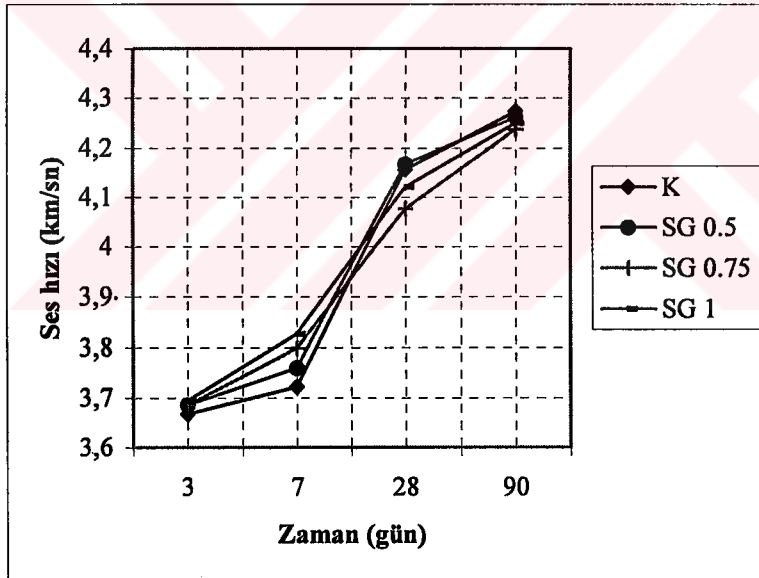
Şekil 4.15 Kontrol betonu ile çelik+polipropilen lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.

Numunelerin Şekil 4.15’deki grafiği yine basınç grafiğine benzerlik göstermiş, fakat 3. günde en yüksek değer kontrol betonundan alınmıştır. Eğrinin genelinde kontrol betonunun daha yüksek değerler aldığı görülmektedir.

Kontrol betonu ile cam lifli betonun ultrasonik ses hızı-zaman grafiklerinin görüldüğü Şekil 4.16’da cam lifli beton yine basınç dayanımı grafiklerinde olduğu gibi kontrol betonundan daha yüksek değerler almış ve 90 gün boyunca eğri kontrol betonununkine paralellik göstermiştir.



Şekil 4.16 Kontrol betonu ile cam lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.



Şekil 4.17 Kontrol betonu ile cam+çelik lifli betonların ultrasonik ses hızı-zaman grafikleri.

Şekil 4.17'de görüldüğü gibi % 1 çelik+cam lifli beton % 0.75 çelik+cam lifli betona göre, genel olarak tüm ölçümlerde daha yüksek ultrasonik değer vermiştir. Kontrol betonu; 3. günde yine en düşük değeri alırken, 90. günde en yüksek değeri almıştır. 7. ve 28. günlerde SG 0.5, K ve SG 0.75, SG 1 çiftleri yer değiştirmiştir. Yine, 28. ve 90. günlerde % 0.5 çelik lifli betonun daha iyi değer verdiği görülmektedir.

4.3.4. Elastisite Modülü ve Poisson Oranı

4.3.4.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Betonun elastisite modülü ve Poisson oranının tespiti TS 3502'ye uygun olarak, 150x300 mm'lik standart silindir numuneler üzerinde ve bu numunelerin 28 günlük değerleri üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Deneyler, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü Laboratuvarı'nda teknikerlerin yardımı ile yapılmıştır.

Numuneler; basınç deneyinde olduğu gibi üretilerek, kırımdan 3 gün önce başlıklanmış ve 3 gün başlıklanmış vaziyette % 90 bağıl nemde bekletilmiştir. Başlıklamalar çimento harcı ile yapılmıştır. Başlıklanmış ve deneye hazır duruma getirilmiş numuneler Fotoğraf 4.6'da görülmektedir. Resimde en solda görülen silindir numune, deneyde kırılmıştır. Deney uzun sürdürülmediği için numuneler çok fazla tahrip olmamaktadır. Daha sonra, deney numunesi deney cihazının çeneleri arasına yerleştirilerek, yanal genleşme ve düşey kısalmayı okuyacak olan geyçler hazır duruma getirilmiştir.

4.3.4.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Numuneler 1 kg/cm²'lik sabit yük altında kırılarak; basınç dayanımları, eğrileri, genleşme ve kısalma değerleri elde edilmiştir (Fotoğraf 4.7). Deneyin yapılışı esnasında, ölçülen değerler 3 ayrı kişi tarafından aynı anda okunarak kaydedilmiştir. Bilgisayar başında bulunan kişi numune yük almaya başladığı anda diğer gözlemcileri uyarmış ve belirli aralıklarla bir yanal bir de düşey geyç okumasının yapılmasını sağlamıştır. Okumalara, numune eğrisinin maksimuma yaklaştığı bölgelerde son verilmiştir.

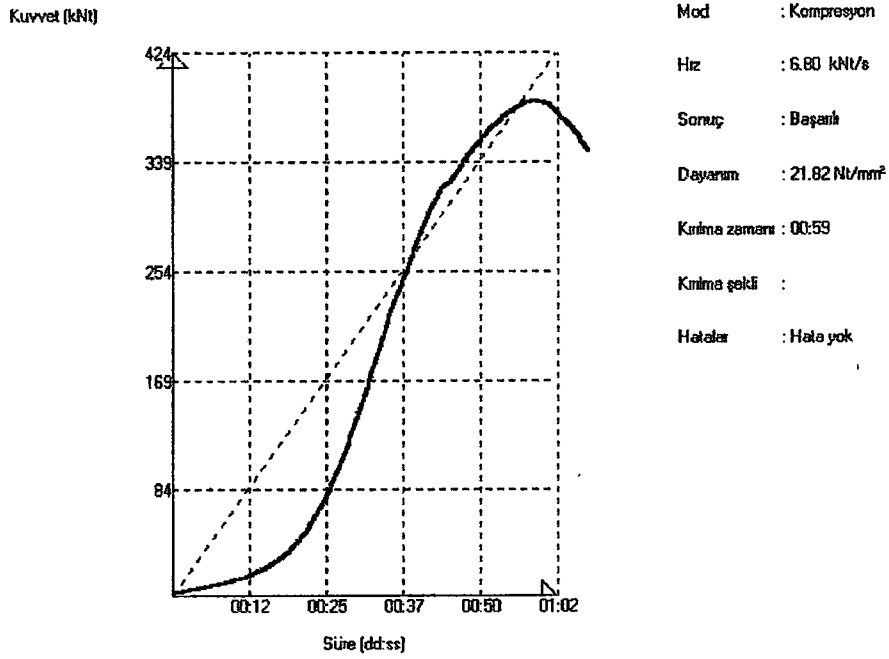
Cihaz, basınç dayanımı tayininin yapıldığı cihazdan farklı olarak dataları vermemekte ve göstermemekte, sadece yük-zaman grafiğini vermektedir. Bir kontrol betonu için elde edilen yük-zaman grafiği Şekil 4.18'de görülmektedir.



Fotoğraf 4.4 Deneye hazır başlıklanmış silindir numuneler.



Fotoğraf 4.5 Numunenin cihaz çeneleri arasına yerleştirilmiş hali.



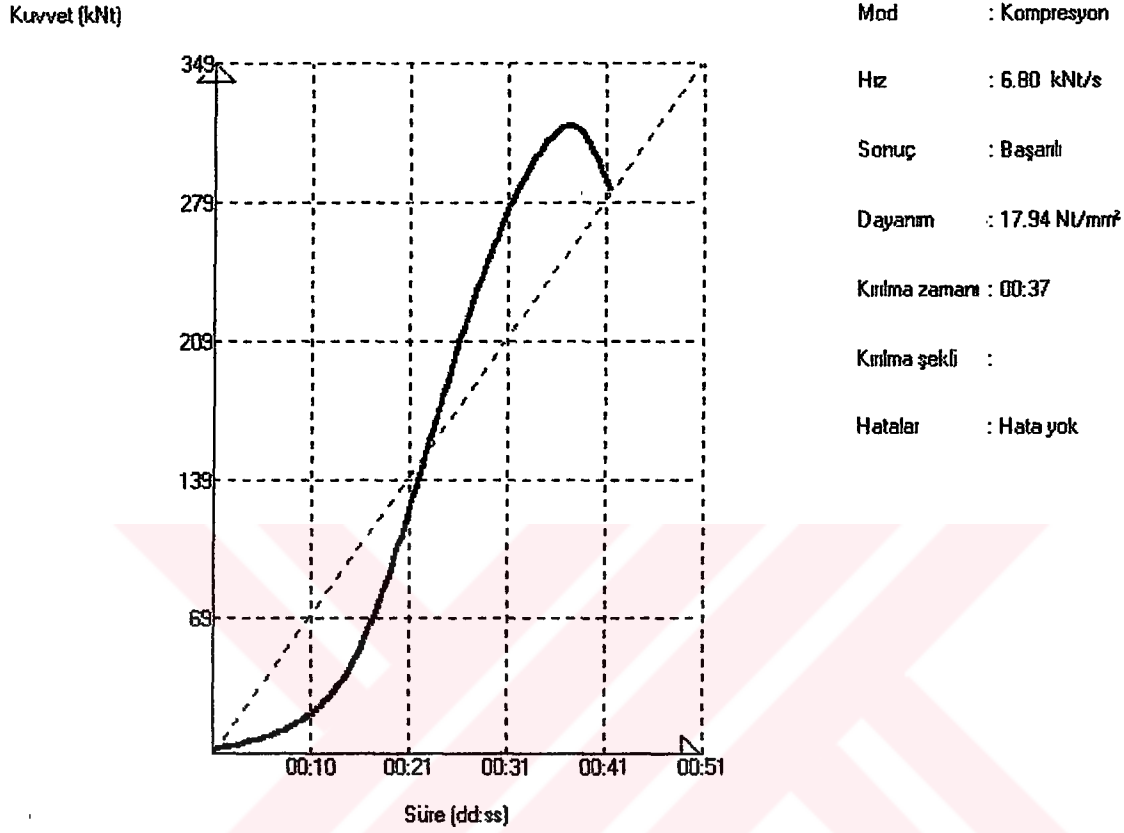
Şekil 4.18 28 günlük kırılmış bir silindir numunenin basınç dayanımı-zaman grafiği.

Tüm numuneler kırıldıktan sonraki, 28 günlük tüm silindir numunelerin basınç dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı değerleri Tablo 4.6'da verilmektedir.

Tablo 4.6 Deney numunelerinin basınç dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı sonuçları.

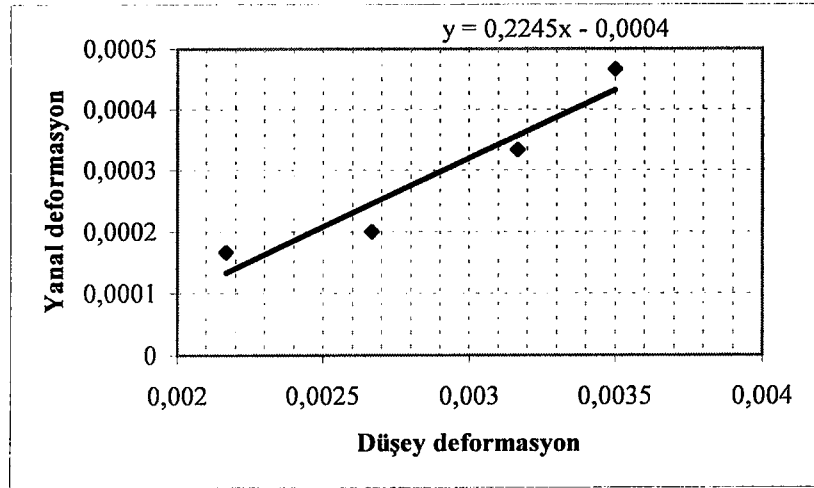
Beton Cinsi	Basınç Day. (Mpa) Silindir 28 Gün	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
K	21.87	27030	0.165
S 0.5	23.32	26597	0.197
S 0.75	23.68	24646	0.209
S 1	21.72	25620	0.211
P	18.37	24451	0.176
G	21.99	26647	0.17
SP 0.5	20.62	25116	0.208
SP 0.75	21.08	24072	0.225
SP 1	20.57	23732	0.22
SG 0.5	21.51	25690	0.205
SG 0.75	21.12	25544	0.219
SG 1	21.2	24357	0.208

4.3.4.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

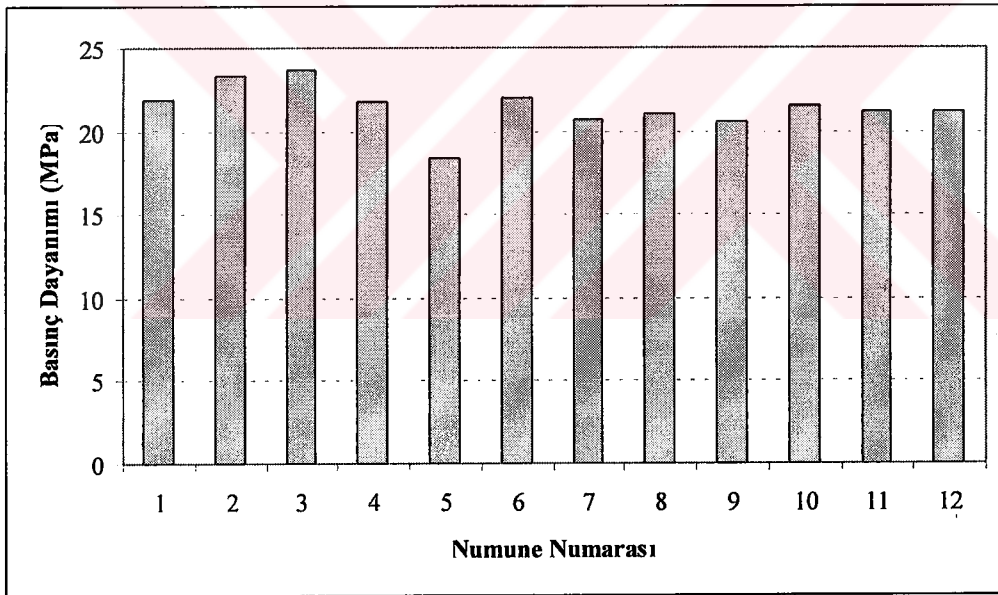


Şekil 4.19 Polipropilen (P) lifli silindir bir numune için basınç dayanımı-zaman grafiği.

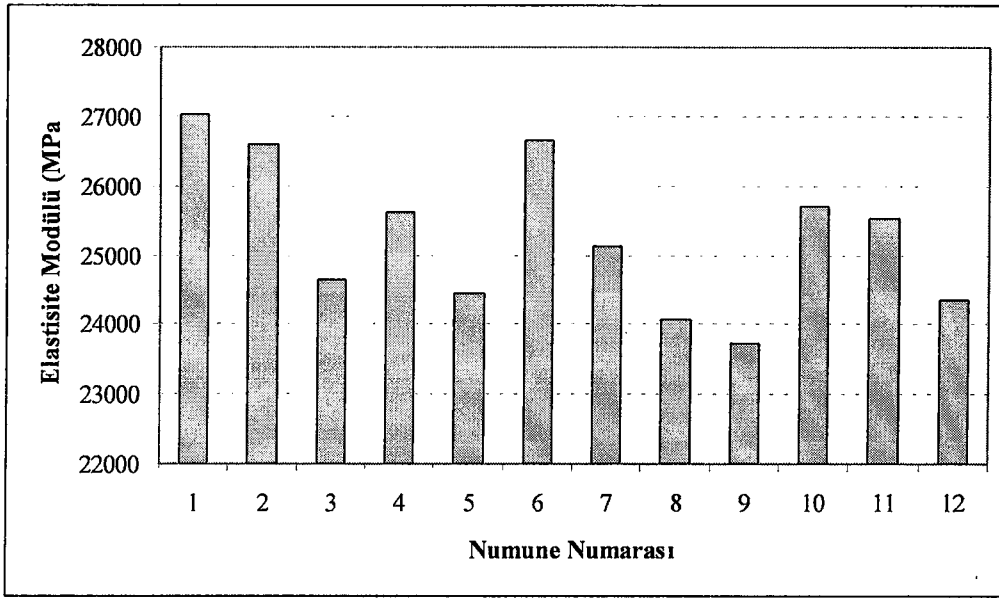
Şekil 4.19'da görülen polipropilen lifli beton eğrisindeki gibi, kontrol betonu ile diğer betonlardan elde edilen eğriler arasında çok belirgin bir fark yoktur. Sadece, daha önceki basınç deneylerinde de gösterildiği gibi, çelik lif katılmış numunelerde eğrinin ucu maksimuma ulaştıktan sonra biraz daha yatıklaşmakta, yani malzeme daha fazla deformasyon göstererek kırılmaktadır. Betondaki lif miktarı arttıkça deformasyon yapabilme kabiliyetinin de arttığı göze çarpmaktadır.



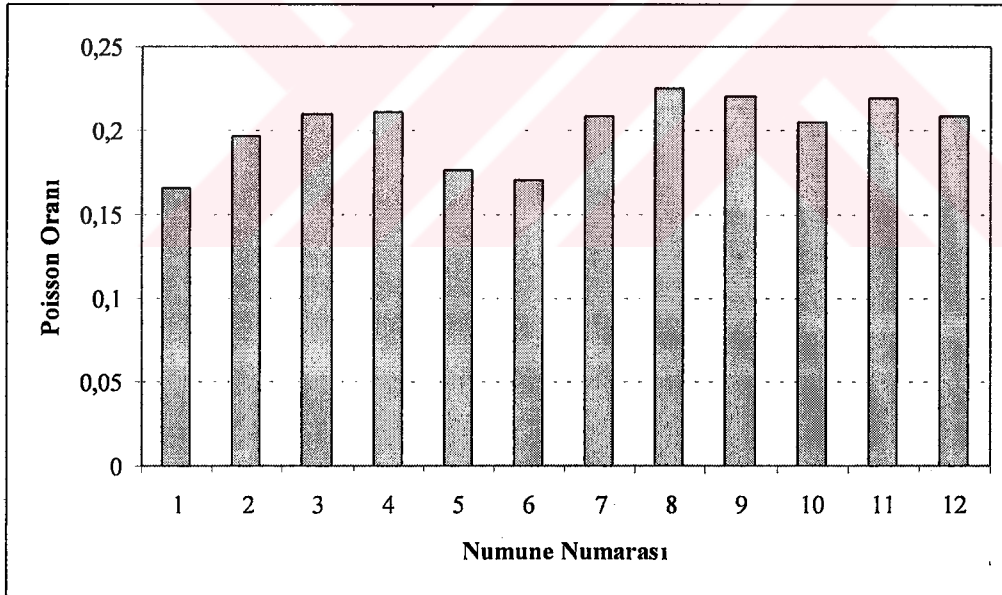
Şekil 4.21 Silindir bir (SP 0.75) numunenin Poisson oranını bulmak için oluşturulmuş olan yanal deformasyon-düsey deformasyon grafiği.



Şekil 4.22 28 günlük silindir numunelerde basınç dayanımı grafiği.



Şekil 4.23 28 günlük silindir numunelerden elde edilen elastisite modülü grafiği.



Şekil 4.24 28 günlük silindir numunelerden elde edilen Poisson oranı grafiği.

Şekil 4.19’da görülen SP1 betonu eğrisindeki gibi, kontrol betonu ile diğer betonlardan elde edilen eğriler arasında çok belirgin bir fark yoktur. Sadece, daha önceki basınç deneylerinde de gösterildiği gibi eğrinin ucu maksimuma ulaştıktan sonra biraz daha yatıklaşmakta, yani malzeme daha fazla deformasyon göstererek kırılmaktadır. Betondaki lif miktarı arttıkça deformasyon yapabilme kabiliyetinin de arttığı göze çarpmaktadır (Şekil 4.19).

Bu eğriler çok düzgün elde edilemediğinden, çizim yapılarak elde edilen modülleri (başlangıç modülü, sekant modülü, teğet modülü) kullanarak elastisite modülünü bulabilmek mümkün değildir. Ama deney esnasında bulunan değerler Şekil 4.20’deki gibi işlenerek, elastisite modülü bulunabilmektedir.

Elastisite modülünün bulunabilmesi için, beton deney numunelerinde elastik bölge olarak kabul edilen, beton dayanımının $1/3$ ’ü ile $1/5$ ’i arasındaki basınç gerilmelerinde geyç yardımı ile okunan birim kısaltmalar kullanılmıştır. Deformasyonlar, $\varepsilon = \Delta l / l$ formülü ile elde edilen yatay eksen değerleri, bu deformasyonlara karşılık gelen dayanım değerleri de düşey eksen değerleri olarak işlenmiş ve grafik elde edilmiştir. Poisson oranı için oluşturulan grafik, elastik bölgede elde edilen değerler yardımı ile oluşturulmuştur (Şekil 4.21). Yatay eksen aynı şekilde oluşturulmuş ve düşey ekseninde yanal deformasyonlar kullanılmıştır. Yanal deformasyonların hesabı için, geyç yardımı ile bulunan birim uzamalar, numune çapına bölünmüştür.

Şekil 4.22 tüm numuneler için silindir basınç dayanımlarının grafik haline getirilmesi ile oluşturulmuştur. Burada, daha önce elde edilmiş olan 28 günlük küp basınç dayanımlarına yakın değerler elde edilmiştir. Elde edilen grafikten; polipropilen katkılı betonların dayanımının daha düşük olduğu, sadece çelik lif katkılı betonların performansının daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, yine cam lifi katkısının tek başına betonun performansını olumlu etkilediği, çelik liflerle beraber kullanıldığında da 28 günlük dayanımı bir miktar düşürdüğü belirlenmiştir.

Şekil 4.23’de elde edilen elastisite modülü grafiğinde, betondaki dayanım etkilerine yakın bir davranış görülmektedir. Bu da, elastisite modülü ile dayanım arasındaki doğru orantılı ilişkiye bağlanabilir.

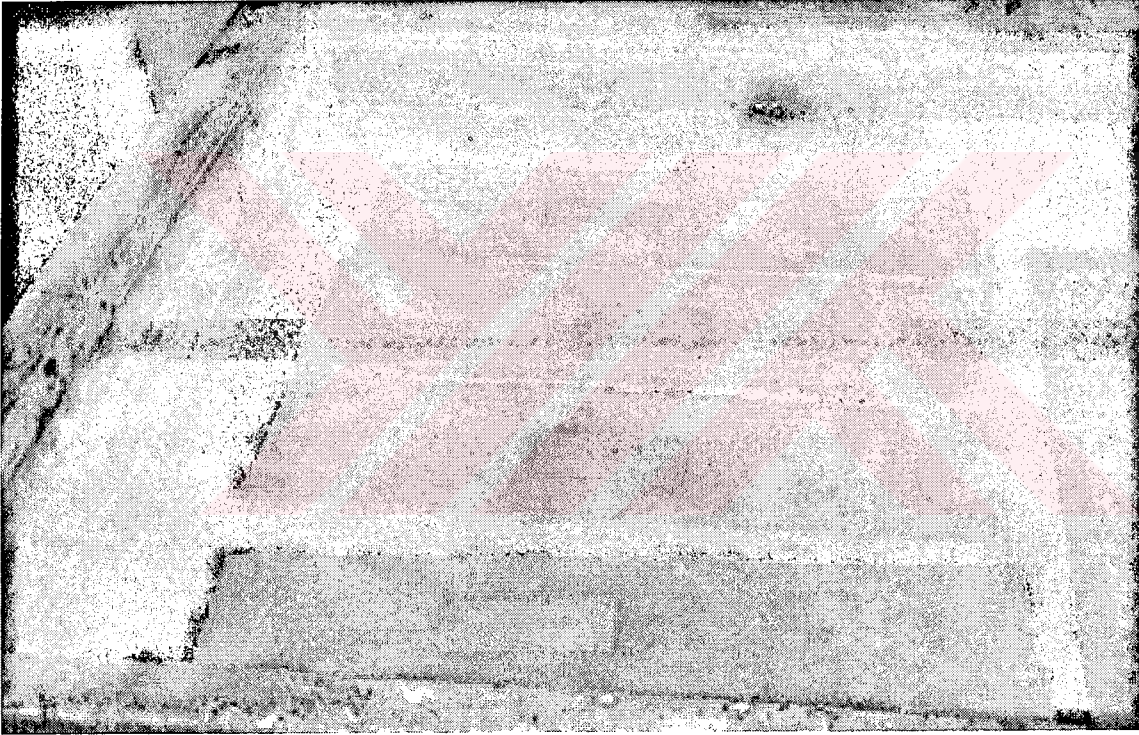
Şu ana kadar hep olumsuz tesirlerinden bahsedilen polipropilen lifler, Şekil 4.24’de ön plana çıkmakta ve betonda % 0.1 gibi düşük bir yüzde ile kullanılmasına rağmen, Poisson oranı üzerinde ne kadar önemli bir tesir meydana getirdiği görülmektedir. Bunun yanında tüm lifler, Poisson oranını önemli derecede etkilemekte ve lif miktarı artışı da genel olarak Poisson oranını artırmaktadır.



4.3.5. Eğilme Dayanımı

4.3.5.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Betonun eğilme deneyi; 150x150x500 mm'lik prizmatik numuneler üzerinde, TS 3284 ve TS 10515'e uygun olarak, iki noktadan yapılmış ve bu numunelerin 3, 7, 28 ve 90 günlük dayanımları; üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir.



Fotoğraf 4.6 Suda saklanan kiriş eğilme numuneleri.

Numuneler özel olarak yüzeyi düzgün metal kalıplar içinde üretilmiştir. Dökümden önce kalıp yüzeyleri betonun yapışmasını önlemek için yağlanmıştır. Numuneler mikserde sırasıyla agrega, çimento, su ve lifler karıştırılarak üretilmiş; işlem üç kademeli olarak ve her kademede 25 kez şişlenerek uygulanmış, kalıp tam doldurulduktan sonra boşluk kalmaması için numuneler vibrasyon masasında 10 sn daha bekletilmiştir. Vibrasyondan sonra kalan boşluk tekrar beton ile doldurulmuş ve

yüzeyi mala ve spatula ile düzeltilmiştir.

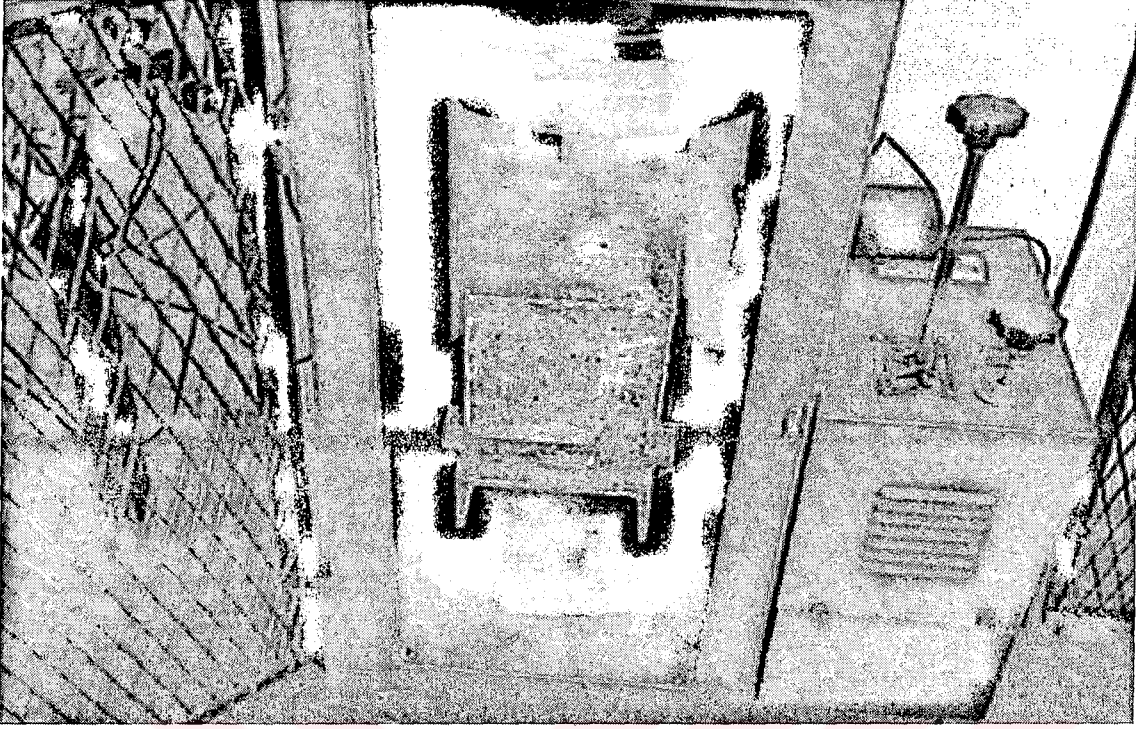
Numuneler 24 saat kalıp içinde bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak su içine konmuştur. Yukarıda belirtilen sürelerde bekletilen betonlar sudan çıkarıldıktan sonra yüzeyleri bezle kurulanmış ve iyice kuruması beklenerek, kırılmaya hazır hale getirilmiştir.

Bilgisayar kontrollü olarak çalışan basınç cihazı üzerine özel olarak yaptırılmış ve numunenin oturabileceği mesnet kısmı aparatı deneye başlanmadan önce yük çeneleri arasına yerleştirilmiştir. Numuneler, üstte iki noktadan yükleme yapabilen aparat ve numunenin oturacağı mesnet kısmı aparatı arasına, yan (düzgün) yüzeyleri alt ve üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yüklemeye başlamadan önce ani yükleme durumunu önlemek için, basınç düzeneğinin aparatın üzerine tam temas etmesi sağlanmıştır.

Deneyler Gölyaka Haytoğlu Koç Beton tesislerinde yapılmış olup, numune sayısı çok fazla olduğundan, numunelerin bir kısmı Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü Laboratuvarı'nda aynı şartlarda (20-25°C sıcaklıkta kür havuzunda) tutulmuştur (Fotoğraf 4.8).

4.3.5.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Numuneler dakikada 10 kg/cm²'lik sabit gerilme altında yüklenerek kırılmış (Fotoğraf 4.9), eğilme dayanımları ve eğrileri elde edilmiştir. Numunelerdeki sehim miktarları numunenin orta alt kısmında geyç kullanılarak bulunmuştur (Fotoğraf 4.10). Geyç numune altına direkt yerleştirilemediği için, geyç ölçümleri kirişin altına epoksiyle yapıştırılan ince bir çelik çubuk yardımı ile yapılabilmektedir. Prese bağlı bilgisayar programının çizdiği eğrinin yatay eksenı sehim miktarını göstermemekle beraber, düzenli artmakta ve sehim ile ilişkilendirilebilmektedir (Geyç ile üç ölçüm yapılarak, aralıklara karşılık gelen sehim miktarı da tespit edilmiştir). Düşey eksen eğilme yükünü göstermekte ve bu yük değerlerinin tamamı için program tarafından başka programlara aktarılabilir bir metin dosyası oluşturulabilmektedir. Bu metin dosyası sayesinde toklukların ve tokluk indekslerinin bulunması da mümkün olmuştur.



Fotoğraf 4.7 Numunelerin eğilme deneyinin basınç dayanım aleti üzerine yardımcı aparatlar takılarak yapılışı.



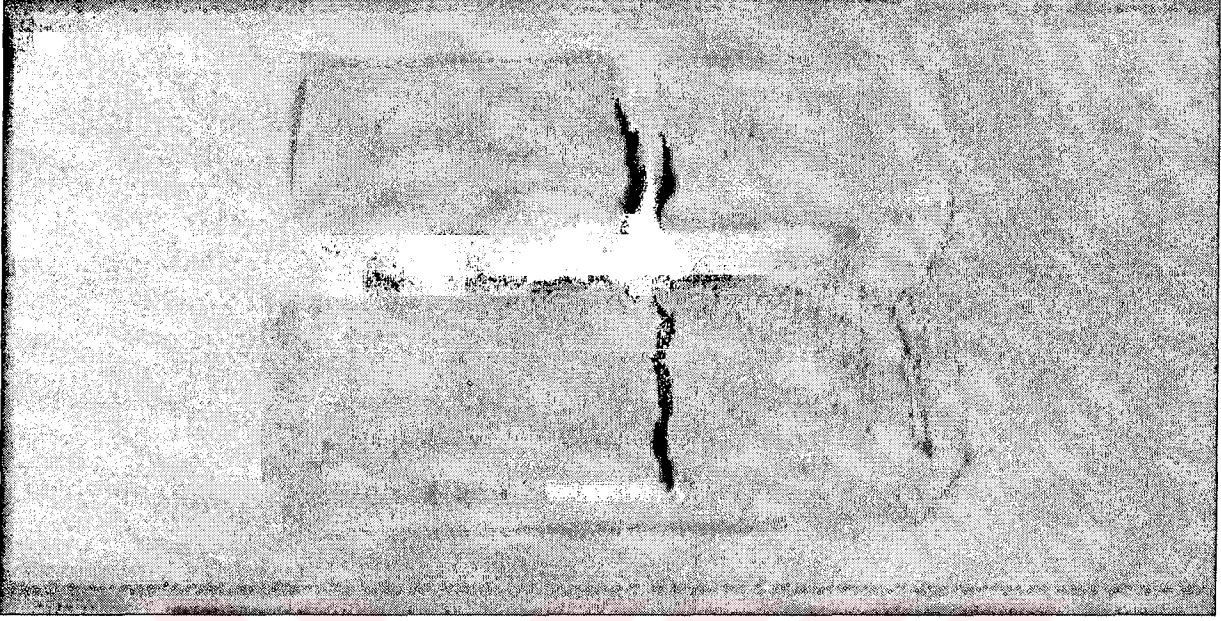
Fotoğraf 4.8 Deney esnasında numune ortasından geyç okumasının yapılışı.

Tüm numuneler kırıldıktan sonra, elde edilen eğilme yükü ve hesapla bulunan eğilme dayanımı (tüm kırılmalar üçte bir noktaları arasında olduğundan $\sigma_u = P.l / b.h^2$ formülü kullanılmıştır) sonuçları tablo haline getirilmiştir (Tablo 4.7). Tabloda 3, 7, 28 ve 90 günlük tüm numunelerin eğilme dayanımları (üç numune ortalaması) verilmektedir.

Tablo 4.7 150x150x150 mm'lik beton deney numunelerinin eğilme yükü ve dayanımı sonuçları.

Beton Cinsi	Eğilme yükü (kN)				Eğilme dayanımı (MPa)			
	3 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	3 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
K	12	15	26.84	27.10	1.6	2.0	2.9	3.1
S 0.5	22	30	30.19	37.74	2.9	4.0	4.8	4.9
S 0.75	28	42	46.33	49.17	3.7	5.6	6.0	5.7
S 1	32	39	56.60	57.52	4.3	5.2	7.5	8.0
P	12	15.5	26.73	24.98	1.6	2.1	3.3	3.5
G	12	17	29.81	30.49	1.6	2.3	3.5	3.9
SP 0.5	21	30	30	32	2.8	4.0	4.0	4.3
SP 0.75	25	39	45	44	3.3	5.2	6.0	5.9
SP 1	35	42	56	54	4.7	5.6	7.5	7.2
SG 0.5	25.2	30	32	35	3.4	4.0	4.3	4.7
SG 0.75	34	41	49	49.5	4.5	5.5	6.5	6.6
SG 1	39	49	49.5	54	5.2	6.5	6.6	7.2

4.3.5.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

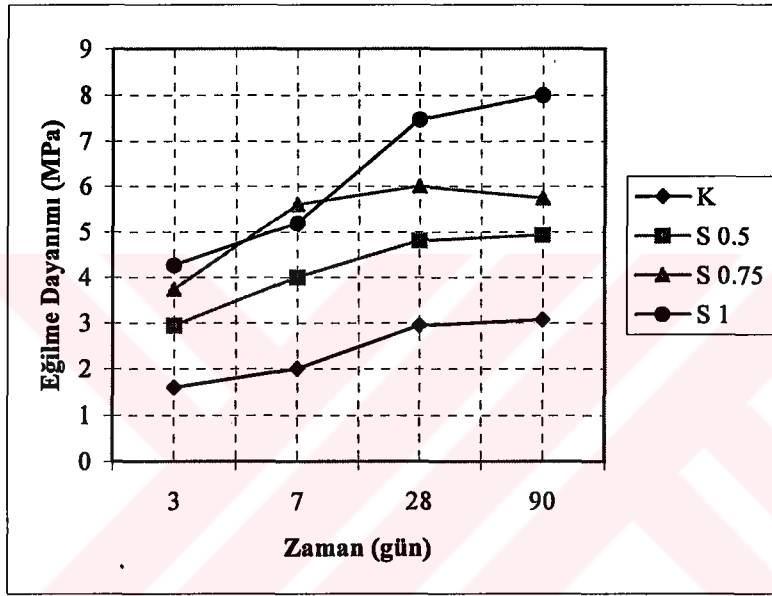


Fotoğraf 4.9 Lifsiz ve çelik lifli beton kiriş arasındaki kırılma sonrası ayrılma farkı.



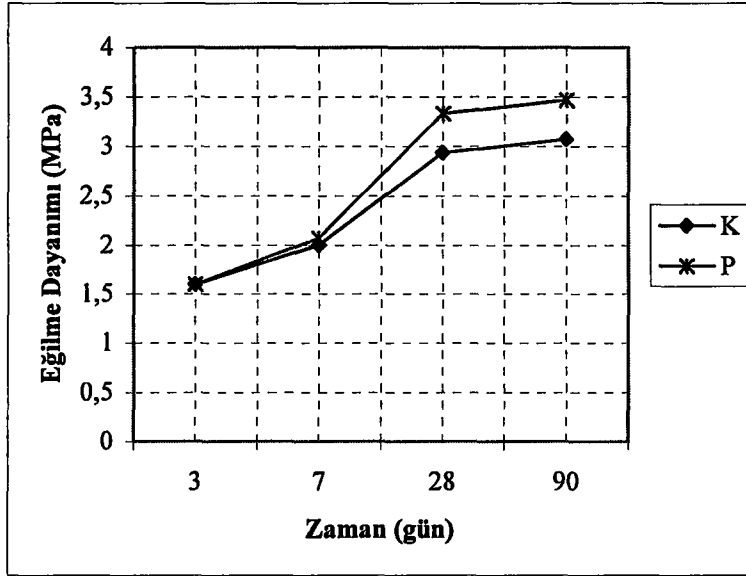
Fotoğraf 4.10 Çelik lifli beton kirişte kırılma bölgesinin yakından görünüşü.

Numunelerin eğilme deneyinde; kontrol betonunu ile kısa cam ve polipropilen lif içeren betonlarda kirişlerin ortadan tamamıyla ayrıldığı; ancak çelik lif içeriğine sahip betonların kırıldıktan sonra birbirinden ayrılmadığı görülmüştür. Çelik liflerin matrisi birarada tuttuğu ve ayrılmayı önlediği belirlenmiştir (Fotoğraf 4.9, Fotoğraf 4.10). Matrisi birarada tutan çelik liflerin durumu, Fotoğraf 4.10'da daha açık olarak görülmektedir.



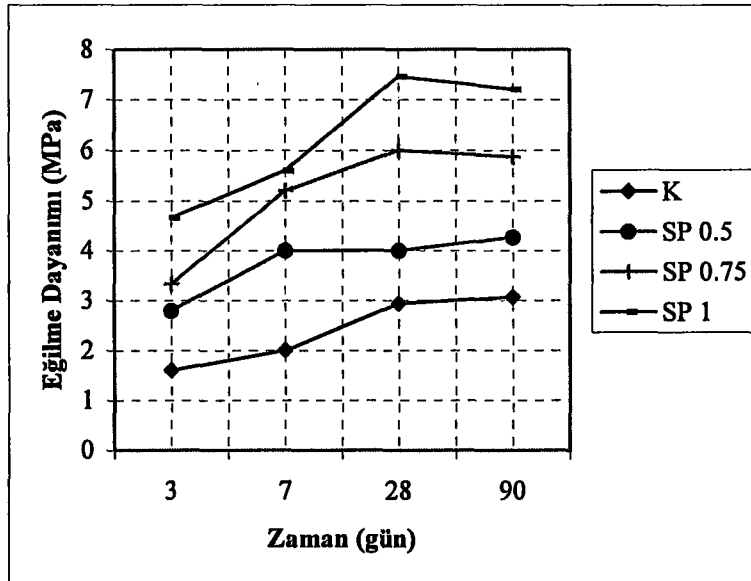
Şekil 4.25 Kontrol betonu ile çelik lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.

Şekil 4.25'deki eğilme dayanımı-zaman grafiğinden, lif miktarı arttıkça eğilme dayanımının arttığı açıkça görülmektedir. Çelik lif miktarının % 1'e çıkmasıyla birlikte, eğilme dayanımının yaklaşık 2.5-3 misline çıktığı belirlenmiştir. Tüm betonlarda, 3. günden 28. güne kadarki sürelerde dayanım açısından önemli derecede artışlar olurken, 28 günden sonraki artışlar pek yüksek olmamaktadır.



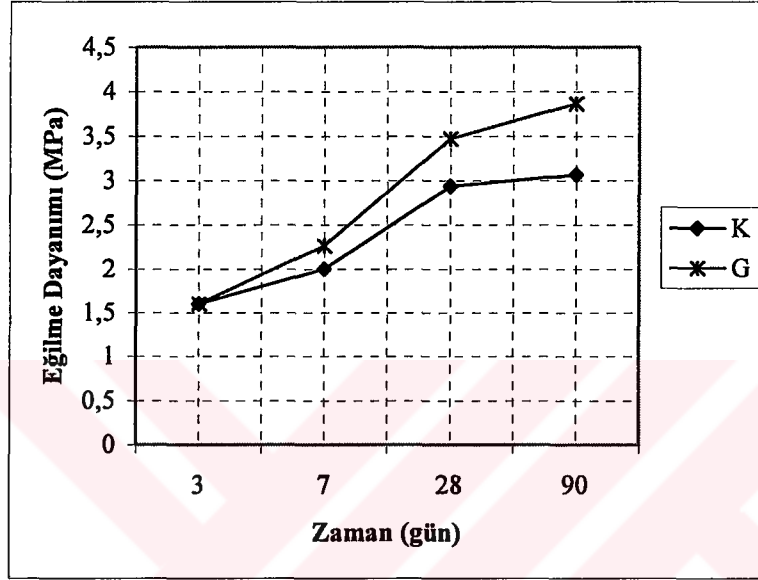
Şekil 4.26 Kontrol betonu ile polipropilen lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.

Polipropilen liflerin katkılı betonun eğilme dayanımına olan olumlu etkisi, Şekil 4.26'da görülmektedir. Polipropilen lifli betonun eğilme dayanımı; 3. günde kontrol betonu ile aynı olmasına rağmen, 28. güne kadar daha fazla artış görülmüş ve 90. güne kadar yine kontrol betonu ile aynı artış değerleri elde edilmiştir.



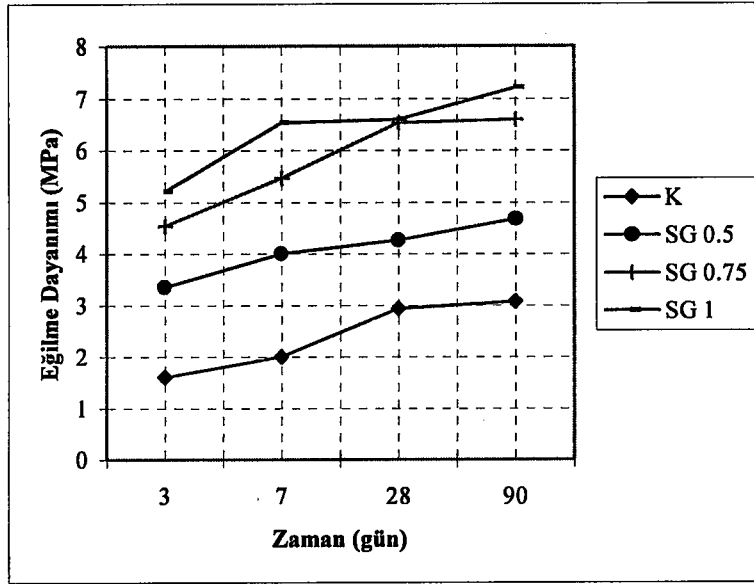
Şekil 4.27 Kontrol betonu ile çelik+polipropilen lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.

Şekil 4.27'deki grafikte görüldüğü gibi; çelik+polipropilen lifler, betonu eğilme dayanımı yönünden, sadece çelik lif kullanılmış olan betonlarinkine benzer şekilde etkilemektedir. Polipropilen liflerin çelik lifle beraber kullanılmasının eğilme dayanımı açısından avantaj sağlamadığı, hatta bir miktar da dezavantajlı olduğu görülmüştür.



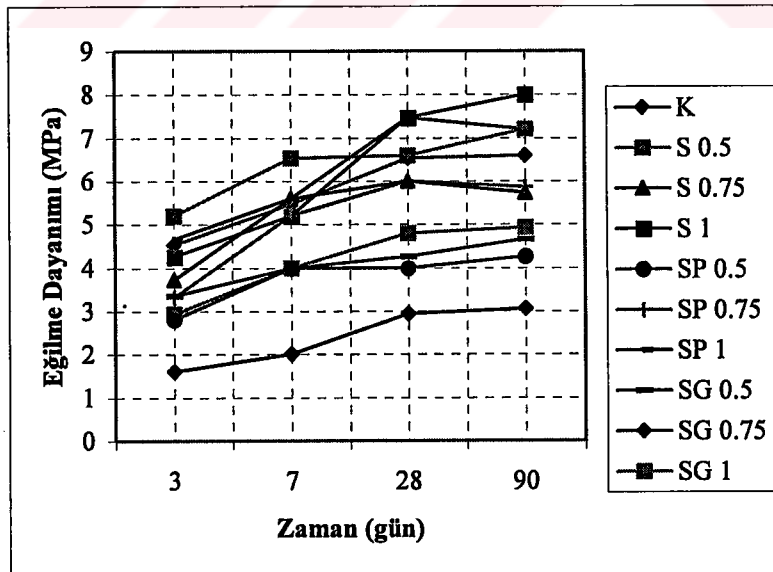
Şekil 4.28 Kontrol betonu ile cam lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.

Cam lifli betonun eğilme dayanımı davranışı, polipropilen lifli betonunkine büyük benzerlik göstermekte ve diğer yandan kontrol betonunkine göre 3. günden itibaren sürekli yükselmektedir (Şekil 4.28).



Şekil 4.29 Kontrol betonu ile çelik+cam lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.

Çelik+cam lifli betonların 3, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı-zaman grafikleri de, çelik ve çelik+polipropilen lifli betonlarındaki ile hemen hemen aynıdır (Şekil 4.29).



Şekil 4.30 Kontrol betonu ile çelik ve karışık lifli betonların eğilme dayanımı-zaman grafikleri.

Şekil 4.30'a bakıldığında; çelik+cam lifli betonların ilk günlerde lifli betonlara nazaran dayanım açısından daha iyi, 7. günden sonra % 0.75 haricinde çelik lifli betonların biraz daha iyi davranış gösterdikleri görülmüştür. Polipropilen+çelik lifli betonların da diğerlerine göre biraz daha altta değerler aldığı belirlenmiştir.



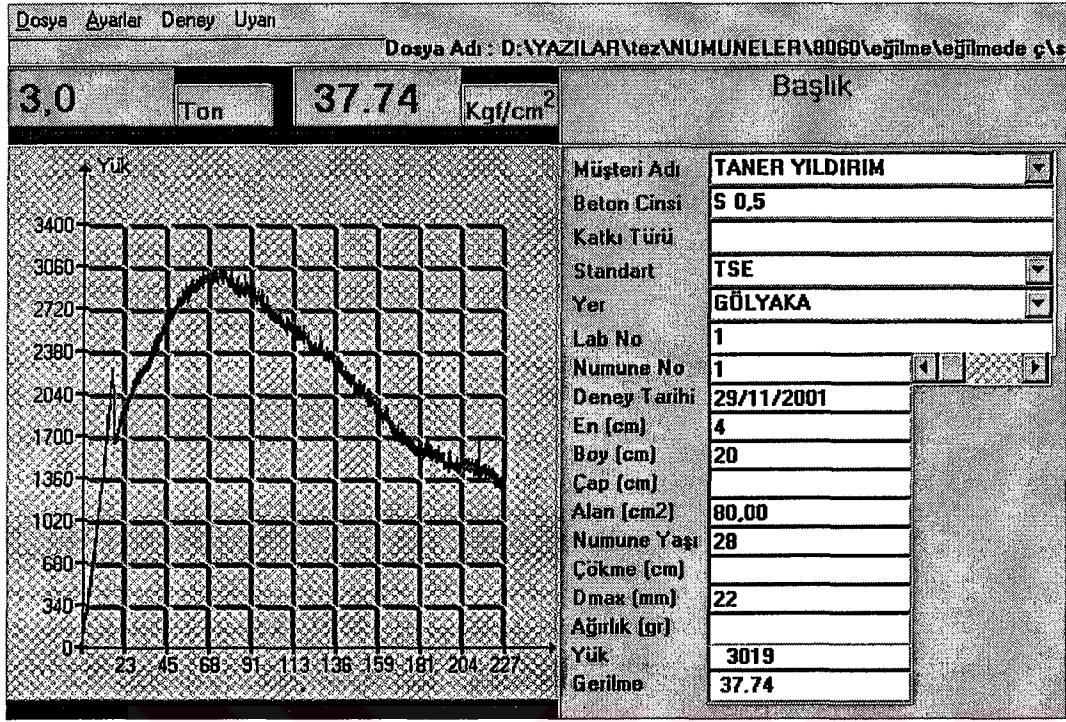
4.3.6. Tokluk (Enerji Emme Kapasitesi)

4.3.6.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

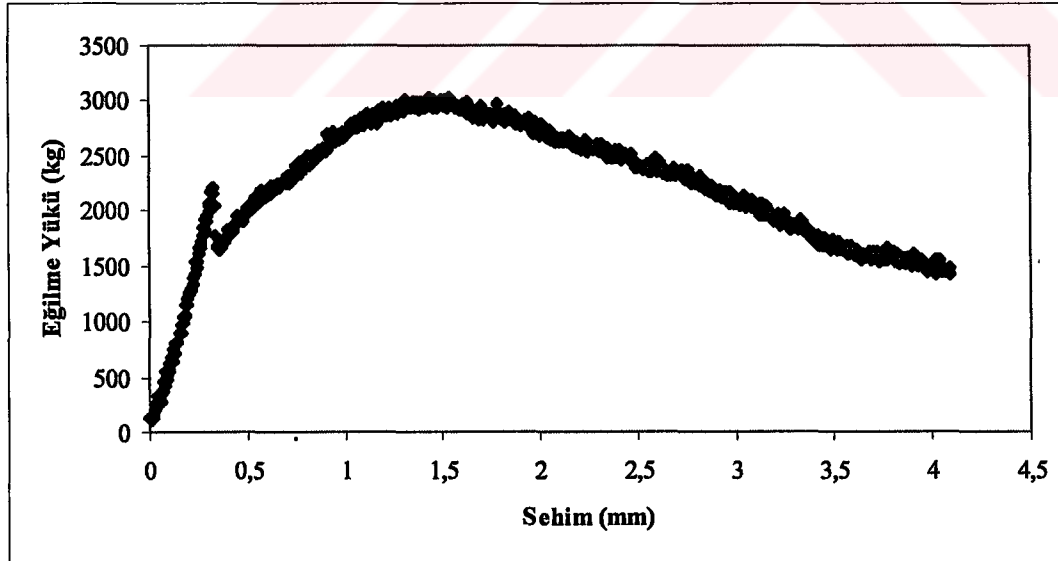
Betonların tokluk tespiti 150x150x500 mm'lik prizmatik standart eğilme numuneleri üzerinde TS 10515'e göre yapılmış ve bu numunelerin 28 günlük tokluk değerleri üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Eğilme deneyleri, daha önce de belirtilmiş olan, Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Laboratuvarı'nda belirtilen şekilde yapılmıştır.

4.3.6.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Tokluk tespiti daha önce gerçekleşen eğilme deneylerinden elde edilen eğrilerle yapılabilmektedir. Bu eğrilerin bilgisayardan alınan dataları Microsoft Excel programına aktarılmış ve eğrinin altındaki alan çok küçük yamuk şekilli alanlara bölünerek, alanların toplamı yardımı ile tokluk ve tokluk indeksleri bulunmuştur. Şekil 4.31'de 28 günlük S 0.5 betonu için bilgisayardan alınmış olan eğilme yükü-sehim eğrisi, Şekil 4.32'de görüldüğü gibi Excel programına aktarılmıştır.



Şekil 4.31 28 günlük S 0.5 betonu için bilgisayardan alınmış olan eğilme yükü-sehim eğrisi.



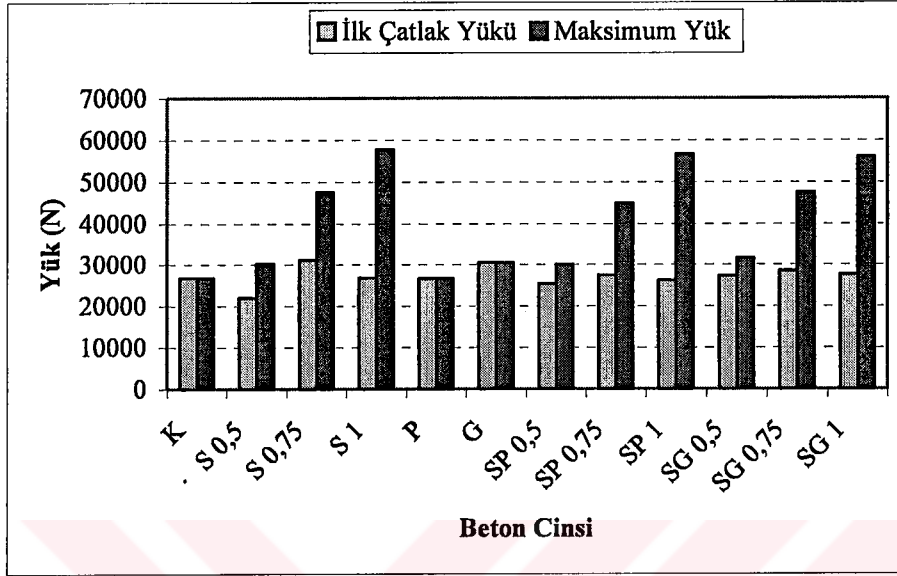
Şekil 4.32 28 günlük S 0.5 betonu için bilgisayardan alınan verilerin Excel programına aktarılması ile oluşturulan eğilme yükü-sehim eğrisi.

Tablo 4.8’de 28 günlük kiriş numunelerin tüm eğilme ve hesaplanmış tokluk değerleri verilmektedir.

Tablo 4.8 28 günlük numunelerin toklukla ilgili olan hesaplanmış değerleri.

Beton	İlk Çatlak Yüğü	Eğ. Yüğü	Tokluk	Eğil. Day.	Eşd. Dayanım	Tokluk İndeksleri			
Cinsi	P_i (N)	P_u (N)	T_b (Nmm)	σ_u (MPa)	σ_e (Mpa)	I_5	I_{10}	I_{20}	$R_{10,20}$
K	26840	26840	5569.17	3.58	0.25	1.02	1.02	1.02	0
S 0.5	22030	30190	74357.29	4.03	3.30	4.33	10.13	19.45	93.28
S 0.75	31110	47460	109008.69	6.33	4.84	4.39	11.01	23.00	119.88
S 1	26780	57630	130530.45	7.68	5.80	4.59	11.75	24.30	125.58
P	26730	26730	9269.61	3.56	0.41	1.23	1.23	1.23	0.00
G	30490	30490	9267.51	4.07	0.41	1.66	1.66	1.66	0.00
SP 0.5	25380	30070	70474.23	4.01	3.13	4.39	10.60	22.67	120.68
SP 0.75	27440	44860	97975.66	5.98	4.35	4.83	11.59	25.86	142.71
SP 1	26200	56570	114379.49	7.54	5.08	4.52	11.61	26.55	149.38

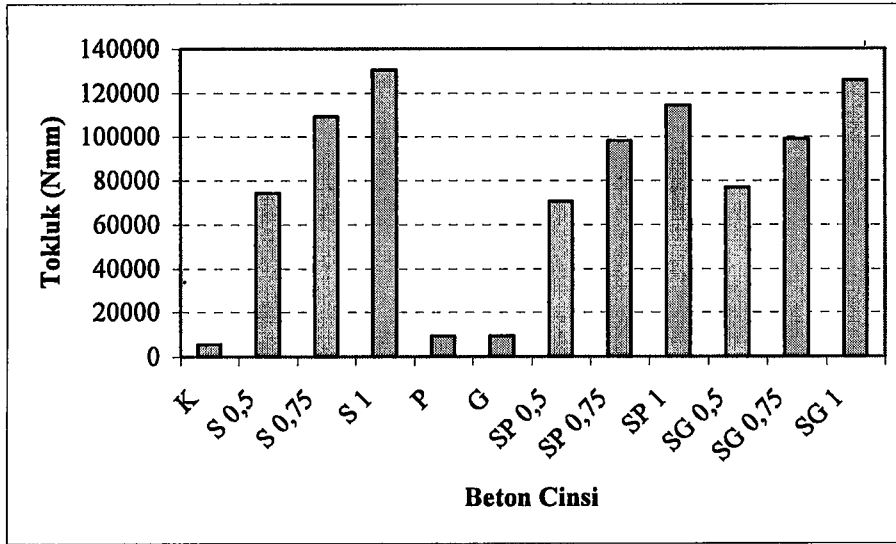
4.3.6.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması



Şekil 4.33 28 günlük kiriş numunelerin ilk çatlak ve maksimum yükleri.

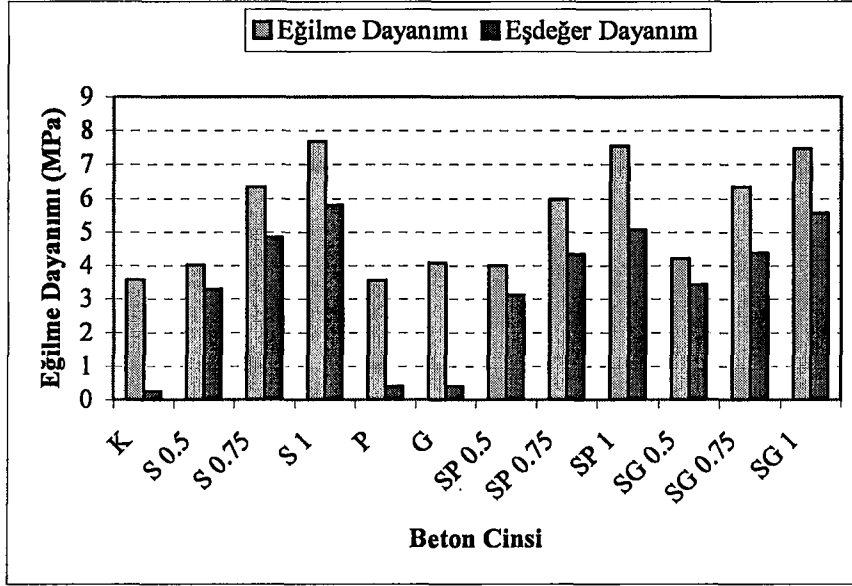
Şekil 4.33’de tüm numunelerin ilk çatlak ve maksimum yüklerini gösteren grafik verilmektedir. Numunelerin ilk çatlak yükleri ile maksimum yükleri arasındaki farkın yüksek olması numunenin sünekliğinin ve lif kapasitesinin bir ölçüsüdür. Betondaki çelik lif miktarı arttıkça ilk çatlak ve maksimum yükler arasındaki fark da artmaktadır. Özellikle % 0.75 ve % 1 çelik lif içeriğinin, bu farkın artmasında oldukça etkili olduğu görülmektedir.

Çelik lif içeren numuneler haricindeki numunelerde, ulaşılan yük ve maksimum yük bakımından bir fark yoktur. Kısa polipropilen ve cam lifleri, bu açıdan yetersiz kalmıştır ve karışık lifli numuneleri de hiç etkilememiştir. Aslında bu durum, kullanılan çelik liflerin de kalitesini ortaya koymuştur. Çünkü piyasadaki birçok çelik lifin bu konuda yetersiz kaldığı bilinen bir gerçektir. Liflerin uçlarının kıvrık olması ve narinliğinin yüksek oluşu da, önemli bir etkindir.



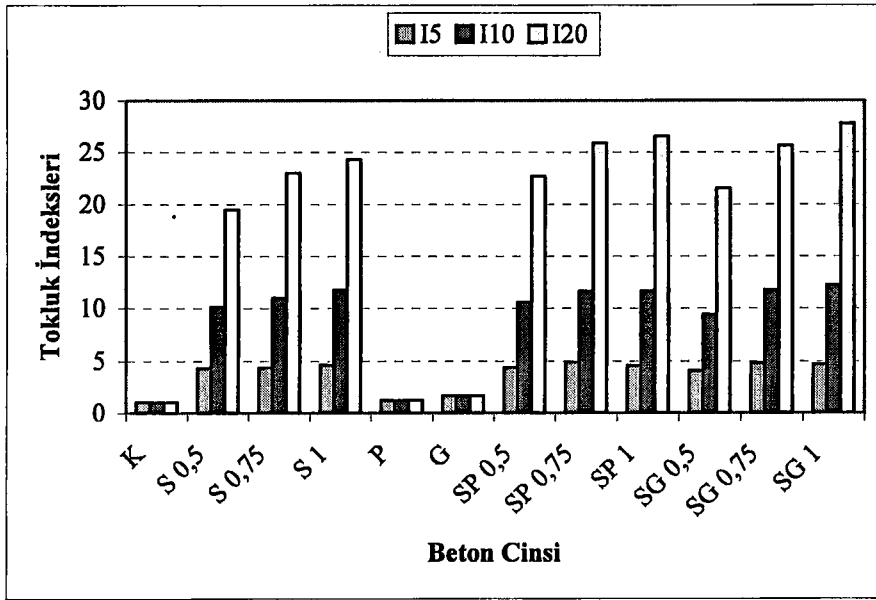
Şekil 4.34 28 günlük kiriş numunelerin tokluk değerleri.

Şekil 4.34’de görüldüğü gibi, polipropilen ve cam liflerin tek başına beton tokluğuna etkisi az ve birbirine yakındır. Bu liflerin tokluğa etkisinin az oluşu, daha çok liflerin kısa olmasına bağlanabilir. Çelik lifler tokluğa oldukça büyük etki yapmaktadır ve lif miktarı arttıkça tokluk artmaktadır. Çelik liflerin diğer liflerle karışık kullanılması, tokluk açısından hiçbir fayda sağlamamış, tam tersine tokluk değerini bir miktar düşürmüştür.



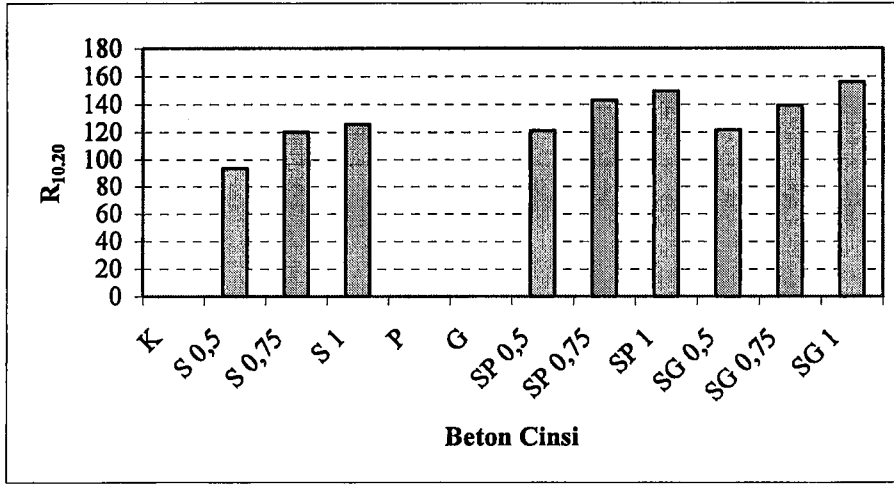
Şekil 4.35 28 günlük kiriş numunelerin dayanım ve hesaplanmış olan eşdeğer dayanımları.

Şekil 4.35'deki dayanım ve eşdeğer dayanımı gösteren grafiğe bakıldığında, bu grafiğin Şekil 4.34'deki tokluk grafiğine çok benzerlik gösterdiği dikkat çekmektedir. Lifli betonun tokluğunun yüksek çıkması dayanımın yüksek çıkmasına da bağlıdır. Nitekim 5 ve 6 numara ile gösterilen polipropilen ve cam lifli numunelere bakıldığında, cam lifi katkısındaki tokluğun daha yüksek çıkışının, dayanımın daha yüksek çıkmasından kaynaklandığı açıkça görülmektedir. Bununla beraber kontrol betonunda ve bu numunelerde, dayanım ve eşdeğer dayanım arasında büyük fark vardır. Fakat çelik ve karışık lifli numunelerdeki fark azdır ve dayanımlar arasında bir paralellik olduğu görülmektedir. Eşdeğer dayanımın lifli betonlarda yüksek olması ve dayanıma yakın olması istenir. Eşdeğer dayanım tokluğun bir göstergesidir.



Şekil 4.36 28 günlük kiriş numunelerin tokluk indeksleri.

Şekil 4.36’da verilen tokluk indeksleri grafiğinde; kontrol betonu, polipropilen lifli ve cam lifli betonların tüm indekslerinin yük-sehim eğrilerinin çok kısa olmasından dolayı eşit olduğu görülmektedir. Bu numunelerde en düşük değerleri kontrol betonu vermiş ve en yüksek değerler de cam lifli betondan elde edilmiştir. Fakat, çelik lifli betonların içindeki çelik liflerin uzun ve ucu kıvrık olmaları nedeniyle tokluk indekslerinin bu numunelere göre çok yüksek oluşu dikkat çekicidir. I_5 tokluk değeri tüm çelik lifli numunelerde aynıken, I_{10} ve I_{20} değerlerinin karışık lif kullanılanlarda bu büyüklüğün daha yüksek oluşu dikkat çekicidir. Burada, kısa cam ve polipropilen liflerinin indekslerinin artırıcı etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu etki yük sehim grafiğinin bu bölgede daha yüksek değer aldığını, yani bu bölgedeki dayanımların daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu da, kirişin tam ayrılmasının gecikmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 4.37 28 günlük kiriş numunelerin ilk çatlak ve maksimum yükleri.

Şekil 4.37'ye bakıldığında, bu grafiğin farklı bir durumu ifade ettiği hemen anlaşılmaktadır. Çünkü daha önceki grafiklerde diğerlerine göre hep daha yüksek değerler aldığı görülen, sadece çelik lif içeren betonlar; bu grafikte karışık lifli betonlara göre daha düşük değerler almıştır. Grafik I_{10} ve I_{20} tokluk indekslerine bağlıdır ve eğilme yükü-sehim eğrileri üzerinde, bu tokluk ölçümlerinin yapıldığı yerler arasında kalan bölgeyi göstermektedir. İki tokluk arasındaki farkın artması olumludur ve I_{20} indeksinin değer artışı grafiğin bu bölümde yüksek bir değerden geçmesine bağlıdır. Grafiğin bu eğilimi daha önceki literatür taramalarının yapıldığı Bölüm 2'deki tokluk konusunda da işlendiği gibi lifin tipine, narinliğine ve şekline bağlıdır. Burada, özellikle çelik liflerin yüksek narinlik değeri ve lif uçlarının kancalı olması değer artışında çok etkili olmuştur. Kontrol betonu, cam lifli ve polipropilen lifli betonlarda indeksler aynı olduğundan değerler sıfır (0) çıkmıştır ve grafikte görülememektedir.

4.3.7. Darbe Dayanımı

4.3.7.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Betonun darbe dayanımı tespiti 100x100x100 mm'lik standart küp numuneler üzerinde yapılmış ve bu numunelerin 28 günlük değerleri üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Deneyler, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

4.3.7.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Deneyin darbe düzeneği ile uygulanışı, Fotoğraf 4.11.'de görülmektedir. Deneyin uygulandığı cihaz, aslında BS (British Standart) 812'ye göre agrega darbe aşınmasının ölçümünde kullanılmaktadır. Yapılan darbe deneyi ACI 544.2R-89'da geçen ve aynı düzeneyle yapılan Drop-Weight deneyidir. Düşürülen ağırlığın numune üzerinden yüksekliği 380 mm, ağırlığı 13.5-14 kg'dır.

Cihazda her darbeden sonra yük altındaki betonda kayma olup olmadığına bakılmış ve kırılacak betonun darbe uygulayacak silindir kısmın tam altına denk gelmesi sağlanmıştır. Yükü sabitlemek için üstte bulunan bir pim ve darbe sayısını yazan bir de numarator bulunmaktadır. Deney esnasında ilk çatlağın oluştuğu anın ve numunede kırılma anının tespiti yapılmıştır.



Fotoğraf 4.11 Darbe deneyi düzeneği.

Tablo 4.9’da, 28 günlük tüm küp numunelerde ilk çatlağı meydana getiren darbe sayısı ve dayanabildikleri darbe sayısı verilmektedir.

Tablo 4.9 100x100 mm’lik betonların darbe deneyi sonuçları.

Numune Numarası	Beton Cinsi	İlk Çatlak Darbe Sayısı	Kırılma Darbe Sayısı
1	K	8	13
2	S 0.5	7	31
3	S 0.75	9	32
4	S 1	10	42
5	P	5	26
6	G	11	28
7	SP 0.5	6	32
8	SP 0.75	7	39
9	SP 1	6	54
10	SG 0.5	8	44
11	SG 0.75	12	48
12	SG 1	11	54

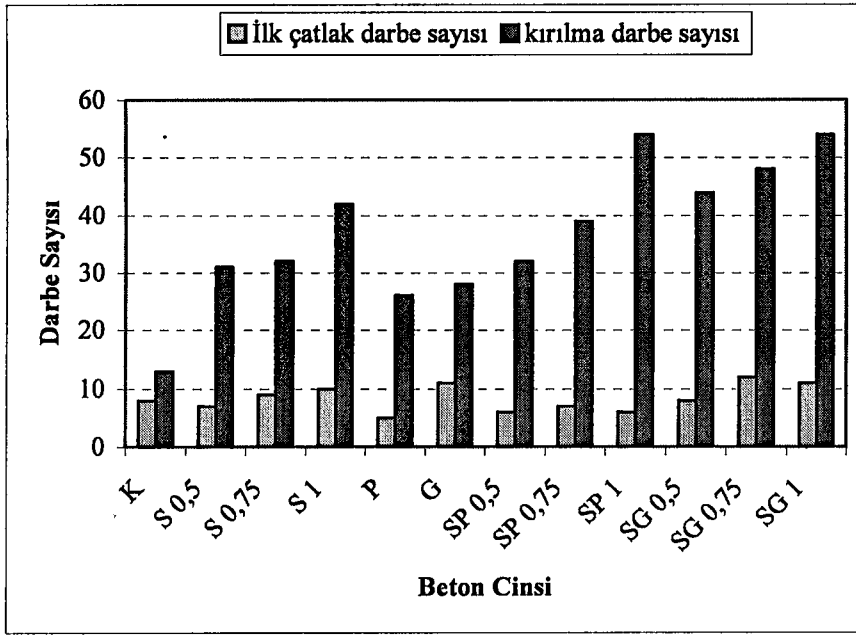
4.3.7.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması



Fotoğraf 4.12 Numunelerin darbe deneyi sonundaki durumları.

Deney sonunda özellikle lif içeriği yüksek numunelerde (% 0.75 ve daha fazla) çoğu zaman tam bir kırılma meydana gelmeden deneye son verilmiştir. Bu numunelerde daha çok ezilme oluşmuştur ve özellikle de lif içeriği % 1 ve daha üstündeki numunelerde büyük parçaların kopması pek gerçekleşmemiştir. Bu yüzden numunede derin yarıklar görüldüğü ya da dengesiz ve büyük ezilmeler meydana geldiği anda deneye son verilmiştir. Yalnız cam ve polipropilen lif içeriğine sahip numunelerde büyük parçaların koptuğu, ama bunun kontrol numunelerine göre daha yavaş ve düşük olduğu görülmüştür (Fotoğraf 4.12).

Numunelerin ilk çatlak oluşumları da lif davranışının etkisini göstermek açısından oldukça önem arz etmektedir. Özellikle de ilk çatlak oluşuran darbe ile kırılmayı meydana getiren darbe arasındaki darbe farkı, lifin numunedeki çatlak oluşumunu ne derece engellediğini ve tam kırılmayı ne kadar geciktirdiğini göstermektedir.



Şekil 4.38 Beton numunelerin darbe sayısı grafiği.

Şekil 4.38’de görülen grafik, ilk çatlak darbe sayısı ve kırılma darbe sayısını göstermektedir. Kırılma darbe sayısı ile ilk çatlak darbe sayısı arasında pek ilişki olmadığı burada net bir şekilde görülmektedir. Burada kontrol betonu ile diğer lifli betonlar arasında bariz ve çarpıcı bir kırılma darbe sayısı farkı olduğu, ama bunun ilk çatlak darbe sayısında olmadığı anlaşılmıştır.

Kontrol betonunda ilk çatlak oluşumu ile tam kırılma anı oldukça yakındır. Zaten ilk çatlak oluşuktan sonra matrisi bir arada tutacak başka bir malzeme bulunmadığından çatlaklar çabuk büyüyerek kırılmaya yol açmaktadır.

Sadece polipropilen ve cam lifi katılmış olan betonlarda (P ve G) liflerin hacimsel miktarları çok düşük olmasına karşın, betondaki kırılma sayısında % 100 başarı sağladıkları görülmüştür. Polipropilen lifli betonda ilk çatlak daha erken görülmesine rağmen, liflerin uzun süre matrisi bir arada tutmuş olması çok önemlidir. Burada cam liflerin betona karıştırıldıklarında daha iyi yayılmalarının az da olsa polipropilen liflere nazaran daha etkili olduğu görülmüştür.

Çelik liflerin hacimsel yüzde oranlarının daha fazla olması kırılmayı daha da geciktirmiş ve bu oranlar arttıkça matrisin başarısı daha da artmıştır. Lif uçlarının kıvrık oluşu, çatlak gelişimlerini engellemede büyük pay sahibidir.

Liflerin beraber kullanılışı; artan lif sayısı ile birlikte, kırılma darbe sayısını da doğru orantılı olarak artırmıştır. Özellikle çelik+cam lifi kullanılan numunelerin hem ilk çatlak hem de kırılma oluşumları çok gecikmiştir.

% 1 hacimsel sade ve karışık çelik lif içeriğine sahip numunelerde kırılma darbe sayılarının, % 0.75 lif içeriğine göre çok daha yüksek olması dikkat çekicidir.



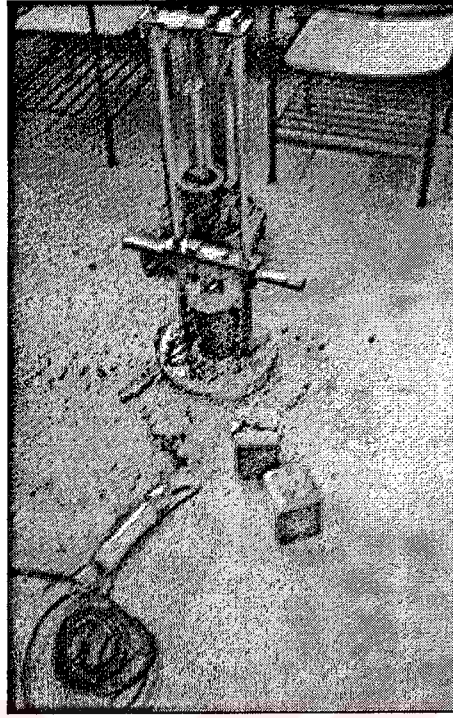
4.3.8. Yorulma Dayanımı

4.3.8.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Betonların yorulma dayanımı tespiti; 100x100x100 mm'lik standart küp numuneler üzerinde yapılan darbe deneyleri yardımı ile, bu numunelerin 28 günlük ultrasonik ses hızı değerleri üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Deneyler, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

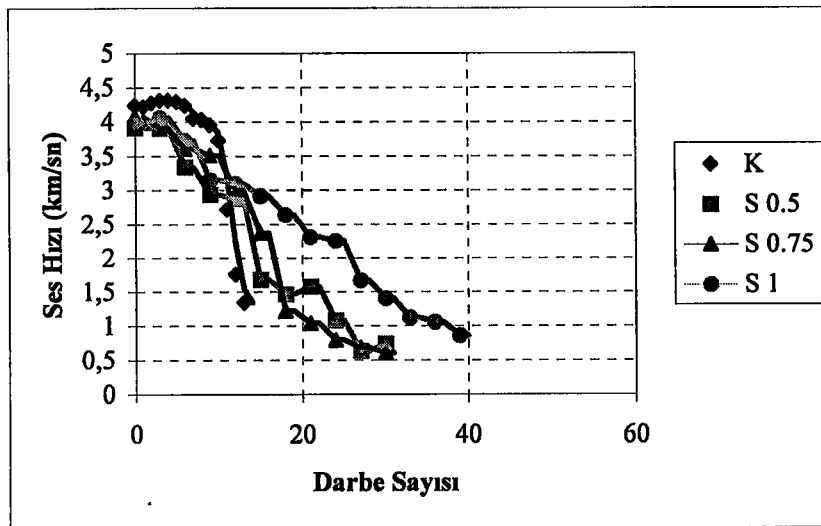
4.3.8.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Betonlar üzerine darbe deneyleri uygulanırken, kontrol betonunda her darbeden sonra, diğer numunelerde 3 darbede bir ultrasonik ölçüm yapılmış ve elde edilen veriler yardımı ile yorulma grafikleri oluşturulmuştur. Ölçümler, küp numunelerin yan yüzlerinde hep aynı yerden olacak şekilde düzenli bir şekilde yapılmış ve numuneler kırılıncaya kadar devam edilmiştir (Fotoğraf 4.15). Cihazın silindirleri ölçüm esnasında belirli aralıklarla gres yağı ile yağlanarak, silindirlerin numunelere tam temas etmesi sağlanmıştır. Değerler; üç defa ardışık ölçüm yapıp alınarak, cihazdan meydana gelebilecek yanlışlar ortadan kaldırılmıştır.



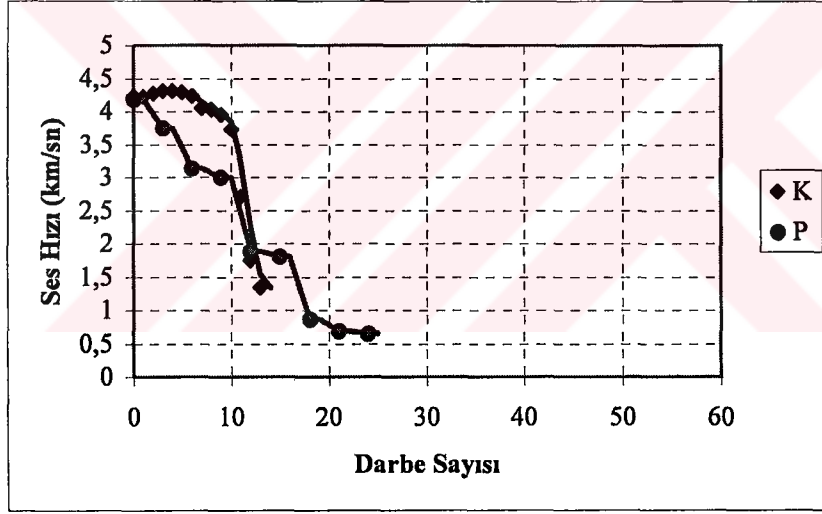
Fotoğraf 4.13 Ultrasonik ses cihazı ile ölçülen darbe dayanımı numuneleri.

4.3.8.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması



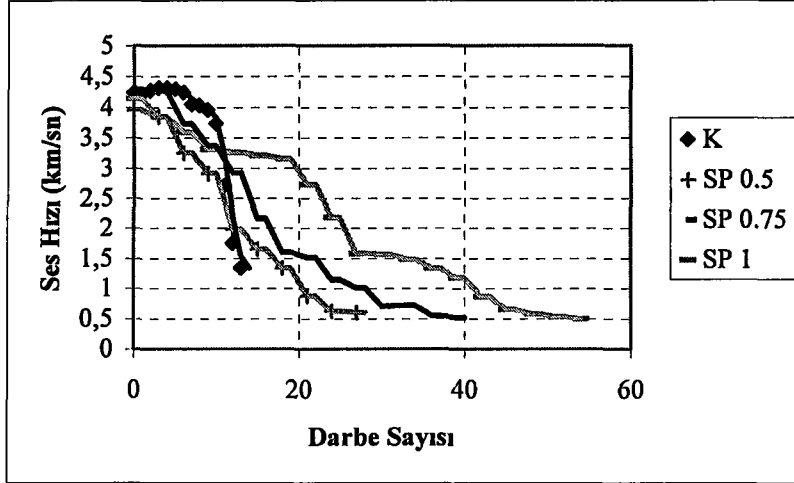
Şekil 4.39 Kontrol betonu ve çelik lifli betonların yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı-darbe sayısı grafiği.

Şekil 4.39’da verilen ses hızı-darbe sayısı eğrisinde, çelik lif içeren betonların eğrisi ile kontrol betonu eğrisi arasında büyük bir fark bulunduğu görülmektedir. Kontrol betonu daha gevrek davranarak, önce daha yüksek değerler vermiştir. İlk çatlaktan sonra çok az darbeye dayanabilmiş, ultrasonik ses hızı çok hızlı düşüş yapmış ve numune hemen kırılmıştır. Diğer eğrilerden; özellikle % 1 çelik lif içeren numunelerin eğrilerinin daha yatık olduğu; yani daha fazla darbeye dayanarak, ses hızının bu numunelerde daha yavaş düştüğü görülmektedir. Burada, eğrilerin ilk çatlağa kadar olan bölümlerinin yatay gittiği ve hatta numunedeki ezilmeden dolayı bir miktar da arttığı dikkate alınarak, ilk çatlağın darbe tesirinde ne kadar önemli olduğu da ortaya çıkmaktadır. Lif sayısı yüksek numunelerde tam kırılma sağlanamamakta ve cisimler yüksek deformasyon özelliği göstermektedir.



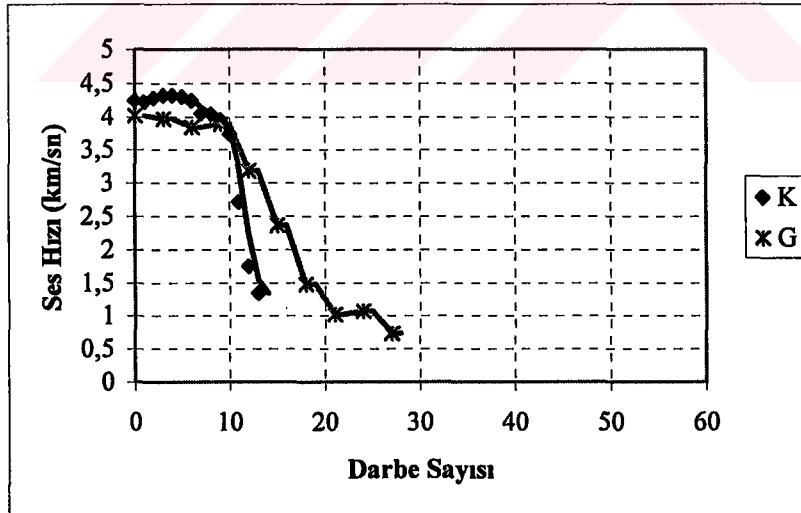
Şekil 4.40 Kontrol betonu ve polipropilen lifli betonun yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı-darbe sayısı grafiği.

Şekil 4.40’da verilen eğriler üzerinde kontrol betonu ile polipropilen lifli betonların eğrisi kıyaslandığında; darbe etkisi ile ses hızının polipropilen lifli betonlarda kademeli olarak düştüğü görülmektedir. Polipropilen lifli betonlarda lifler, böylece daha fazla deformasyon kabiliyeti ve daha uzun dayanım sağlamış ve matrisi birarada tutarak kırılmayı geciktirmişlerdir.



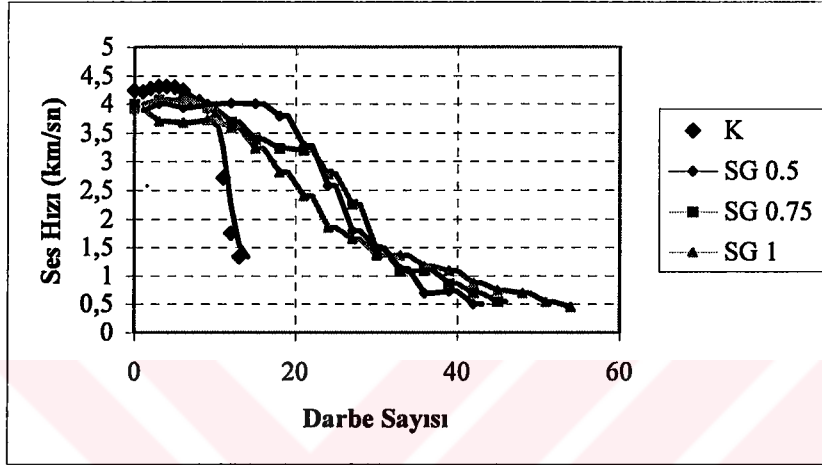
Şekil 4.41 Kontrol betonu ve çelik+polipropilen lifli betonların yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı darbe sayısı grafiği.

Şekil 4.41’de görüldüğü gibi polipropilen lif takviyesi, çelik lifli betonların eğrisini daha yatıklaştırmış ve lif takviyesi sayısını artırarak betonun parçalanmasını da zorlaştırmıştır.



Şekil 4.42 Kontrol betonu ve cam lifli betonun yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı-darbe sayısı grafiği.

Şekil 4.42’de görülen grafikte cam lifli betonda; ilk çatlaktan sonra ses hızı düşüşünün hızlandığı, ama bu düşüşün kontrol betonuna göre daha yavaş olduğu görülmektedir. Ayrıca, cam lifler de yine polipropilen lifler gibi parçalanmayı yavaşlatmıştır.



Şekil 4.43 Kontrol betonu ve çelik+cam lifli betonların yorulmasını gösteren ultrasonik ses hızı-darbe sayısı grafiği.

Şekil 4.43’deki eğrilerde; çelik lifli betonlarla cam lifinin kullanılmasının en iyi performansı sağladığı görülmektedir. Eğriler çelik+polipropilen liflerdeki gibi oluşmuş ve beton, özellikle çelik lif içeriği arttıkça yüksek performans göstermiştir.

4.3.9. Rötre

4.3.9.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

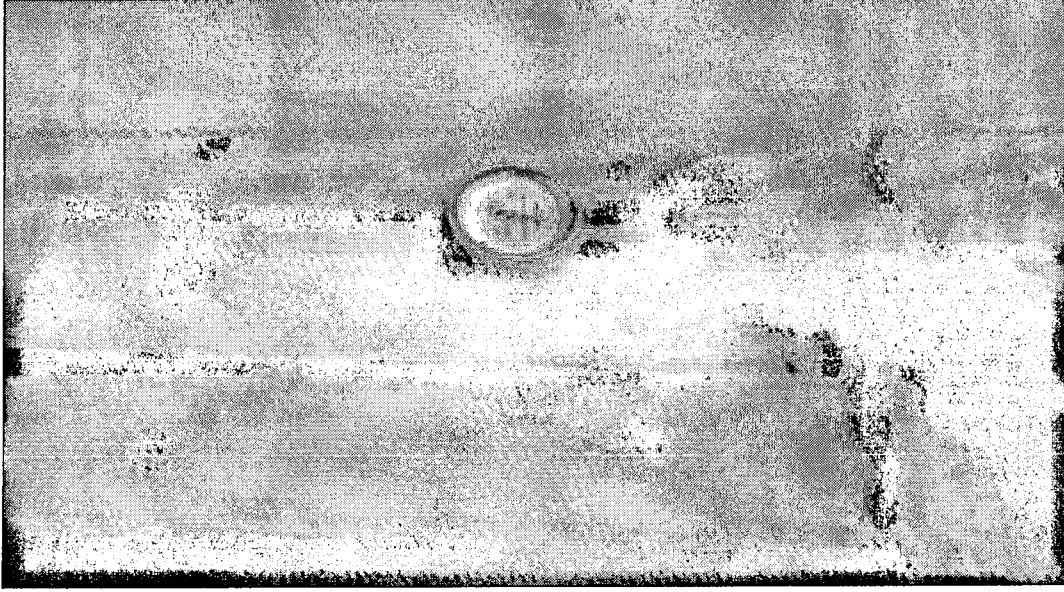
Betonların rötre tespiti; TS 3322'ye uygun şekilde, 100x100x300 mm'lik standart prizma numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu numunelerin bir kısmı havada (23 ± 2  C sıcaklık, $\% 50 \pm 4$ bağıl nem) ve bir kısmı suda (23 ± 2  C sıcaklık) bekletilerek; 3 gün, 7 gün, 28 gün, 8 hafta (56 gün) ve 16 haftalık (112 gün) rötre değerleri üç numune ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Deneyler, Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Laboratuvarı'nda ve Düzce Meslek Yüksekokulu İ aat Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Numuneler 100x100x300 mm'lik kalıplarda iki kademede ve 25 kez   lenerek hazırlanmış ve dökümden hemen sonra daha önceden hazırlanmış olan pimler rötre cihazının ayar çubuğunun boyutuna göre ayarlanarak numunelerin üzerine oturtulmuştur. Pimler, üzerlerine yiv açılmış olan büyük vidalar ve vidanın betona batmasını önleyecek olan lastik contalardan oluşmaktadır. Yiv  apı, rötre cihazının uçlarının tam oturmasını sağlayacak ve kaymasını önleyecek şekilde ayarlanmıştır.

Cihaz dijital olmamakla beraber, üzerindeki en k  k taksimat 0.002 mm'yi göstermekte ve değerler k  k ve büyük boyutlu iki skala üzerinden okunmaktadır. K  k skala üzerindeki her birim, büyük  kaladaki 100 birime denk gelmektedir. Böylece okumalarda hassasiyet sağlanmaktadır.

4.3.9.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Deneyin rötre cihazı ile uygulanışı, Fotoğraf 4.14.'de görülmektedir. Cihaz her okumadan önce kalibrasyon çubuğu ile kalibre edilmiştir. Okumalar yapılırken, önce rötre cihazının hareketli ucu pim üzerindeki yive, daha sonra da sabit uç diğer pim üzerindeki yive oturtulmuştur. Skalalardan okunan değerler not edilmiştir.



Fotoğraf 4.14 Rötire ölçüm cihazı ile ölçülen numuneler.

Rötire, cisimde meydana gelen bir deformasyondur ve formülü de deformasyon formülünden yola çıkılarak oluşturulmaktadır. Bu formül aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Suda saklanan deney numunelerinde boy değişim oranı (B_n), n günlük boy farkından (Δl_n) 1 günlük boy farkı (Δl_{28}) çıkarılarak, 1 günlük boy bölünmesi ($l_0 + \Delta l_1$) ile bulunmaktadır.

$$B_n = \frac{\Delta l_n - \Delta l_1}{l_0 + \Delta l_1}$$

8 ve 16 hafta havada saklanan deney numunelerinde boy değişim oranı (B_n), 28 günlük boy farkından (Δl_{28}) haftalara karşılık gelen “ n ” günlük boy farkı (Δl_n) çıkarılarak, 28 günlük boy bölünmesi ($l_0 + \Delta l_{28}$) ile bulunmaktadır

$$B_n = \frac{\Delta l_1 - \Delta l_n}{l_0 + \Delta l_1}$$

Yukarıdaki formüller kullanılarak, rötre değerleri hesaplanmış ve tablo haline getirilmiştir. Tablo 4.10'da havada saklanmış prizmatik numunelerin rötre değerleri ve Tablo 4.11'de suda saklanmış prizmatik numunelerin rötre değerleri verilmektedir.

Tablo 4.10 Numunelerin 3, 7, 28, 56 ve 112 günlük büzülme miktarlarının gösterilmesi.

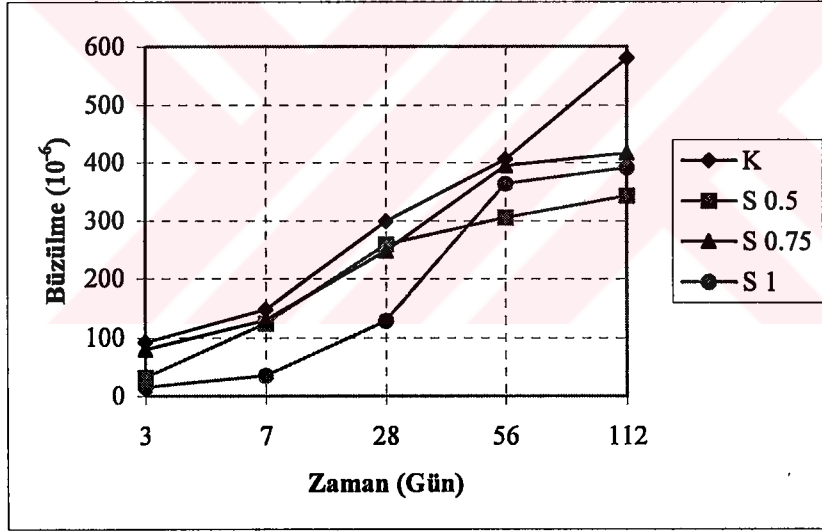
Beton Cinsi	Büzülme (10 ⁻⁶)				
	Saklama Süresi (gün)				
	3	7	28	56	112
K	92	147	298	406	580
S 0.5	32	124	259	305	342
S0.75	80	129	247	394	417
S1	15	35	128	364	391
P	35	80	203	445	522
G	95	159	314	481	590
SP 0.5	9	131	280	354	370
SP0.75	23	89	259	406	424
SP1	10	125	306	425	435
SG0.5	57	172	396	445	473
SG0.75	50	184	334	391	542
SG1	50	160	219	314	470

Tablo 4.11 Numunelerin 3, 7, 28, 56 ve 112 günlük büzülme miktarlarının gösterilmesi.

Beton Cinsi	Şişme (10 ⁻⁶)				
	Saklama Süresi (gün)				
	3	7	28	56	112
K	60	99	149	149	179
S 0.5	98	128	177	197	197
S0.75	95	118	163	191	212
S1	69	148	237	257	287
P	80	80	129	249	338
G	10	79	129	146	152
SP 0.5	80	159	169	209	219
SP0.75	77	111	150	201	210
SP1	90	199	219	249	249
SG0.5	10	50	60	106	111
SG0.75	10	50	50	108	109
SG1	10	60	60	106	109

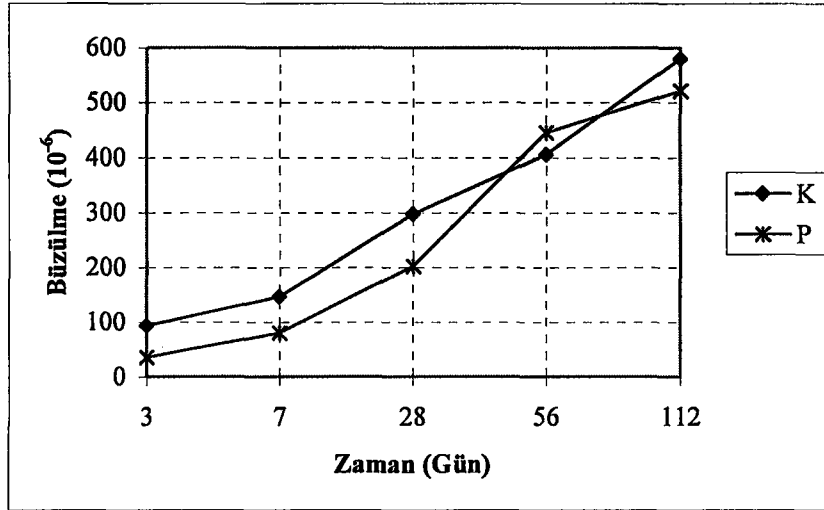
4.3.9.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

Suda ve havada saklanmış beton numuneler üzerinde şişme ve büzülme tespiti için yapılmış olan deneylerde, çimento ve katkı maddesinin etkisi kaçınılmazdır. Suda saklanan numuneler sürekli su ile temas ettiğinden gözeneklerden su emerek şişme göstermiş, bunun yanında havada saklanan numuneler kuruma rötresine maruz kalarak, bünye suyunu kaybetmiştir. Rötire çatlaklarını her zaman önemli şekilde azaltan liflerin, boyut değişimine çok fazla etki yapmadığı daha önceki literatür çalışmalarından bilinmektedir. Fakat bu çalışmadaki lif etkisi, yukarıdaki Tablo 4.10 ve 4.11'deki verilerin grafiğe dönüştürülmesi ile anlaşılabacaktır.



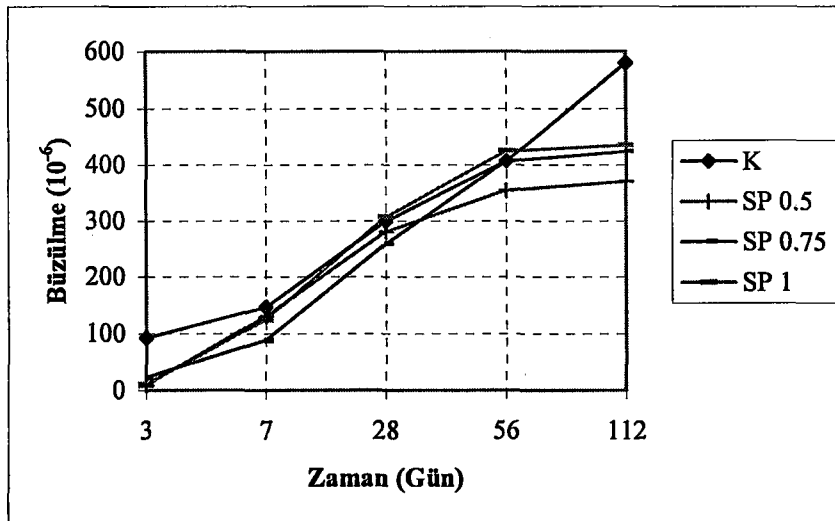
Şekil 4.44 Çelik liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.

Şekil 4.44'de görüldüğü gibi çelik lifler betonda rötreyi azaltmaktadır. Bunun en büyük sebebi liflerin uç kısımlarının kıvrık olması ve büzülme anında liflerin direnmesidir. Ayrıca lif içeriğinin artması beton harcında çimento miktarının da azaltılmasını gerektirir. Çimento beton rötire olayına en fazla etkileyen malzeme olduğundan miktarındaki azalma rötreyi de azaltmaktadır.



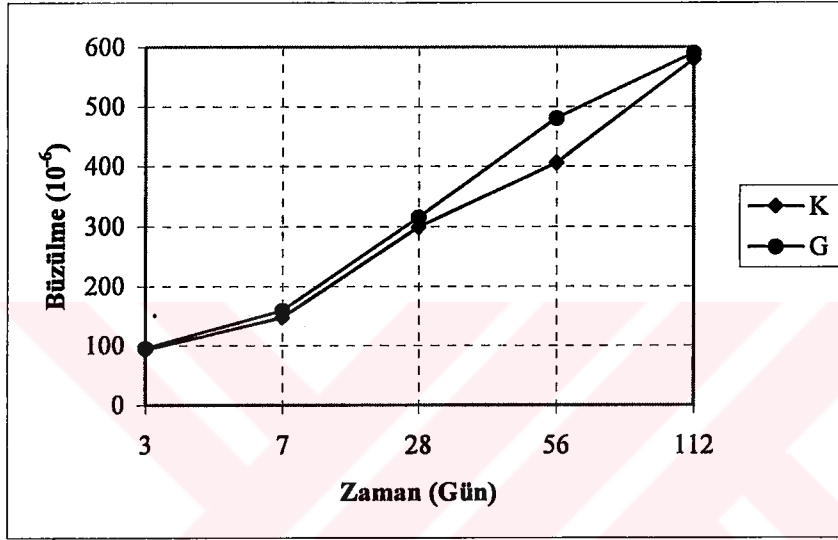
Şekil 4.45 Polipropilen liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.

Polipropilen lifler de çelik liflere benzer şekilde betonun rötresini azaltmaktadır. Fakat, bunu matristeki lif miktarının artması ve liflerin mikro yapıları sayesinde başarmaktadır (Şekil 4.45). Ayrıca, bu liflerin beton yüzeyinde çok ince ve pamuğa benzer bir yapıda görüldüğü ve yüzeye cam liflere nazaran daha fazla nüfuz ettiği görülmüş ve bunun da rötreyi azaltmasında en büyük nedenlerden biri olduğu düşünülmüştür. Çünkü lifler, yüzey gerilimlerini de azaltmaktadır.



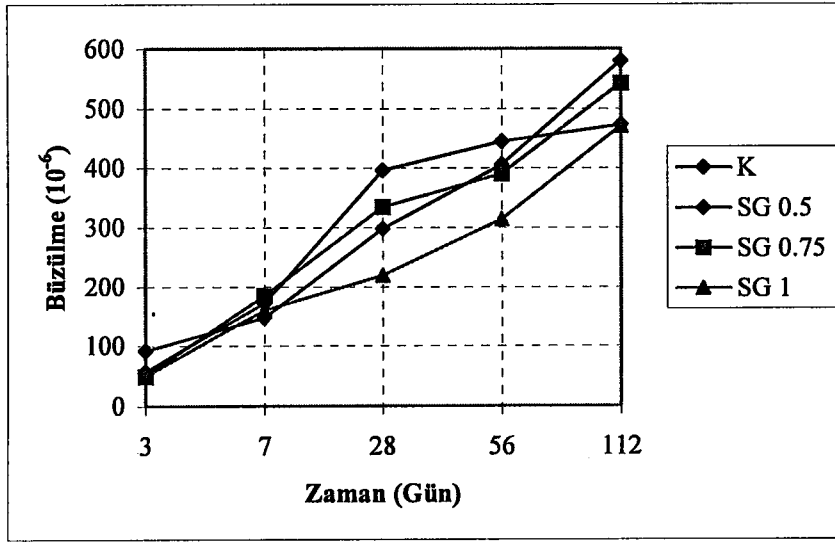
Şekil 4.46 Çelik+polipropilen liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.

Çelik liflerin polipropilen liflerle karışık kullanılması da yine Şekil 4.46'da görüldüğü gibi, betonda büzülme miktarını azaltmaktadır. Özellikle sadece çelik lif kullanılan ve karışık lifli betonlarda en çok göze çarpan, 56. günden sonraki artışın kontrol betonunun aksine çok düşmesidir.



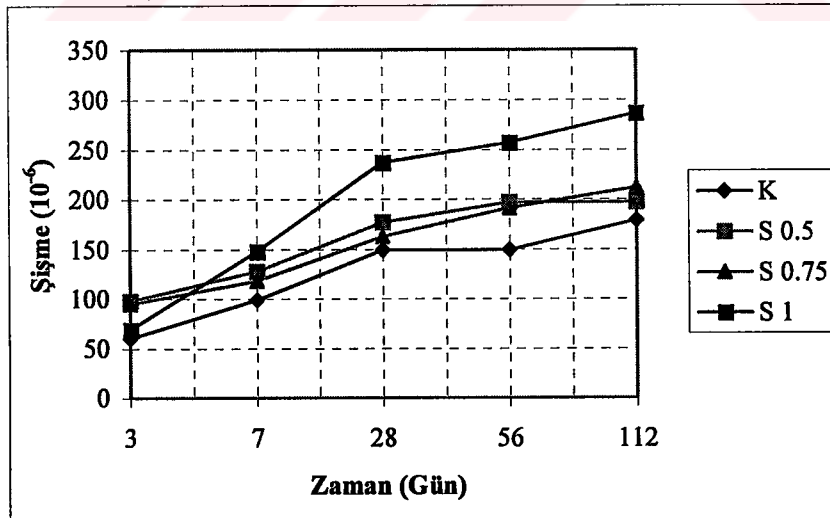
Şekil 4.47 Cam liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.

Cam lifler betona büzülme açısından olumsuz tesir etmekte; ama 112. günde büzülme miktarının yaklaşık eşit olduğu görülmektedir (Şekil 4.47). İlerleyen günlerde betonda bu liflerin daha iyi tesir göstermesi muhtemeldir. Cam lifler beton harcını kurutucu ve suyu itici tesir yapmaktadır. Bu durum karışımlarda bizzat gözlenmiştir. Bu tesir nedeniyle, cam lifli betonda daha fazla büzülme meydana gelmesi doğaldır.



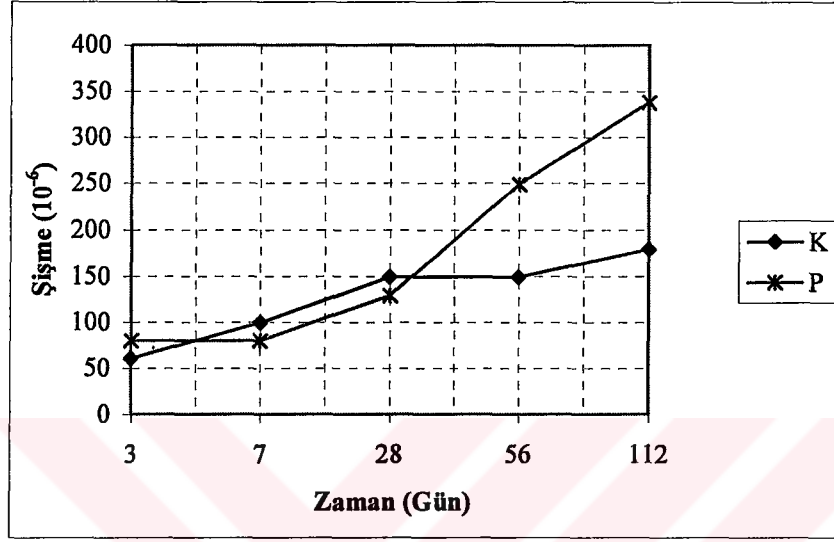
Şekil 4.48 Çelik+cam liflerin betonda zamana bağlı büzülme etkisi.

Cam+çelik lifler, Şekil 4.48’de görüldüğü gibi, betona özellikle 3. ve 112. günde olumlu tesir etmektedir. Diğer günlerdeki seyri kontrol betonunkine yakındır. 56. günden sonra lifli betonların grafiği kontrol betonuna göre daha yatay eğilimdedir.



Şekil 4.49 Çelik liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.

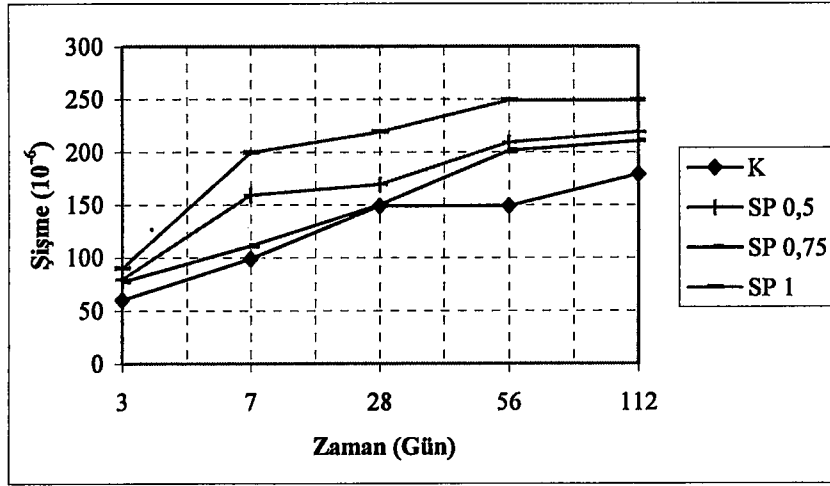
Şekil 4.49'da görülen grafikte çelik liflerin betondaki şişme miktarını artırdığı görülmüştür. Bu da, lif-matris arayüzeyindeki kılcal boşlukların su emerek şişmesiyle açıklanabilir. Lif içeriğinin % 1'den küçük olması, rötre açısından daha olumludur.



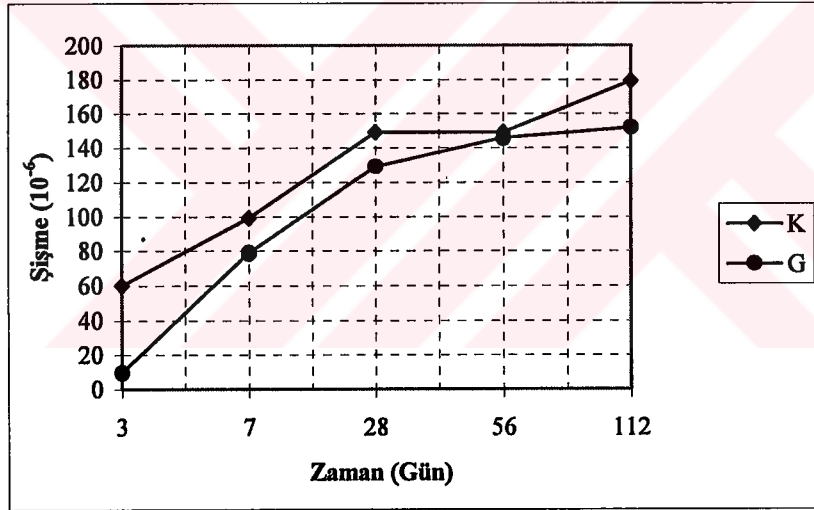
Şekil 4.50 Polipropilen liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.

Polipropilen lifler betonda, özellikle 28 günden sonra şişmeyi artırmaktadır (Şekil 4.50). Bu lifler, suyu yüzeylerinde tutabilen bir yapıda olmalarından dolayı şişmeyi artırmış ve özellikle de 28 günden sonra daha etkili olmuşlardır. Polipropilen liflerin yüzeye de daha fazla nüfuz etmesi de yine, yüzeyde şişme miktarını artırmaktadır.

Polipropilen lifler çelik liflerle birlikte daha da olumsuz tesir yapmakla beraber, bu etki 56 günden sonra çelik lifin etkisi ile yavaşlamaktadır (Şekil 4.51). Bu grafikler, çelik lifli betonların grafiğine çok benzemektedir. Fakat daha belirgindir ve yine % 1 lif içeriği en yüksek şişmeyi vermesine rağmen, % 0.75 çelik lif içeriğinin % 0.5 çelik lif içeriğinden daha olumlu olduğu görülmektedir. Bunu; lif miktarı arttığı zaman, bir yandan lif-matris arayüzey miktarı artarken, diğer yandan liflerin ucu kancalı olduğundan şişmeye karşı koymasıyla açıklamak mümkündür. Diğer yandan, % 0.75 çelik lif içeriği katkısı, kritik sınır olarak kabul edilebilir.

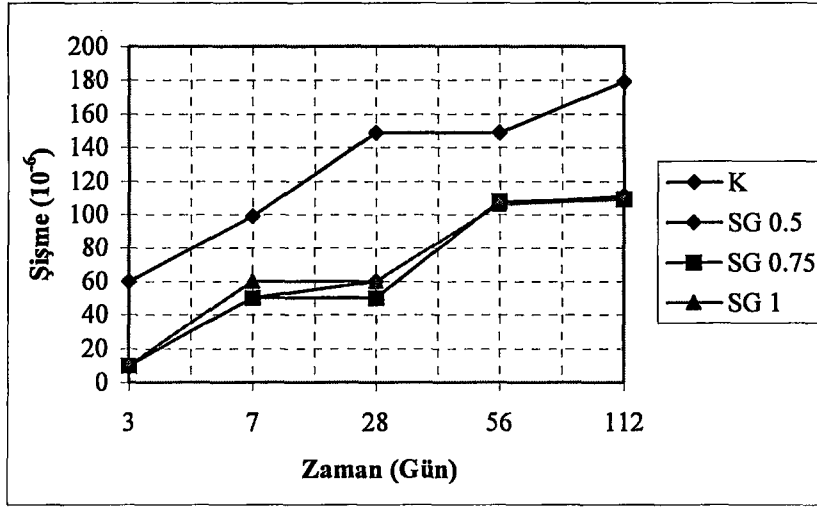


Şekil 4.51 Çelik+polipropilen liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.



Şekil 4.52 Cam liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.

Cam liflerin su itici özelliği şişmeyi azaltmıştır (Şekil 4.52). Bu olay polipropilen liflerin zıttıdır. Genel olarak, eğri kontrol betonunun eğrisine paralellik göstermektedir.



Şekil 4.53 Çelik+cam liflerin betonda zamana bağlı şişme etkisi.

Şekil 4.53'de görülen grafik şimdiye kadarkilerin en ilgi çekici olanıdır. Çünkü çelik lifler tek başlarına, betonda cam lifine göre zıt ve olumsuz tesir göstermekte; ancak beraber kullanıldıklarında şişme, cam lifli betonunkinden daha az olmaktadır. Bunu çelik liflerin gerilmelere karşı koymasına ve cam liflerin beton matrisi kaplayarak suyu itmesi ile çelik lif-matris arayüzeyine daha az su girmesine bağlamak mümkündür.

4.3.10. Donma-Çözülme Etkisi

4.3.10.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

Betonda donma-çözülme deneyi ASTM C 666'ya göre, 80x80x360 mm'lik standart prizmatik numuneler üzerinde yapılmış ve bu numuneler 28 gün suda bekletildikten sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyi yapacak cihaz bulunamadığı için, numuneleri aynı anda ve aynı ortam içine alabilen, -35 °C'ye kadar soğutma yapabilen, 600x1250x650 mm boyutlarına sahip bir derin dondurucu kullanılmıştır.

Dolapta numunelerin oturacağı kısmın tabanına belirli aralıklarla ahşap çiteler (su emmemesi için yüzeyi yat verniği ile verniklenmiş ve üstü parafinle kaplanmıştır) konulmuştur. Bu sayede numunelerin altından da hava sirkülasyonunun sağlanması amaçlanmıştır.

Donma-çözülme deneyini ASTM C 666'ya uygun şekilde yapabilmek için, öncelikle ısı transferi hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Çünkü, numunelerin iç sıcaklığının deneyin yapıldığı ortamda istenen sıcaklıklara ne kadar zamanda geleceğini bilmek başka türlü mümkün değildir. Bu standartta, dondurucu sıcaklık seçimi ve bekletme süreleri istenen şartları sağlamak koşulu ile serbest bırakılmıştır.

Standartta donma safhasında numune iç sıcaklığının 17.8 ± 1.7 °C sıcaklığa ve çözülme safhasında ise, 4.4 ± 1.7 °C sıcaklığa getirilmesi istenmektedir. ayrıca, donma ve çözülme süreleri toplamının maksimum 4 saat, minimum 2 saat ve çözülme süresinin toplam sürenin beşte biri veya daha az olması da gerekmektedir.

İşte bu şartları sağlamak amacı ile yapılmış olan ısı transfer hesapları aşağıda gösterilmiştir.

Betonun ısı iletkenliği hesap değeri: $\lambda = 1.75$ kcal/mh°C

$$\lambda = 1.75 \times 1.163 = 2.03 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Betonun özgül ağırlığı:

$$\gamma = 2.4 \text{ kg/dm}^3 \Rightarrow \gamma = 2400 \text{ kg/cm}^3$$

Beton için özgül ısı kapasitesi (C_p):

$$C_p = 880 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

Soğutucu ortamın ısı taşınım katsayısı (α):

$\alpha = 5-15$ arasında alınabilir (soğutucu ortamda doğal konveksiyon mevcuttur).

Derin dondurucu ortam sıcaklığı $T_\infty = -20^\circ\text{C}$ alınmış olup, numune ilk sıcaklığı $T_i = 20^\circ\text{C}$ kabul edilmiştir. Numunenin soğutulduktan sonra merkezinin ulaşacağı sıcaklık $T_0 = -18^\circ\text{C}$ 'dir. Bu sıcaklığa ulaşabilmek için gerekli zaman aşağıda hesaplanmıştır:

Zamana bağlı ısı transferi problemlerinde Biot sayısı (Bi) hesaplanmaktadır:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot L_k}{\lambda}$$

Yukarıdaki formülde görülen cismin karakteristik uzunluğu (L_k), cismin hacminin alanına bölümüyle bulunmaktadır:

$$L_k = V / A = (80 \times 80 \times 360) / (20 \times 80 \times 80 + 40 \times 80 \times 360) = 18 \text{ mm} \Rightarrow 0.018 \text{ m}$$

$$Bi = 10 \times 0.018 / 2.03 = 0.088$$

Biot sayısı 0.1'den küçük olduğunda çözüm için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

$$\frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-Bi \cdot Fo}$$

Yukarıdaki formülde Fo Fourier sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Fo = \frac{a_k \cdot t}{L^2}$$

Burada $a_k = \frac{\lambda}{\gamma \cdot C_p}$ olup, ısı yayılım katsayısıdır. Hesaplara devam edilecek olursa:

$$a_k = \frac{2.03}{2400 \cdot 880} = 0.96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{sn}$$

$$\frac{-18 - (-20)}{20 - (-20)} = e^{-0.088 \cdot \frac{0.96 \cdot 10^{-6} \cdot t}{(0.018)^2}}$$

$$\ln(0.05) = \ln(e^{-2.6 \cdot 10^{-4} \cdot t})$$

$$-2.995 = -2.6 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot \ln e$$

$$t = 11520 \text{ sn}$$

$t = 3$ saat 12 dakika olarak ilk donma süresi belirlenmiş olur. Bu süre, numune sudan ilk çıkarılıp dondurucuya konduğunda, numune ısısının -18°C 'ye ulaşması için geçen süredir. Bundan sonra çözünme aşaması için su banyosu sıcaklığının (T_∞) hesaplanması gereklidir.

$$T_i = -18^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 4.5^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = ?$$

Toplam süreyi 3 saat kabul ettiğimizde, çözülme süresi bu sürenin beşte biri veya daha az olmak zorundadır. Çözülme süresi bu sürenin beşte biri olarak kabul edilirse, $3 \times 0.2 = 0.6$ saat veya 36 dakika olarak bulunur.

Suyun ısı transfer katsayısı $\alpha = 30-300 \text{ W/m}^2\text{C}$ arasında alınabilir. Ortalama bir değer olarak $\alpha = 150 \text{ W/m}^2\text{C}$ seçilirse, Biot sayısı

$$Bi = 150 \times 0.018 / 2.03 = 1.33 \text{ olarak bulunur.}$$

Biot sayısı değeri 0.1'in üstüne çıktığı zaman grafik çözüm yapılması gerekir.

Cisimde üç boyutlu bir ısı iletimi söz konusudur.

1. boyut:

$$L_1 = 80/2 = 40 \text{ mm} \Rightarrow L_1 = 0.04 \text{ m}$$

$$Bi = 150 \times 0.04 / 2.03 = 2.95$$

$$1/Bi = 0.34$$

$$Fo = a.t / L_1^2 = 0.96.10^{-6}.2160 / (0.04)^2 = 1.3$$

Şekil 1'den $Fo = 1.3$ ve $1/Bi = 0.34$ için

$$\theta_{01} = 0.2 \text{ bulunur.}$$

2. boyut:

$$L_2 = 80/2 = 40 \text{ mm} \Rightarrow L_2 = 0.04 \text{ m}$$

$$Bi = 150 \times 0.04 / 2.03 = 2.95$$

$$1/Bi = 0.34$$

$$Fo = a.t/L_2^2 = 0.96.10^{-6}.2160 / (0.04)^2 = 1.3$$

Şekil 1'den $Fo = 1.3$ ve $1/Bi = 0.34$ için

$$\theta_{02} = 0.2 \text{ bulunur.}$$

3. boyut:

$$L_3 = 360/2 = 180 \text{ mm} \Rightarrow L_3 = 0.18 \text{ m}$$

$$Bi = 150 \times 0.18/2.03 = 13.3$$

$$1/Bi = 0.075$$

$$Fo = a.t/L_3^2 = 0.96.10^{-6}.2160 / (0.18)^2 = 0.064$$

Şekil 1'den $Fo = 0.064$ ve $1/Bi = 0.075$ için

$$\theta_{03} = 0.95 \text{ bulunur.}$$

$$\theta_0 = \theta_{01} \cdot \theta_{02} \cdot \theta_{03} = 0.2 \cdot 0.2 \cdot 0.95 = 0.038 \text{ bulunur.}$$

$$\theta = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = 0.038$$

$$-\frac{4,5 - T_{\infty}}{18 - T_{\infty}} = 0.038 \Rightarrow T_{\infty} = 5.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Sıcaklığı 5.4 °C olan suya konan numunenin 36 dakika sonra merkez sıcaklığı 4.5 °C'ye ulaşır. Bundan sonra bulunması gereken, numunenin derin dondurucuya konduğunda merkez sıcaklığının -18 °C olabilmesi için ne kadar süre bekletilmesi gerektiğidir.

Daha önce ilk dondurucuda bekletme süresinin hesabında bulunan değerler; $L = 0.018 \text{ m}$, $Bi = 0.088$, $a = 0.96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn}$ aşağıdaki formülde yerine konulursa,

$$\frac{T_0 - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-Bi \cdot Fo}$$

$$\frac{-18 - (-20)}{4.5 - (-20)} = e^{-0.088 \cdot \frac{0.96 \cdot 10^{-6} \cdot t}{(0.018)^2}}$$

$$\ln(0.081) = \ln(e^{-2.6 \cdot 10^{-4} \cdot t})$$

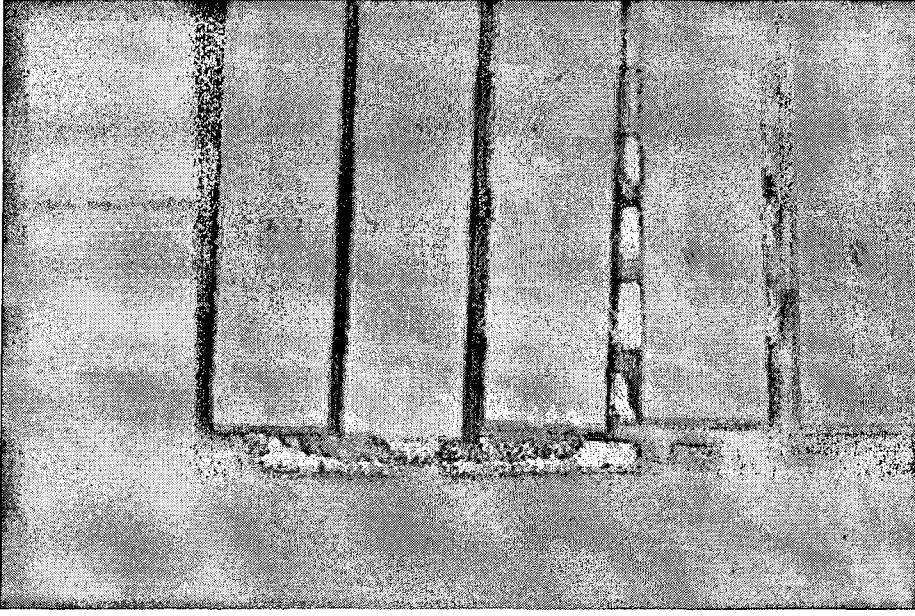
$$-2.5 = -2.6 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot \ln e$$

$$t = 9616 \text{ sn} = 2 \text{ saat } 40 \text{ dakika}$$

Yukarıda yapılan hesaplarda kullanılan tablolar EK-1'de verilmiştir.

4.3.10.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Numuneler dolaba konmadan önce tartılarak, ultrasonik ses cihazı ile 3 ayrı noktadan ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Ölçüm yapılan noktalar bir sonraki ölçüm için önceden işaretlenmiştir.



Fotoğraf 4.15 Donma-çözülme deneyinde dondurucu içine konmuş numuneler.

Yukarıdaki hesaplara göre hareket edilerek, deney numuneleri 20 °C sıcaklıktaki sudan çıkarılıp, -20 °C'lik ısıya sahip derin dondurucuya konmuş ve orada 3 saat 12 dakika bekletilmiştir (Fotoğraf 4.15). Daha sonra merkez ısıları -18 °C'ye ulaşmış olan numuneler sıcaklığı 5.4 °C olan suda 36 dakika bekletilerek merkez ısılarının 4.5 °C'ye gelmesi sağlanmıştır. Numuneler yine dolabın iç ortam sıcaklığı -20 °C olacak şekilde ayarlanan dolaba konmuş ve 2 saat 40 dakika iç ısıları -18 °C olana kadar dolap içinde bırakılmıştır. Bundan sonraki çevrimler suda 5.4 °C ve 36 dakika, dolapta -20 °C ve 2 saat 40 dakika olarak ayarlanmış ve toplam 30 çevrim yapılmıştır.

Deneylerde dondurucu ısısı ve su sıcaklığı ölçümü için - 40 °C'ye kadar hassas ölçüm yapabilen ve doğruluğu önceden kontrol edilmiş termometreler kullanılmıştır. Dondurucu ısısı, numunelerin bulunduğu ilk iki aşamada sürekli kontrol edilerek sıcaklık düşüşünün olmaması sağlanmıştır (dolap ısısı yaklaşık -35 °C'ye kadar düşürülebilmektedir). Çünkü, numune iç sıcaklığı ilk aşamada 20 °C, ikinci aşamada 4.5 °C'dir ve iç hacmin bir kısmını da kaplaması sebebi ile, bu dolap ısını yükseltmektedir. Su sıcaklığının ayarlanmasında, buz kullanılmış ve ısının numune konduktan sonra da 5.4 °C sıcaklıkta sabit kalmasına özen gösterilmiştir.

Numunelere 30 çevrim uygulanmış ve 30 çevrim sonunda numunelerde yine ağırlık ölçümü ve aynı noktalardan ultrasonik ölçüm yapılmıştır. Sonuç olarak, deney numunelerinin tartım farkları bulunarak, numunelerden elde edilen ultrasonik değerler yardımı ile dayanıklılık faktörleri de aşağıdaki formüllerle belirlenmiştir. Bunun için önce, c çevrimlik donma-çözülmeden sonraki dinamik elastisite modülü % oranı (E_{pc}); donma-çözülme çevrimlerinden sonraki geçiş frekansının (n_1) karesinin, çevrimlere başlamadan önceki geçiş frekansının (n) karesine bölünüp, 100 ile çarpılması ile hesaplanır [$E_{pc} = (n_1^2/n^2).100$].

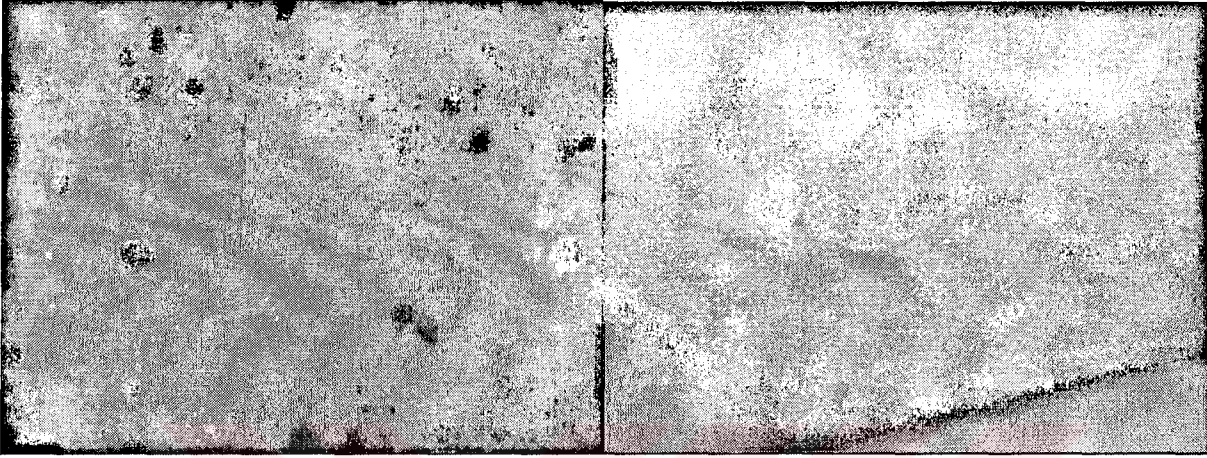
Daha sonra, N çevrimdeki dinamik elastisite modülü (E_p), E_p 'nin ulaşabileceği minimum değere kadar ya da belirlenmiş bir değere kadar devam eden çevrim sayısı (N) ile çarpılarak, deneyin bitirileceği belirlenmiş çevrim sayısına (c_s) bölünür ve test numunelerinin dayanıklılık faktörü (DF) hesaplanmış olur ($DF = E_p .N/ c_s$). Bu çalışma çerçevesinde yapılan deneylerde c, N ve c_s değerleri birbirine eşittir.

Aşağıda elde edilen verilerden oluşturulan tablo görülmektedir (Tablo 4.12).

Tablo 4.12 Donma-çözülme deneyi sonucu numunelerden elde edilen değerler.

Numune Numarası	Beton Cinsi	Ağırlık Ölçümü (gr)		Ağırlık Azalma Miktarı (%)	Ultrasonik Ses Hızı (km/sn)		Ultrases hızındaki Azalma Miktarı (%)	Dayanıklılık Faktörü
		İlk Tartım	Son Tartım		İlk ölçüm	Son ölçüm		
1	K	5800	5600	3.45	4.14	4.01	3.26	93.58
2	S 0.5	5820	5610	3.61	4.18	3.98	4.79	90.65
3	S 0.75	5960	5760	3.36	4.17	3.99	4.21	91.76
4	S 1	5810	5580	3.96	4.16	3.99	4.17	91.84
5	P	5730	5510	3.84	4.12	3.99	3.11	93.88
6	G	5700	5470	4.04	4.19	3.91	6.63	87.17
7	SP 0.5	5925	5710	3.63	4.1	3.9	4.86	90.52
8	SP 0.75	5930	5690	4.05	4	3.85	3.65	92.84
9	SP 1	6020	5780	3.99	3.98	3.84	3.63	92.88
10	SG 0.5	5820	5590	3.95	4.16	3.9	6.19	87.99
11	SG 0.75	5930	5700	3.88	4.12	3.87	6.06	88.25
12	SG 1	5840	5660	3.08	4.12	3.9	5.32	89.64

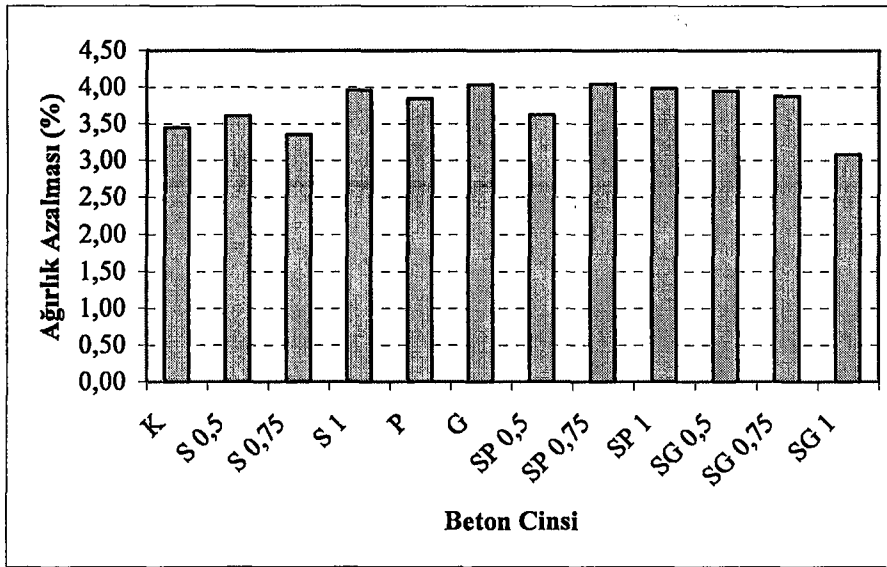
4.3.10.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması



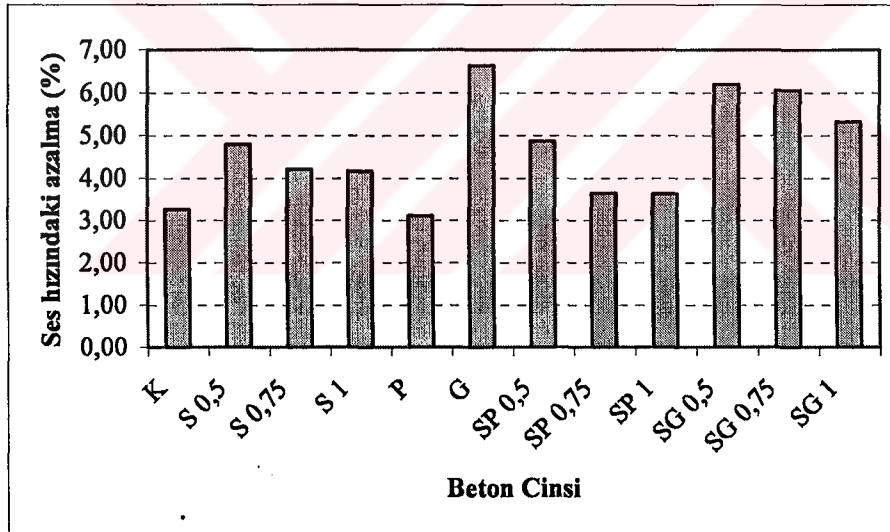
Fotoğraf 4.16 Donma-çözülme deneyi sonucunda numunelerin yüzeylerindeki bozulmaların yakından görüntüsü.

Betonlarda 30 donma-çözülme safhası sonunda; Fotoğraf 4.16'daki gibi yüzeyin düzgünlüğünü kaybettiği, yuvarlak çukurlar oluştuğu, betonun köşe kısımlarının daha fazla tahrip olduğu ve betona yakından bakıldığında yer yer süngerî anımsatan yüzey yapısına sahip olduğu görülmektedir. Bu tahribatlar, özellikle 20-25 çevrim arasında görülmeye başlanmıştır.

Şekil 4.54'de kontrol betonunun ağırlık azalmasının lifli betonların çoğundan daha iyi olduğu görülmektedir, ama burada bir düzensizlik de göze çarpmaktadır. Betonlar düşük çevrim sayılarında yüzeyden tahrip olmaktadır. Çevrim sayısı yüksek olmadığı için betonun içi yüzeyi kadar bu tahribattan etkilenmemiştir. Eğer yüksek olsaydı, lifli betonların daha az ağırlık azalması göstermesi beklenirdi. Çünkü liflerin dağılmayı engelleyici etkisi vardır. Ağırlık azalmalarının daha çok köşelerden kopan parçacıklarla alakalı olduğu görülmüştür. Lifli betonların köşe kısımları daha zayıftır. Çünkü, lifler köşelere denk geldiğinde bu kısma gelen matrisi donma-çözülme safhalarında zorlayarak kopmalara neden olmaktadır.



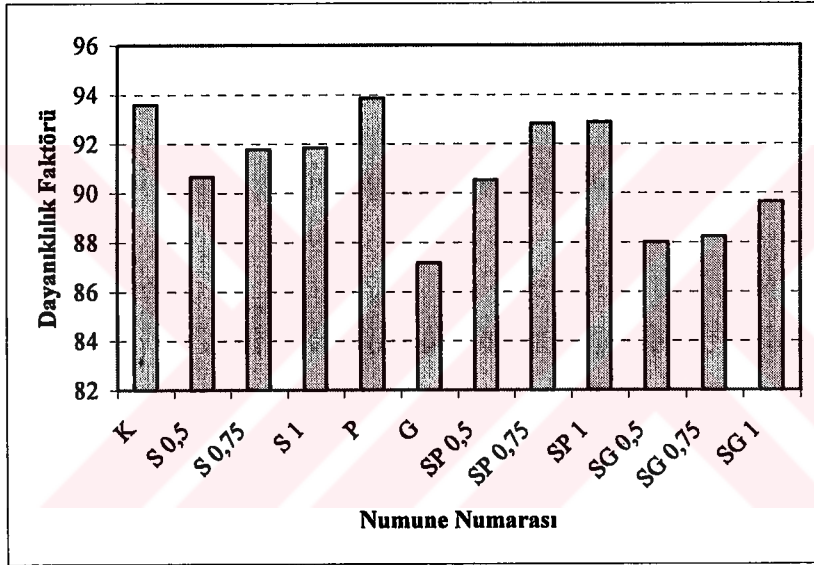
Şekil 4.54 Numunelerde 30 donma-çözülme çevrimi sonucu meydana gelen ağırlık azalması.



Şekil 4.55 Numunelerde 30 donma-çözülme çevrimi sonucu meydana gelen ses hızındaki azalma.

Şekil 4.55’de görüldüğü gibi ağırlık azalmalarının aksine numunelerin ses hızındaki azalmalar çok açıktır. Polipropilen liflerin betonda en yüksek başarıyı gösterdiği anlaşılmaktadır. Bunu polipropilen liflerin çatlak önleyici etkisine ve polimerik yapısından dolayı donma-çözülmeden pek etkilenmemesine bağlamak

mümkündür. Cam lifler tam tersine ultrasonik ses hızında yüksek düşüşe neden olmaktadır. Büyük bir ihtimalle bu lifler düşük sıcaklıklarda donarak tahrip olmaktadır. Çelik liflerde ilk etaptaki azalmaya lif-matris ara yüzeyindeki boşluklar yol açmaktadır. Bunun yanında; liflerin uçlarının kıvrık oluşu ve böylece genleşme ve daralmaları daha iyi karşılamaları sebebiyle, lif miktarında artışla ses hızındaki düşüş oldukça azalmış, ama yine de kontrol betonunun üstünde kalmıştır. Karışık lifli betonlarda da benzer etki görülmektedir. Polipropilen ve cam lifler, bu betonları da kendi özellikleri doğrultusunda etkilemektedir.



Şekil 4.56 Numunelerde 30 donma-çözülme çevrimi sonucu bulunan dayanıklılık faktörleri.

Şekil 4.56'da görülen dayanıklılık faktörleri, ses hızındaki azalma ile ters orantılı olduğundan; Şekil 4.55'de düşük olan değerler burada yüksek görülmektedir. Betonda dayanıklılığı en çok polipropilen liflerin artırdığı, bunun yanında cam liflerin de tam tersine azalttığı görülmektedir. Karışık lifli olanlar da dahil hiçbir çelik lif içerikli beton kontrol betonundan yüksek değer vermemektedir.

4.3.11. Sıcaklığa Dayanıklılık

4.3.11.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

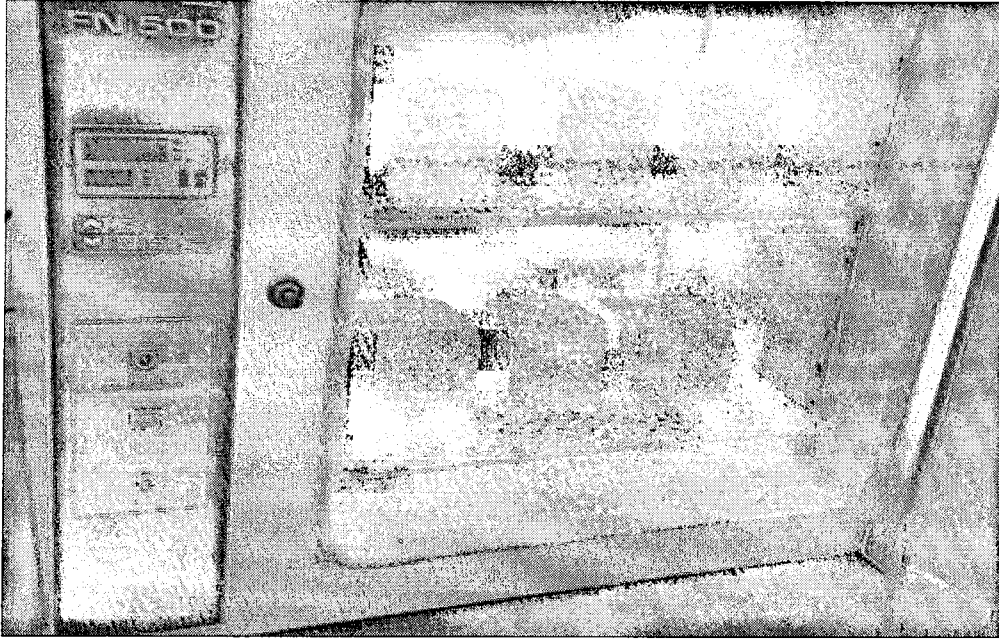
Betonların sıcaklığa karşı dayanıklılığının tespiti 100x100x100 mm'lik standart küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneyler, Gölyaka Haytoğlu Koç Beton Laboratuvarı'nda ve Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

4.3.11.2. Deneyin Yapılışı ve Elde Edilen Veriler

Numuneler 100x100x100 mm'lik kalıplarda onikişer tane dökülmüş, iki kademede ve 25 kez şişlenerek hazırlanmış ve dökümden hemen sonra masa üstü vibrasyon uygulanarak üzeri (eksik kalan hacim) tamamlanmıştır. 28 gün suda bekletildikten sonra, her numunenin farklı su emmesi nedeniyle, deneyi aynı şartlarda başlatmak mümkün olamayacağından, tüm numuneler 24 saat etüvde 105°C'lik ısıda kurutularak etüv kurusu haline getirilmiştir.

Kurutulan her numune grubu üçerli gruplara ayrılmış ve ilk tartımları yapılmıştır. Numune gruplarının ilk üç numuneleri basınç altında kırılarak, ısıl işleminden önceki dayanımı tespit edilmiştir. Daha sonra betonlar fırın içinde laboratuvar sıcaklığında istenen sıcaklığa (250, 500 ve 750 °C'den hangisi seçildiyse) kadar bekletilmiş ve ardından; 3 saat 250, 500 ve 750 °C'de olmak üzere üçerli gruplar ısıl işleme maruz bırakılmışlardır. Isıl işleminden çıkan tüm numuneler 3 saat laboratuvar şartlarında soğumaya bırakılmış ve tartılarak, basınç altında kırılmıştır.

250 °C'lik ısıya maruz bırakılan numuneler için kullanılan etüvün maksimum çalışma sıcaklığı 250 °C olup, kullanılan etüv Fotoğraf 4.17'de görülmektedir. 500 ve 750 °C'lik ısıya maruz bırakılan numuneler için kullanılan fırının maksimum çalışma sıcaklığı ise 1200 °C olup Fotoğraf 4.18'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.17 Numunelerin 3 saat 250 °C sıcaklıkta bekletildiği etüv.



Fotoğraf 4.18 Numunelerin 3 saat, 500 ve 750 °C sıcaklıkta bekletildiği fırının görünüşü.

Elde edilen numune ağırlık değerleri ve basınç dayanım değerleri tablo haline getirilmiş ve aşağıda verilmiştir (Tablo 4.13, Tablo 4.14).

Tablo 4.13 Numunelerin değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.

Beton Cinsi	250 °C			500 °C			750 °C		
	Ağırlık Ölçümü (gr)		Ağırl.Kaybı Miktarı (%)	Ağırlık Ölçümü (gr)		Ağırl.Kaybı Miktarı (%)	Ağırlık Ölçümü (gr)		Ağırl.Kaybı Miktarı (%)
	İlk Tartım	Son Tartım		İlk Tartım	Son Tartım		İlk Tartım	Son Tartım	
K	2222.50	2129.00	4.21	2230.16	1993.73	10.60	2226.64	1904.13	14.48
S 0.5	2251.50	2159.50	4.09	2535.38	2271.72	10.40	2486.73	2129.54	14.36
S 0.75	2279.50	2193.50	3.77	2319.36	2069.50	10.77	2088.86	1786.07	14.50
S 1	2270.50	2181.50	3.92	2267.28	2027.83	10.56	2302.62	2016.76	12.41
P	2263.00	2169.00	4.15	2244.82	2008.11	10.55	2090.55	1769.50	15.36
G	2234.50	2134.00	4.50	2002.45	1783.74	10.92	2033.32	1738.95	14.48
SP 0.5	2259.00	2181.00	3.45	2577.36	2315.58	10.16	2655.61	2261.92	14.82
SP 0.75	2263.50	2188.00	3.34	2385.33	2100.87	11.93	2103.78	1760.23	16.33
SP 1	2267.00	2188.50	3.46	2320.53	2110.91	9.03	2081.93	1799.76	13.55
SG 0.5	2263.50	2176.00	3.87	2061.36	1871.44	9.21	2397.64	2124.39	11.40
SG 0.75	2237.00	2144.50	4.14	2274.34	2062.30	9.32	2200.88	1921.83	12.68
SG 1	2268.00	2184.50	3.68	2545.41	2320.36	8.84	2328.69	2078.05	10.76

Tablo 4.14 Numunelerin değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.

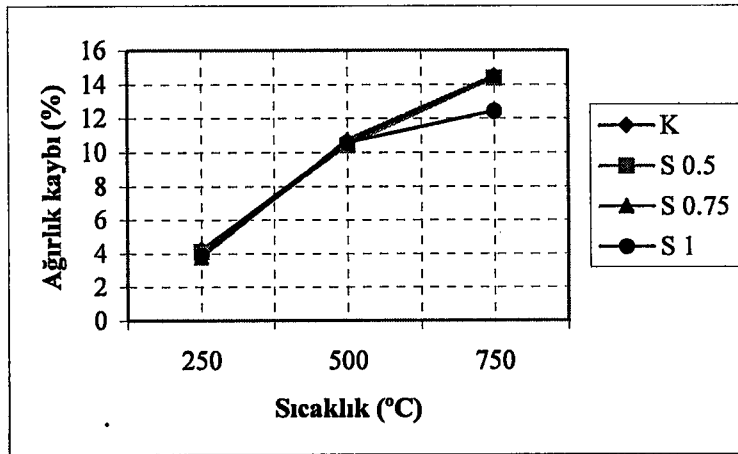
Beton Cinsi	250 °C			500 °C			750 °C		
	Dayanım (MPa)		Day. Kaybı Miktarı (%)	Dayanım (MPa)		Day. Kaybı Miktarı (%)	Dayanım (MPa)		Day. Kaybı Miktarı (%)
	İlk Ölçüm	Son Ölçüm		İlk Ölçüm	Son Ölçüm		İlk Ölçüm	Son Ölçüm	
K	27.70	23.50	15.18	26.04	10.66	59.07	25.32	3.14	87.58
S 0.5	28.26	24.38	13.73	26.10	12.22	53.20	25.43	3.08	87.91
S 0.75	29.83	25.10	15.86	23.97	11.32	52.79	24.79	3.61	85.45
S 1	28.21	23.72	15.91	21.86	10.51	51.94	25.48	4.70	81.57
P	26.80	22.66	15.45	22.02	11.33	48.55	22.29	4.97	77.68
G	28.16	23.87	15.23	25.12	11.14	55.64	23.68	3.30	86.08
SP 0.5	27.55	22.51	18.29	24.85	13.54	45.52	22.78	4.03	82.32
SP 0.75	27.31	22.67	16.99	23.97	12.10	49.54	22.62	3.68	83.73
SP 1	27.00	22.76	15.70	21.92	11.14	49.18	22.54	2.83	87.45
SG 0.5	27.89	23.43	15.99	25.14	11.47	54.38	25.79	4.31	83.30
SG 0.75	27.45	22.60	17.67	23.14	11.81	48.97	27.02	5.01	81.47
SG 1	27.31	22.51	17.58	23.29	11.65	49.98	26.53	4.32	83.72

4.3.11.3. Elde Edilen Verilerin Yorumlanması

Özellikle 500 °C'den sonra büyük ağırlık ve dayanım düşüşleri görülmüş ve numune yüzeyleri bozulmuştur. Bu sıcaklık, literatürlerde beton matristeki bağlayıcı ve agregalar ayrıştığından, beton için sınır değer olarak kabul edilmektedir. Tablo 4.14'deki değerlere bakacak olursak beton hala bir taşıyıcılık özelliği göstermektedir.

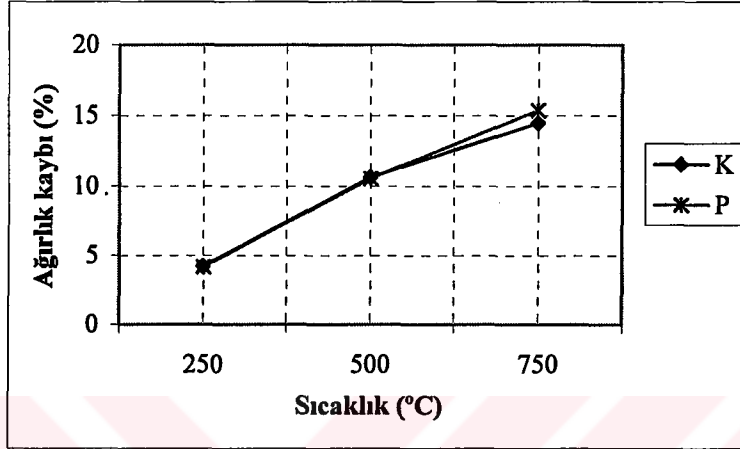
750 °C'den sonra numunelerin dışı artık elle ufolanabilecek duruma gelmektedir. Tablo 4.14'de görüldüğü gibi; numunelerden alınan oldukça düşük değerler, artık betonun taşıyıcılık özelliğini neredeyse tamamen yitirdiğini açıkça göstermektedir.

Polipropilen liflerin 145 °C'den cam liflerin de 200 °C'den sonra artık ayrışmaya, zayıflamaya ve özelliklerini kaybetmeye başladıkları liflerin alındığı firmalar tarafından daha önce belirtilmiştir. Ayrıca; çelik lifler de çelik özelliği taşıdıklarından dolayı, 600 °C'den sonra büyük dayanım düşüşleri olacağı tahmin edilmektedir. Fakat beton, içindeki lifleri koruyucu bir örtü görevi üstlenmektedir. Bu yüzden lifler, ancak daha yüksek sıcaklıklarda ve daha uzun sürelerde zarar görerek ve özelliğini kaybetmektedir. Lifler, ısı genleşmelerde betonu koruyacak ve çatlak oluşumunun azaltılmasına katkıda bulunacaktır.



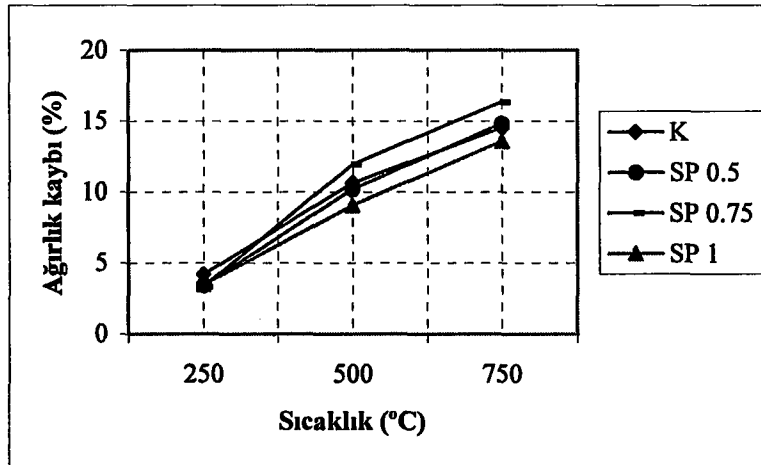
Şekil 4.57 Çelik lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.

Şekil 4.57’de görülen ağırlık kaybı sıcaklık ilişkisi incelendiğinde; çelik liflerin sadece % 1 oranındaki katkılarda 500 °C’den sonra avantaj sağladığı, diğer % miktarlarda hemen hemen hiç etki etmediği görülmektedir.



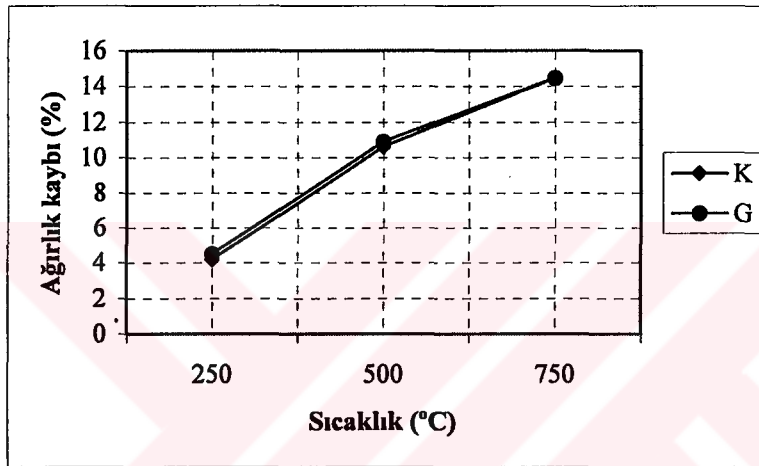
Şekil 4.58 Polipropilen lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.

Polipropilen lifli betonlarda ağırlık kaybı, 250 ve 500 °C’lerde kontrol betonu ile aynı, 750 °C’de kontrol betonununkinden bir miktar fazladır (Şekil 4.58). Bu durumun, polipropilen liflerin yüksek sıcaklıklarda zarar görmesinden ileri geldiği söylemek mümkündür.



Şekil 4.59 Çelik+polipropilen lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.

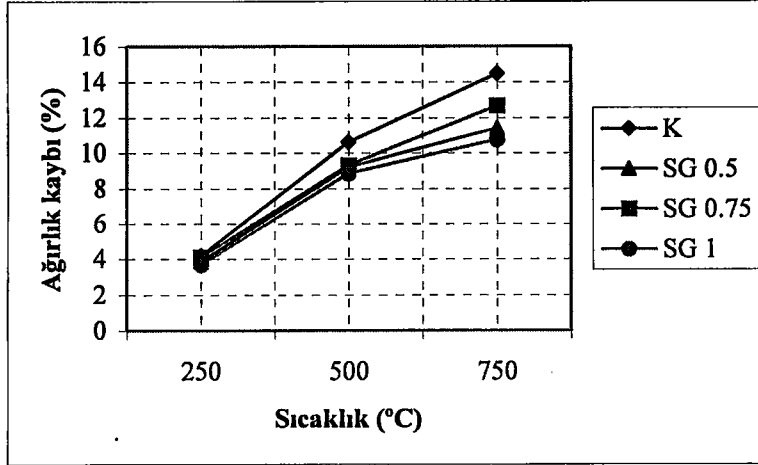
Şekil 4.59'da görüldüğü gibi; polipropilen lifler betonda çelik liflerle beraber kullanıldığında, % 1 çelik lif içeriğinde lif miktarı çok arttığından daha düşük kayıp sözkonusu olmaktadır. % 0.5 çelik lif içeriğinde 250 ve 500 °C'lerde sadece polipropilen lifi katılmış betonda daha fazla başarı sağlanmıştır. 500 °C'den sonra aynı eğilim görülmüştür. % 0.75 lif içeriğinde 500 ve 750 °C'deki eğilimin daha fazla numune sayısı ile irdelenmesi daha doğru olacaktır. Çünkü bu eğrinin eğilimi büyük bir ihtimalle % 0.5 ile % 1 çelik lif+polipropilen lif içerikli lifin eğrileri arasında kalacaktır.



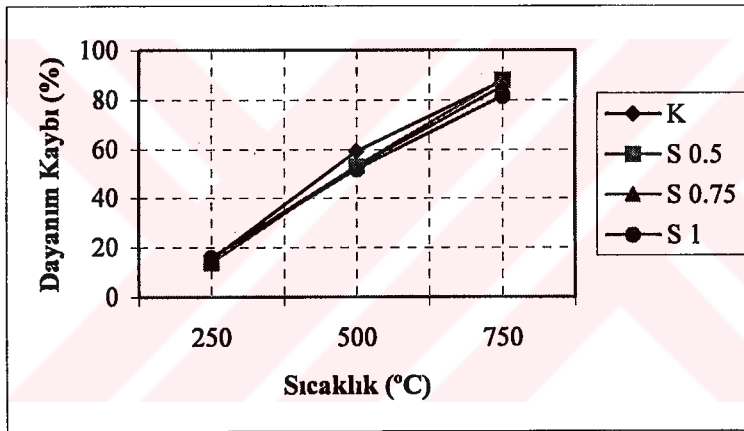
Şekil 4.60 Cam lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.

Cam lifli betonun ağırlık kaybının kontrol betonunkine yakın, ama ondan daha fazla olduğu Şekil 4.60'da görülmektedir. Buradan, cam liflerin ağırlık kaybı açısından polipropilen liflere yakın bir eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır.

Cam liflerinin çelik liflerle uyumlu olduğu ve ağırlık kaybını kontrol betonuna göre azalttığı Şekil 4.61'den anlaşılmaktadır. Yine en yüksek performans % 1 çelik lif içerikli betonda elde edilmiştir. Cam liflerin, narinlik oranını ve lif miktarını çok artırması genleşmeleri ve buna bağlı ağırlık kayıplarını azaltmıştır.

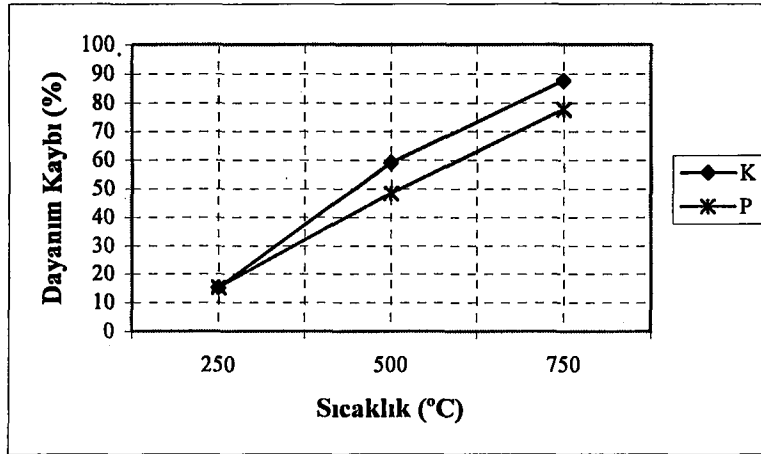


Şekil 4.61 Çelik+cam lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) ağırlık kaybı miktarları.



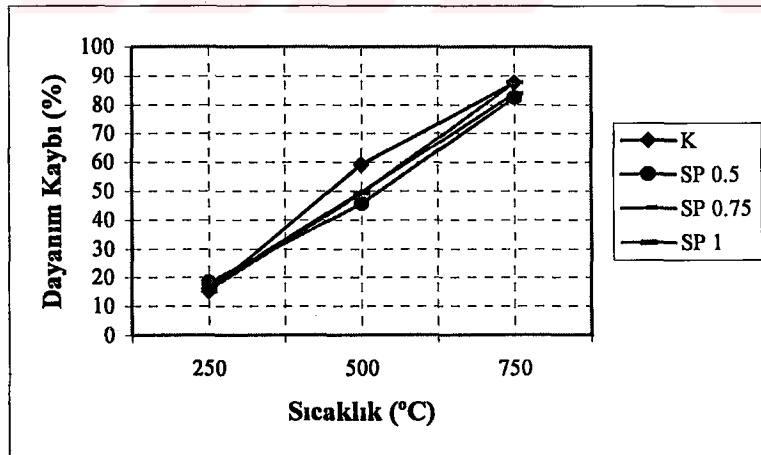
Şekil 4.62 Çelik lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.

Şekil 4.62’de çelik lif miktarı arttıkça, özellikle 500 ve 750 °C’lik sıcaklıklarda betonun dayanım kaybının azalmakta olduğu görülmektedir.



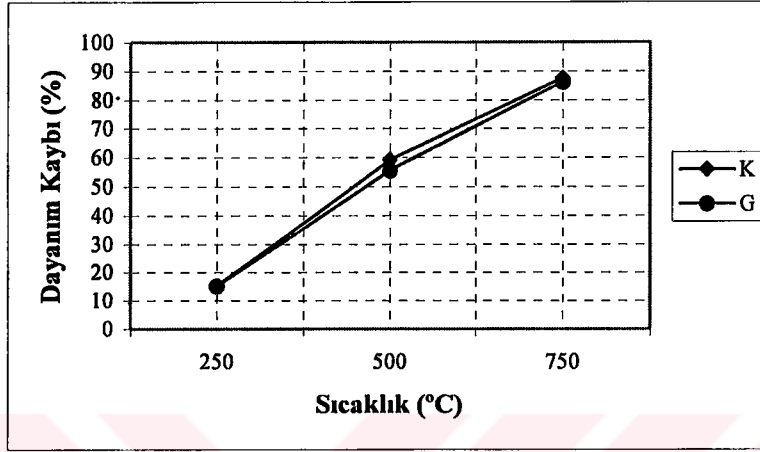
Şekil 4.63 Polipropilen lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.

Şekil 4.63’de; polipropilen liflerin kendi sıcaklık zaafına rağmen, betonda sıcaklık karşısındaki dayanım kaybını azalttığı görülmektedir. 750 °C’ye maruz bırakılmış betonlarda yapılan gözlemsel incelemede polipropilen liflerin eriyerek tamamıyla kaybolduğu gözlenmiştir. Fakat buna rağmen, bu liflerin erimeden önce kılcal çatlakları önleyerek, betonun iç yapısına koruyucu bir etki yaptığı sanılmaktadır.



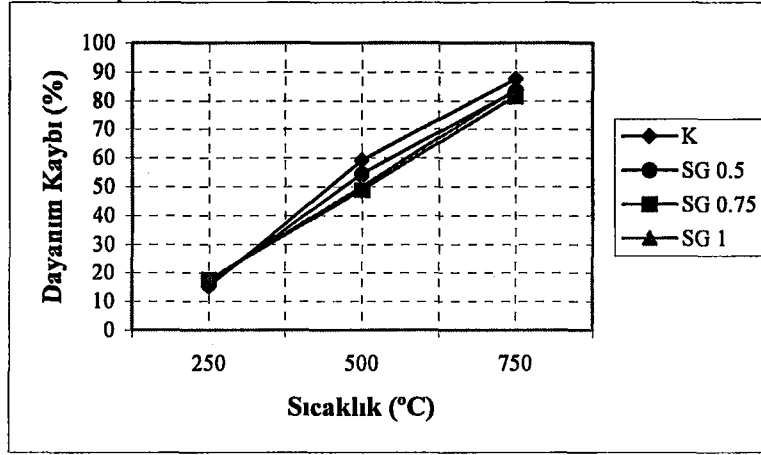
Şekil 4.64 Çelik+polipropilen lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.

Polipropilen ve çelik lifler karışık kullanıldığında, Şekil 4.64’de görüldüğü gibi betonda sadece çelik liflerin kullanıldığında yaptığı etkiye benzer bir etki yaptığı görülmektedir.



Şekil 4.65 Cam lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.

Cam lifler betonda, tıpkı polipropilen liflerin yarattığı etkiye benzer bir etki yapmaktadır (Şekil 4.65). Bunun sebebi cam liflerin de polipropilen lifler gibi çatlak önleyici bir görev üstlenerek, genleşmenin olumsuz tesirlerini bertaraf etmesidir. Fakat cam lifleri, polipropilen liflerde olduğu gibi düşük sıcaklıklarda ana kütle içerisinde dağılıp yok olmamakta, ancak özelliklerini daha erken kaybettiği düşünülmektedir.



Şekil 4.66 Çelik+cam lif takviyeli betonların değişik sıcaklıklardaki (%) dayanım kaybı miktarları.

Cam lifinin çelik liflerle beraber kullanılması da diğer karışık lifli betonlara benzer etki yapmaktadır (Şekil 4.66).

4.3.12. Röntgenle iç yapı incelemesi

4.3.12.1. Numunelerin ve Deney Ortamının Hazırlanması

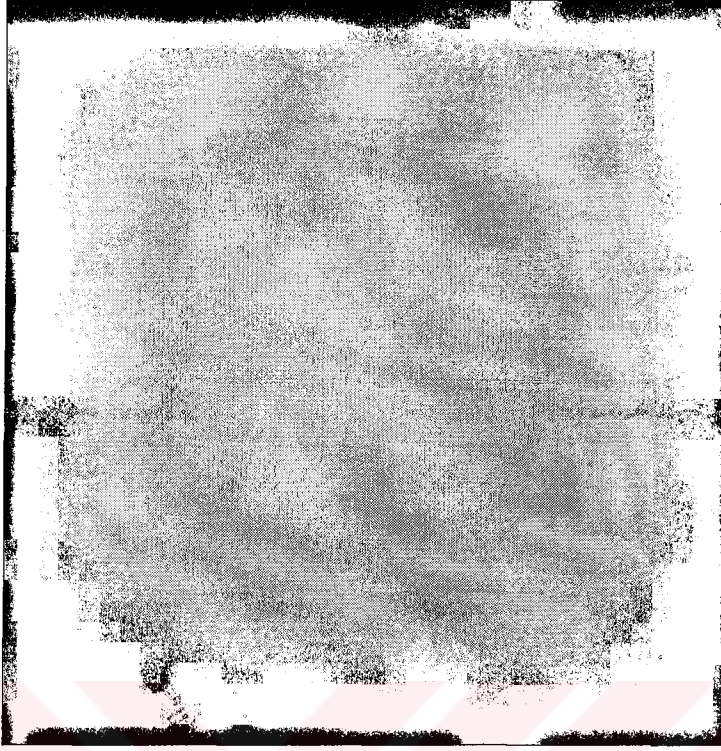
Betonların röntgenle iç yapı incelemesi 100x100x100 mm'lik standart küp numuneler ve 150x300 mm'lik silindir numunelerin kesitleri üzerinde yapılmıştır. Röntgen çekimleri, Düzce Tıbbi Görüntüleme Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

4.3.12.2. Deneyin Yapılışı, Elde Edilen Veriler ve Yorumlanması

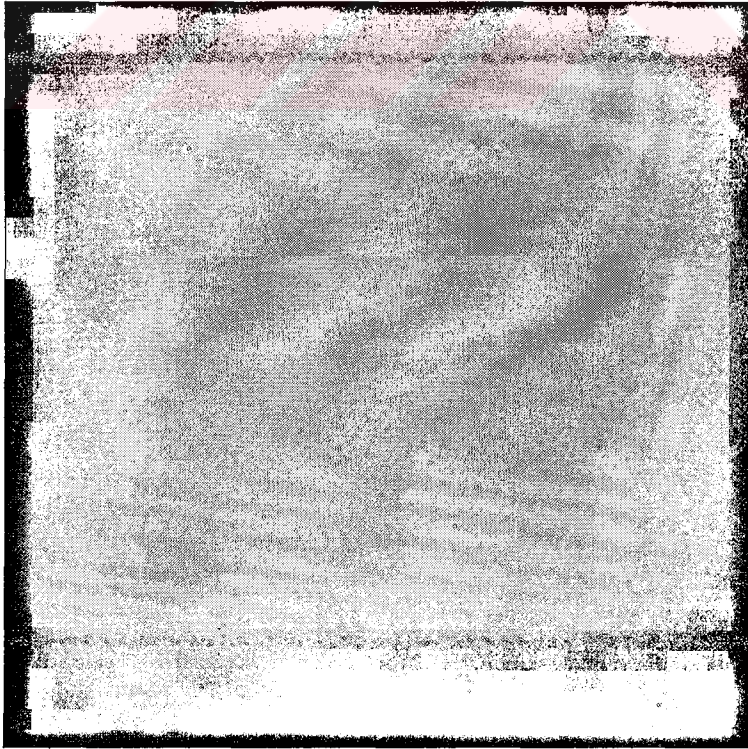
Bu çalışmada daha önce hemen hemen hiç kullanılmamış olan röntgen muayenesi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, bilinen tıbbi görüntüleme cihazları kullanılarak uygulanmıştır. Ancak cihazın röntgeni çekebilmesi için betonlarda her kalınlık değişikliğinde cihaz ayarları yapılmış ve daha net görüntüye ulaşılmaya çalışılmıştır.

Deneylere 150x300 mm'lik silindir numunelerin yan yüzlerinden röntgen çekilerek başlanmış, fakat röntgen ışınlarının 150 mm'lik beton tabakasından geçememesi sebebiyle vazgeçilmiştir. Daha sonra, 100x100x100 mm'lik standart küp numuneler üzerinde yapılan denemelerde başarılı olunmuştur (Fotoğraf 4.19, 4.20, 4.21). Ama iç yapıdaki liflerin üç boyuttaki karmaşıklığı ve anlaşılabilmesi sebebiyle, 150x300 mm'lik silindir numunelerden kesilmiş 7.5, 5 ve 2.5 cm'lik kesit parçalar üzerinde röntgen çekilmiş ve bu parçaların daha anlaşılabilir olduğuna karar verilmiştir.

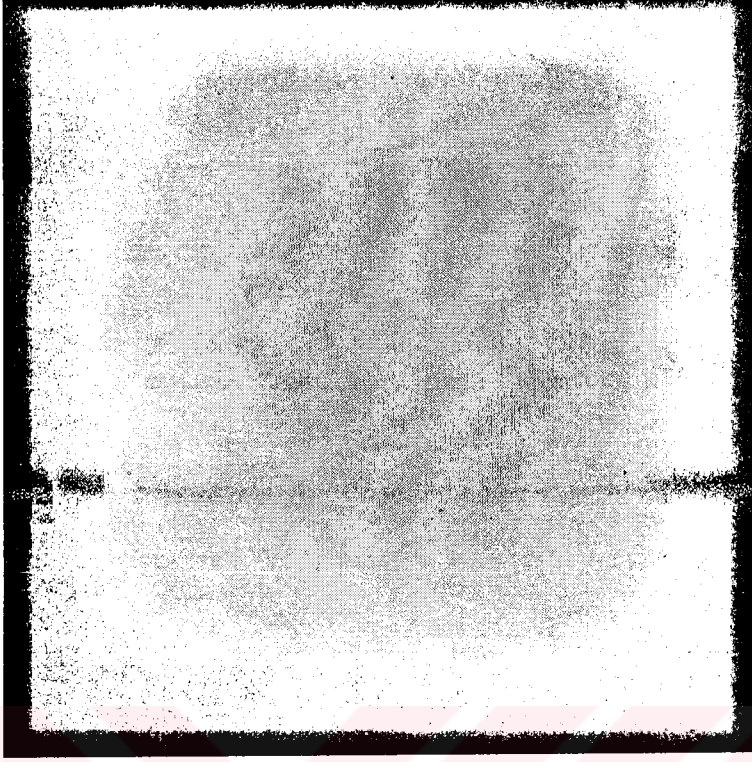
Fotoğraf 4.22 ve 4.23 bize lifsiz bir betonun kesitinin röntgenden önce çekilmiş fotoğrafını ve röntgenini göstermektedir. Fotoğraf 4.24'de % 1, Fotoğraf 4.25'de % 0.75 çelik lif içeren silindirin 7.5 cm'lik yatay kesitinden alınmış, Fotoğraf 4.26 'da % 0.5 çelik lif içeren silindirin 5 cm'lik yatay kesitinden alınmış, Fotoğraf 4.27'de % 0.5 çelik lif içeren silindirin 2.5 cm'lik kusurlu bir yatay kesitinden alınmış, Fotoğraf 4.28'de silindirin dikey 5 cm'lik kesitinden alınmış röntgeni görülmektedir.



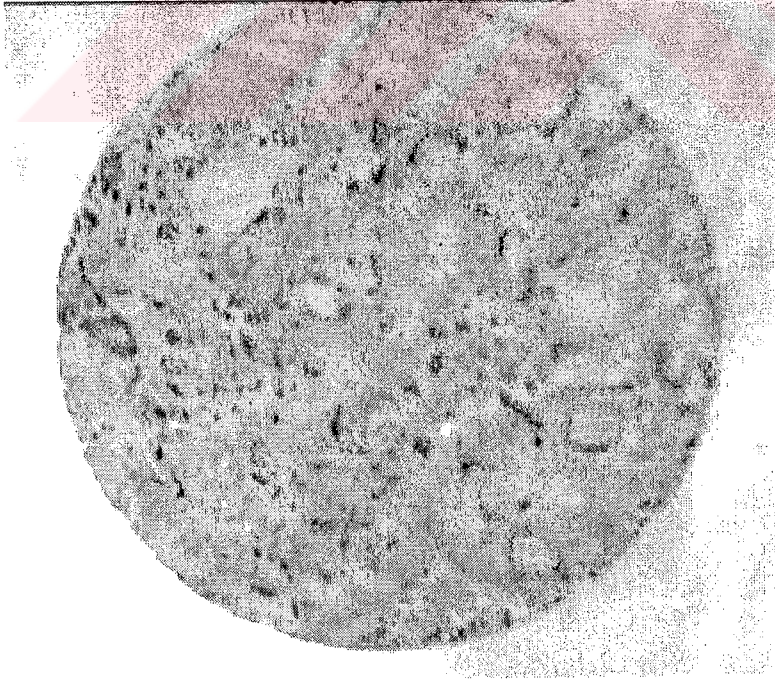
Fotoğraf 4.19 % 0.5 lif içeren 100x100x100 cm'lik küp numunelerin röntgen filmi.



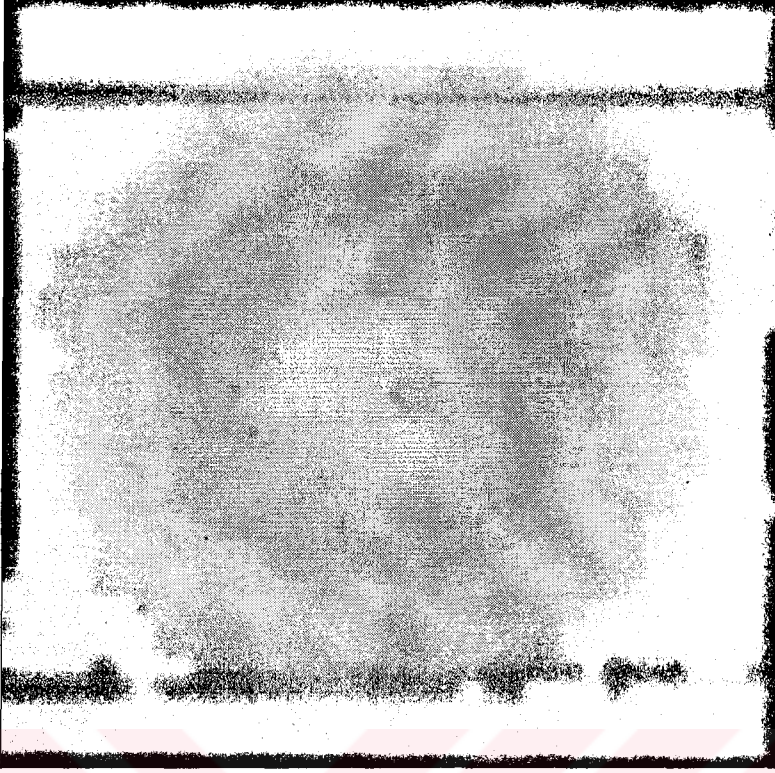
Fotoğraf 4.20 % 0.75 lif içeren 100x100x100 cm kalınlığındaki küp numunelerin röntgen filmi.



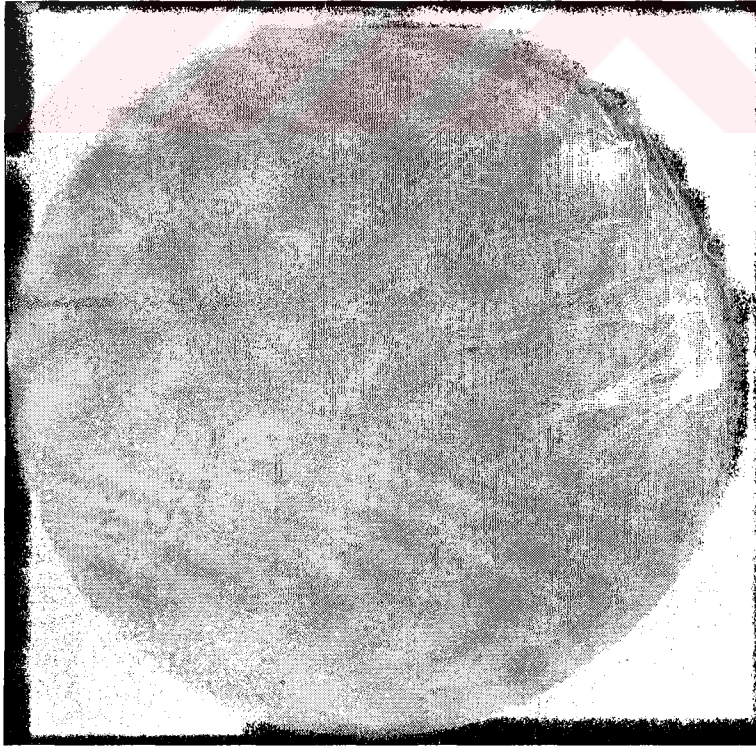
Fotoğraf 4.21 % 1 lif içeren 100x100x100 cm kalınlığındaki küp numunelerin röntgen filmi.



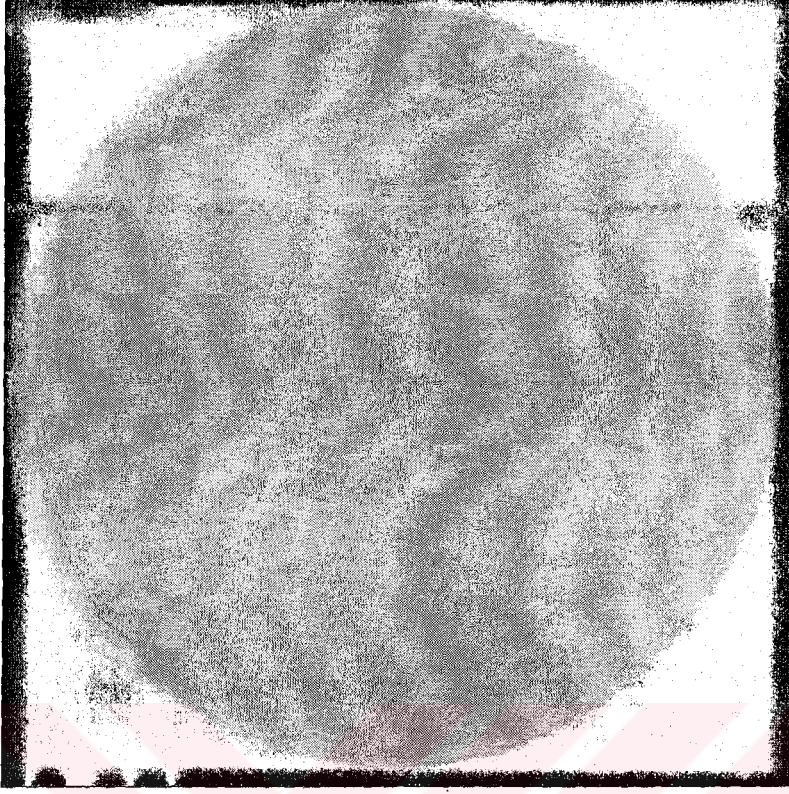
Fotoğraf 4.22 Lifsiz silindir numunelerin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin üstten çekilmiş fotoğrafi.



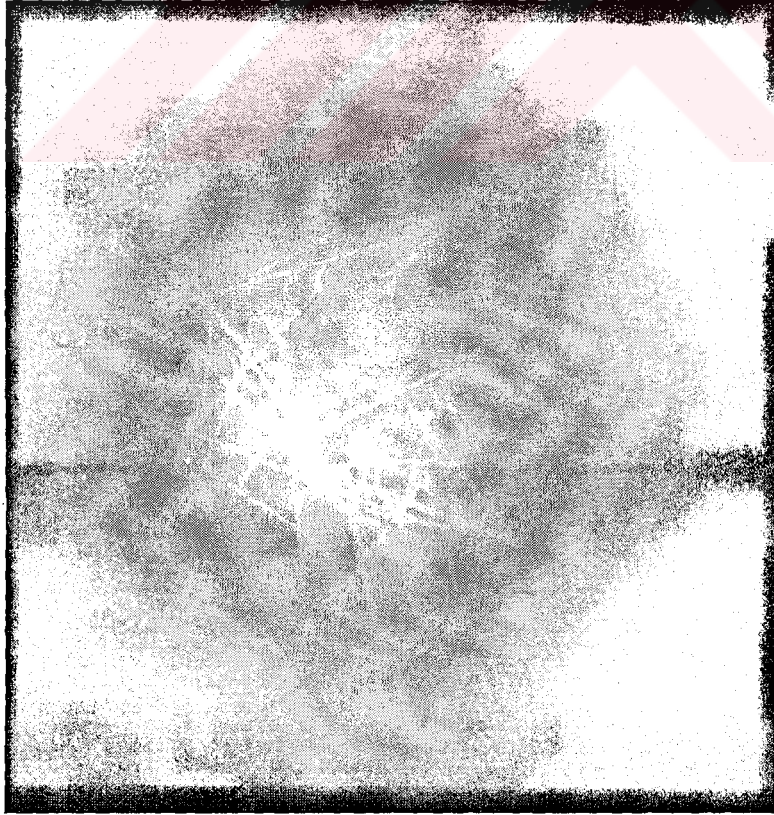
Fotoğraf 4.23 Lifsiz silindir numunelerin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.



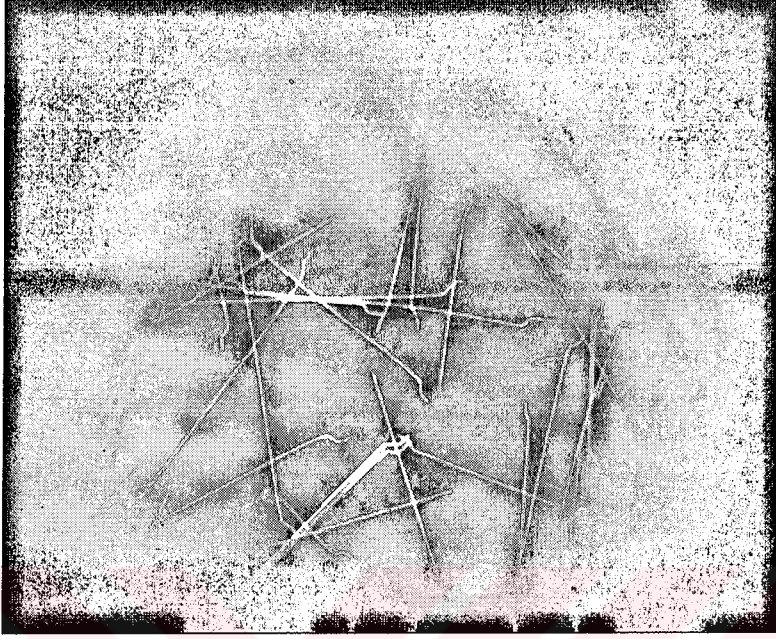
Fotoğraf 4.24 % 1 çelik lif içeren silindirin 7.5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.



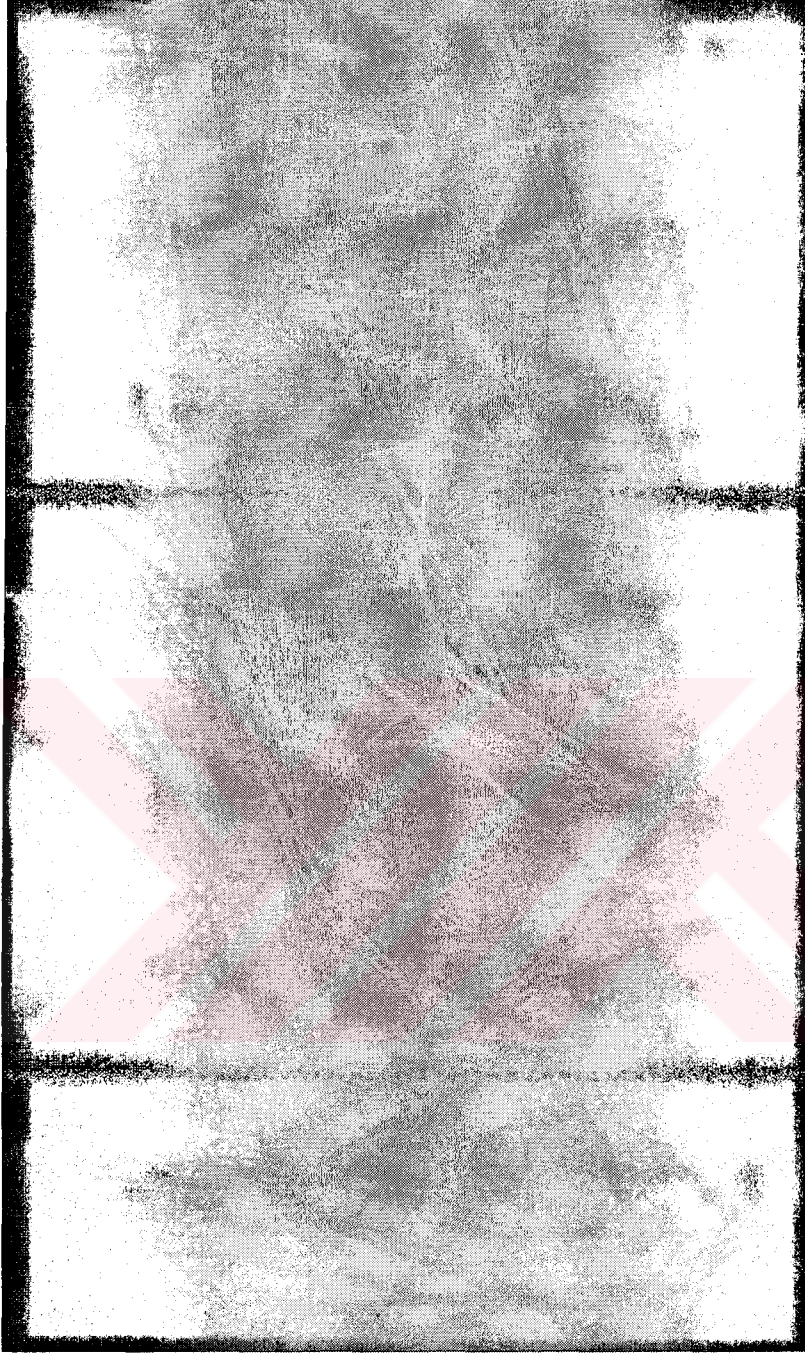
Fotoğraf 4.25 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 7.5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.



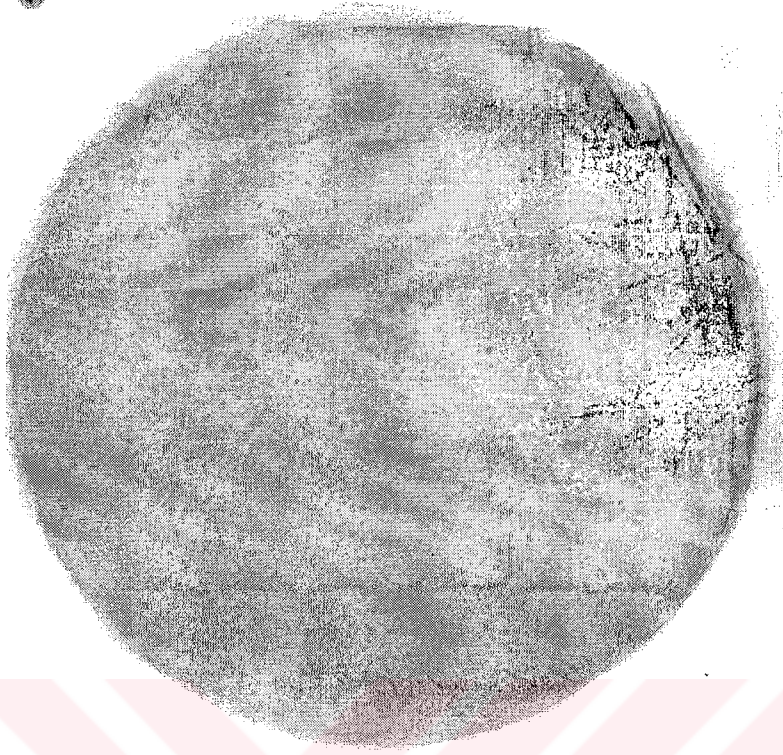
Fotoğraf 4.26 % 0.5 çelik lif içeren silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.



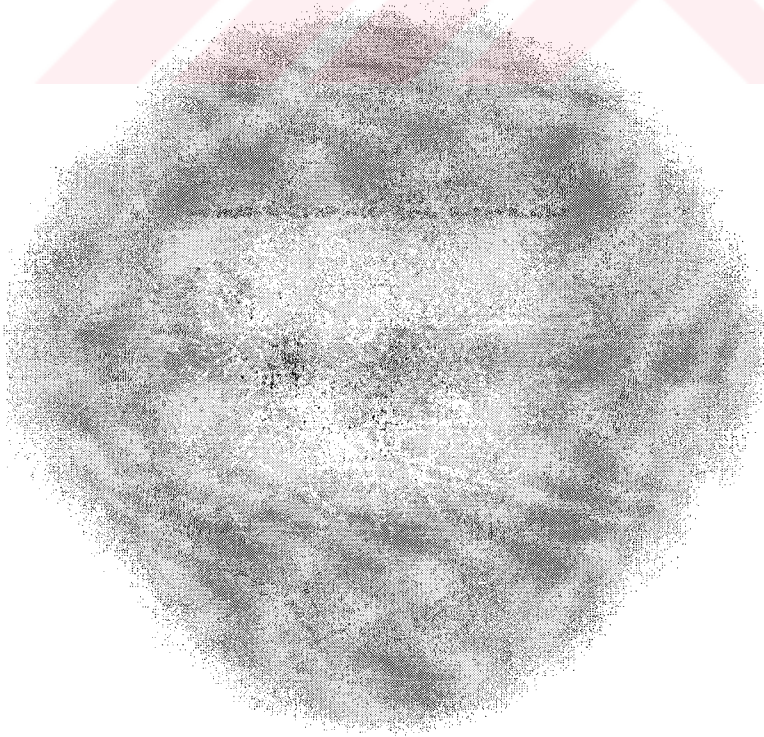
Fotoğraf 4.27 % 0.5 çelik lif içeren kırılmış silindirin 2.5 cm kalınlığındaki kesitinin röntgen filmi.



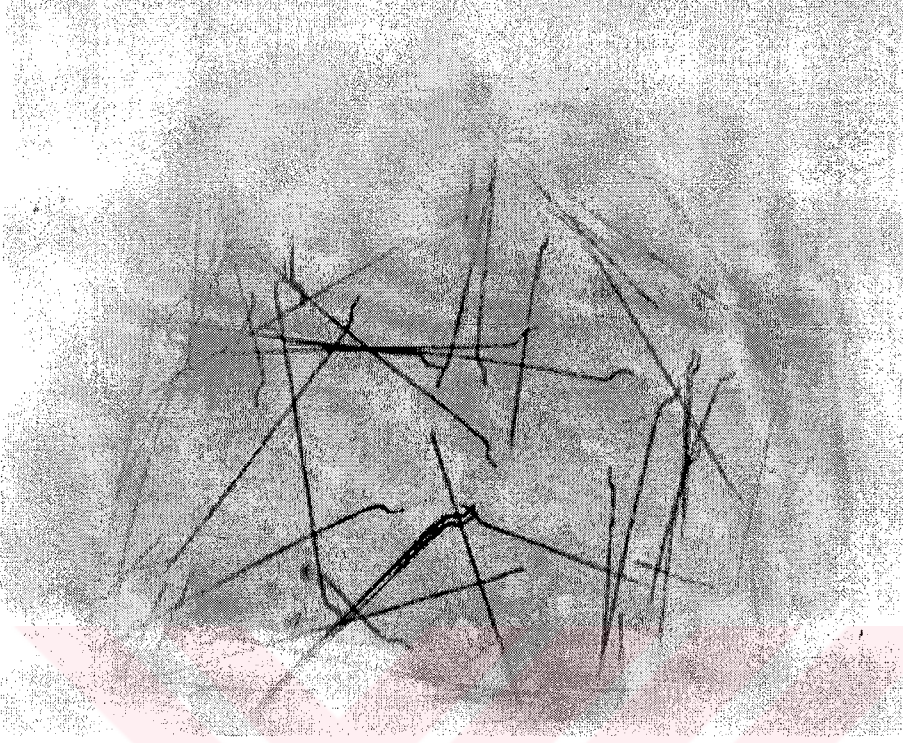
Fotoğraf 4.28 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filmi.



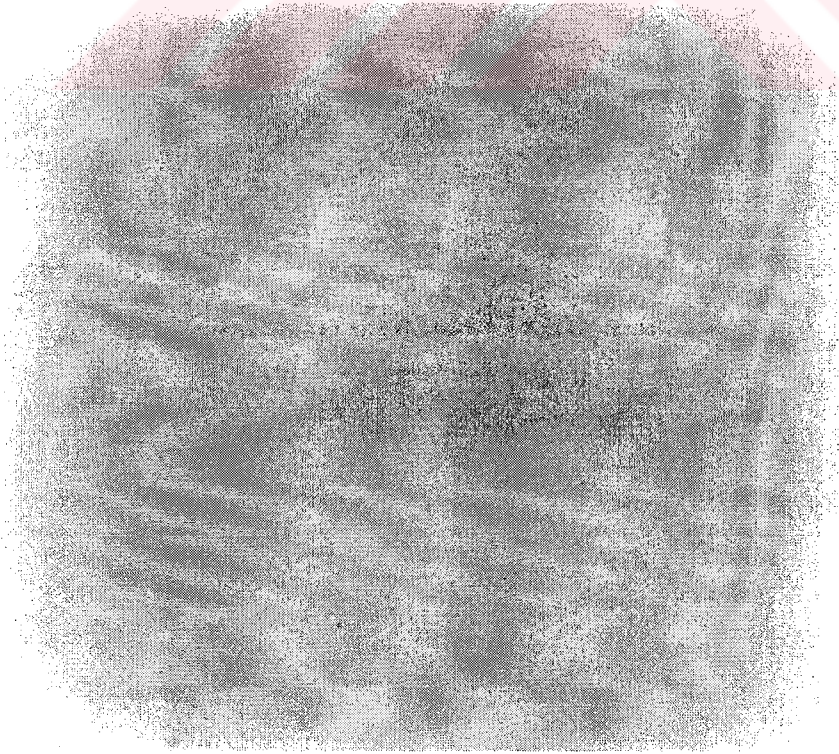
Fotoğraf 4.29 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 7.5 cm kalınlığındaki yatay kesit röntgen filminin negatifi.



Fotoğraf 4.30 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesit röntgen filminin negatifi.



Fotoğraf 4.31 % 0.5 çelik lif içeren kırılmış silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesit röntgen filminin negatifi.



Fotoğraf 4.32 % 1 lif içeren 100x100x100 cm kalınlığındaki küp numunelerin röntgen filminin negatifi.



Fotoğraf 4.33 % 0.75 çelik lif içeren silindirin 5 cm kalınlığındaki yatay kesitinin röntgen filminin negatifi.

Röntgen muayenesi çelik liflerle sınırlı olmakla beraber, rahatlıkla kullanılabilir bir yöntemdir. Fakat, diğer liflerin görüntülerini almak mümkün olmamaktadır.

Görüldüğü gibi liflerin düzgün dağılım görüntüleri en fazla 7.5 cm'ye kadar tespit edilebilmektedir. 7.5 cm'den sonraki beton parçalarda çok karmaşık lif dağılımları görülmekte ve üç boyuttaki yoğun dağılımdan dolayı dağılımın iyi olup olmadığı da anlaşılamamaktadır.

7.5 cm'lik ve 5 cm'lik kesitlerde lif dağılımları anlaşılabilir olmuştur. Bu görüntülerin bazıları negatifi alınarak, daha da anlaşılabilir hale getirilmiştir (Fotoğraf 4.29, Fotoğraf 4.30, Fotoğraf 4.31, Fotoğraf 4.32, Fotoğraf 4.32).

Küp numunelerin ısıtma işleme maruz kalmadan röntgen fotoğrafı çekilmiş, silindir numunelerin kesitleri; denenmiş ve daha önceden kırılmış silindir numunelerin tahribatlı ve tahribatsız kısımlarından alınmıştır. Yükleme, numune fazla tahrip olmadan kesildiğinden, numunelerin uç kısımlarında bile pek tahribat görülmemiştir.

Fotoğraf 4.23'te Fotoğraf 4.22'de görülen lifsiz bir numunenin çok iyi çekilmiş bir röntgen filmi görülmektedir. Bu tip bir numunenin görüntülenmesi çok zordur ve çok iyi ayar gerektirir. İç yapıdaki agregalar ve boşluklar net bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Fotoğraf 4.27'de tahribatlı bir numune kesiti görülmektedir ve kesit kalınlığı 2.5 cm alınmıştır. Fakat, kesit kalınlığının araştırma için yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Fotoğraf 4.31 ise yetersiz bir numune kesitini göstermektedir. Kesitin yetersiz olmasının sebebi, homojen olmayan lif dağılımıdır.

Silindirler yanlamasına 5 cm kesilerek de denenmiş ve ortaya daha da olumlu bir görünüm sonucu çıkmıştır (Şekil 4.28). Burada silindir boyunca liflerin devamlılığını, yığılmaları, liflerin şişlemeden dolayı zarar görmüş yapılarını ve tutkalı çözülmemiş lifleri daha iyi görmek de mümkündür.

5. ANKET ÇALIŞMASI

5.1. Giriş

Deneyisel araştırmalar, genellikle bir malzemenin özelliklerini geliştirmek ya da yapısı hakkında bilgi sahibi olmak amacı ile yapılmaktadır. Fakat, bu araştırmaların piyasada uygulanabilirliği ve malzemelerin kullanılabilirliği de en az araştırma kadar önemlidir. Anketin çok büyük bir alanda yapılabilmesi oldukça zor bir olaydır, ama uygulanan yerin doğru seçilmesi ve evreni temsil eden bir örneklem haline gelmesi anketin güvenilirliğini artırır.

Şimdiye kadar yapılan deneyler beton ile ilgilidir ve beton ile ilgili uygulamaları yapan firmalar da genellikle hazır beton firmalarıdır. Bu amaçla; anket Düzce çevresindeki Bolu Beton, Pekintaş, Düzce Belediyesi Beton Şantiyesi, Düzce Atılım Beton, Aykut Beton, Yiğitler Beton ve Nuh Beton hazır beton firmalarında uygulanmış olup; hazır beton firmalarının Hazır Beton Birliği'ne üye olup olmadıklarını, firmaların kaliteye ve araştırma-geliştirme çalışmalarına ne kadar önem verdiğini, kendilerini ve diğer firmaları kalite ve tesis sayısı açısından yeterli bulup bulmadıklarını, teknolojik malzemelere açık olup olmadıklarını, tanıyıp tanımadıklarını ve kullanılıp kullanmadıklarını ve bu yerlerde teknolojik yeni malzemeler kullanılmıyorsa kullanılmama sebeplerini araştırmak amacıyla uygulanmıştır.

5.2. Anketin Uygulanışı

Uygulanan anket “Kişisel Bilgiler”, “Firma Bilgileri” ve “Teknik Bilgiler” içeren üç ayrı bölümden ve 26 sorudan oluşmaktadır. Ayrıca, 21. soru 5 ayrı şıktan meydana gelmektedir. Böylece, ankette toplam 30 soru sorulmaktadır. Uygulanan anket ve verilen cevapların tablo haline getirilmiş şekli EK-2'dedir.

5.3. Anket Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Anketin uygulanması sonucu alınan cevaplar aşağıdaki gibi tablo haline getirilmiştir (Tablo 5.1). Tabloda mevcut olmayan soru şıkları çizgi ile gösterilmiş, diğer şıklara cevap veren kişi sayıları yazılarak belirtilmiştir.

Yapılan ankete toplam 7 şirketten 28 kişi katılmış olup, katılanların çoğunluğunun üst düzey yönetici olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, diğer katılımcılar arasında da mühendis, mimar, şantiye şefi ve santral operatörü gibi önemli görevlerde çalışanların olması anketin güvenilirliğini artırmaktadır. Fakat; katılımcıların çoğu yüksek mevkilerde bulunmalarına rağmen, maalesef bunlardan sadece altısı lisans ve biri de lisans üstü düzeyde öğrenim görmüştür. Genç eleman sayısının daha fazla olması sevindiricidir, ama tecrübeli eleman sayısı da fazla değildir. Bunu biraz da hazır betonun Türkiye'deki kısa geçmişinde aramak gerekir. Yine de, çalışanların görevlerini ve işin işleyişini yeterince anlayabilecek kadar uzun süre bu iş kolunda çalıştıkları kolaylıkla anlaşılmaktadır.

Ankete katılan firmaların altısı hazır beton, biri de prefabrik beton üretmektedir. Firmaların arasında köklü firmalar da bulunmaktadır. Firmaların çoğu küçük ölçekli ve personel sayıları da yetersizdir. Firmaların tamamında laboratuvar vardır ve bu laboratuvarlar az çok firmaların kendi gereksinimlerini karşılayacak kadar donanımına sahiptir. Beton üretimlerinin orta düzeyde olduğu ve Düzce'de bu işi yapan firma sayısının da yeterli olduğu ortaya çıkmıştır. Yörede bu işi yapan firmalardan, daha çok üç firmanın ciddi şekilde çalıştığı düşünülmektedir. Firmalardan sadece iki tanesi Hazır Beton Birliği'ne üyedir, çoğu bu birliğin üyesi değildir. Buna rağmen ankete katılanlardan birçoğu, adı geçen birliğe üye olduklarını yazmışlardır. Bu da, onların konu hakkında bilgi sahibi olmadıklarını göstermektedir. Diğer yandan, üye olmadıklarını belirten kişiler de, üyeliğin onlara hiçbir şey kazandırmayacağını düşünmektedir. Katılımcılar; firmalarının çalışmasından üretim, kalite ve çalışma yönünden memnun olduklarını belirtmişlerdir. Anketten ayrıca, firmaların yarısının Düzce dışına da hizmet verdiği ve başka şubelerinin de bulunduğu anlaşılmıştır.

Katılımcıların lifler hakkında fazla bilgi sahibi olmadıkları ve en çok kimyasal katkı maddeleri hakkında bilgi sahibi oldukları ortaya çıkmıştır. Bu malzemeler hakkındaki bilgileri malzeme kullanımı ile doğrudan ilişkilidir, yani en çok kullandıkları katkıları kimyasal katkılardır. Fakat, bunun yanında liflerden hiçbirini kullanmadıkları da anlaşılmıştır. Bu

bilgileri birçok kişi yazılı basından; bir kısmı da firma, arkadaş ya da seminerlerden öğrenmişlerdir.

Firmalarda araştırma-geliştirme faaliyetinin yürütüldüğü anlaşılmış, firmalardaki çalışanların beton ve katkıları hakkında seminerlerin daha çok üniversite ve işveren işbirliği ile yürütülmesini istedikleri belirlenmiştir.

Beton santrallerinin işleyişi ve çalışanların düşünceleri hakkındaki bilgilerin değerlendirilmesi, bundan sonra nasıl bir yol çizilmesi gerekeceği ve eksiklerin giderilebilmesi için nelere dikkat edileceği hususlarını açıkça ortaya koymaktadır.

Aslında, sadece Düzce değil, Türkiye'nin birçok yerindeki beton firmalarının benzer koşullarda çalıştıkları ve aynı duyguları paylaştıkları söylenebilir. Bu firmalarda anketin sonucuna göre ihtiyaçların aşağıdaki gibi olduğu anlaşılmıştır:

1. Firmalardaki personelin eğitim düzeyi yeterli değildir ve daha fazla kalifiye eleman çalıştırılması gerekmektedir.
2. Firmalardaki personel sayısı yetersizdir ve artırılmalıdır.
3. Hazır Beton Birliği firmaları daha çok bilgilendirmelidir. Bunların görevlerini daha iyi yürütmeleri ve firmalarla daha çok diyaloga girmeleri gerekmektedir.
4. Beton ve beton katkıları hakkında seminerler düzenlenerek, çalışanlar bilgilendirilmeli ve yeni malzemeler tanıtılmalıdır. Bu seminerler, üniversite ve işverenin işbirliği ile yapılmalıdır.
5. Firmalarda yürütülen bazı araştırmaların bulunduğu, fakat bunların yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Araştırmalar; üniversite, Hazır Beton Birliği vb. gibi kurumlar tarafından yapılmalı ve sayıca artırılmalıdır.

Türkiye beton ve betonarmeye en çok önem veren ve kullanan ülkelerden biridir. Beton üretiminde ciddiyeti, kullanım aşamalarındaki titizlik, toplam kalite, üretici bilgisi, araştırma geliştirme çalışmaları ve tüketici istekleri gibi faktörlere önem verilmelidir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan araştırmalara göre ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Taze betonda birim ağırlık ve kıvam tespiti ile ilgili sonuçlar:

Tüm lifler betonun birim ağırlığını, kendi birim ağırlığı ölçüsünde etkilemektedir. Vebe süresi üzerinde, özellikle betona katılan lif yüzdeleri etkili olmaktadır. Deneylerde betona katılma oranı diğer liflere göre yüksek olan çelik lifler kıvamı daha olumsuz etkilemiştir. Ancak, lif malzemesinin ve yapısının betonun kıvamını doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Çelik lifler, fazla esnemediği ve uçları kancalı olduğu için beton içinde kıvamı diğer liflere göre daha katılaştırıcı ve harcı birarada tutucu etki yapmaktadır. Polipropilen lifler; çelik liflerin aksine kıvama fazla etki etmemekte; ama az da olsa Vebe süresini artırmakta ve cam lifler; harcı katılaştırarak süreyi polipropilen liflerden biraz daha fazla artırmaktadır. Çünkü, cam liflerin harç içindeki sayısı daha fazladır ve cam lifler yüzeylerinde pek su tutmamaktadır.

2. Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tespiti:

Numunelerin görünür özgül ağırlıkları, lif özgül ağırlıkları ve miktarları ile doğru orantılıdır. Çelik lifli betonlar diğerlerine nazaran daha ağırdır ve bu ağırlık lif miktarı arttıkça artmaktadır. Cam lifler ve polipropilen lifler beton ağırlığını düşürmektedir. Bu düşüş polipropilen liflerde daha belirgindir.

Su emme miktarı betonda çelik lifler arttıkça azalmaktadır. Ayrıca cam lifler, polipropilen liflere göre hacme düşen kilogram açısından daha ağırdırlar ve ağırlık başına düşen lif sayısı da cam lifli betonda fazladır. Plastik esaslı polipropilen liflerin, yüzeylerinde cam liflerine nazaran daha fazla su tuttıkları görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı cam lifli betonlar daha az su emerler. Betonların su emme ve görünür boşluk oranı değerleri paralel bir şekilde artmaktadır.

3. Basınç mukavemeti deneyi:

Genel olarak değerlendirme yapıldığında; 3 günlük betonlarda çelik liflerin oran artışının dayanım artışı ile doğru orantılı olduğu; ama 90 günlük betonlarda sadece % 0,5 lif oranının daha iyi sonuç verdiği ve lif oranı arttıkça dayanımın düştüğü sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi, beton matrisin 90 günde daha kuvvetli bir hal almasıdır. % 0.5'in üstündeki lif fazlası matrisin görevini daha iyi yapmasını engelleyerek, avantaj yerine dezavantaj yaratmıştır. Çünkü, % 0.75 ve % 1 hacimsel çelik lif miktarları beton içinde oldukça belirgin bir hacim kaplamaktadır. Buna bağlı olarak, betonun ilk döküm anındaki işlenebilme zorluklarının basınç dayanımında meydana getirmiş olduğu olumsuzluklar 90. günde görünür şekilde ortaya çıkmıştır. Ayrıca, lif narinliklerinin yüksek oluşu da % 0.5'ten daha yüksek lif içeriğinde beton homojenliğine olumsuz tesir etmektedir. 7 ve 28 günlük tüm betonlarda, değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Polipropilen lifli betonların dayanımı 3. günden itibaren kontrol betonundan daha düşük değer almakta ve bu olay sonraki günlerde benzer şekilde devam etmektedir. Cam lifleri ise, polipropilen liflerin tam tersine kontrol betonundan daha yüksek değer almakta ve sonraki günlerde aynı şekilde seyretmektedir.

Polipropilen liflerin çelik liflerle kullanılması çelik lifli betonu olumsuz etkilemekte ve tek başına yapmış olduğu olumsuz etkiyi çelik lifli betona da yansıtarak dayanımı düşürmektedir. Bunun yanında, cam lifleri ilk günlerde çelik lifli betonun dayanımını da olumlu etkilemekte; fakat 28 ve 90 günlük betonlarda bu matristeki lif sayısının çok fazla olmasından dolayı daha da olumsuz etki meydana getirmektedir.

Polipropilen liflerin % miktarının artırılması dayanımı daha aşağı çekebileceği gibi, cam lifi % miktar artışı tam tersine dayanımı daha da yukarı çekebilir. Bunun yeni % miktarlarıyla araştırılması mümkündür.

4. Ultrasonik ses hızlarının bulunması:

Ultrasonik ses hızı-zaman grafiklerinin, basınç dayanımı-zaman grafiklerine benzedikleri ve aralarında çok fazla fark olmadığı görülmüştür. Tüm numunelerin içinde en iyi sonuçlar cam lifli betonlardan elde edilmiştir. Basınç dayanımında 28. ve 90. günlerde en yüksek değerleri veren S 0.5 numuneleri, yine yüksek değerler almıştır. Numunelerin dayanım sıralaması ve ultrasonik hız sıralaması birbirine yakındır. Bu bize ultrasonik cihazla yapılan deneylerin ne kadar gerçekçi olduğunu göstermektedir.

5. Elastisite modülü ve poisson oranının bulunması:

Genel olarak, 28 günlük silindir numunelerle yapılan deneylerde, daha önce yapılmış küp basınç deneylerine benzer davranış görülmüştür. Elastisite modülü davranışının da genel olarak benzerlik gösterdiği, fakat poisson oranının matris sünekleştikçe arttığı gözlenmiştir. Poisson oranındaki artışın, liflerin matristeki artışı ile doğru orantılı olduğu kabul edilebilir. Çünkü, lifler betonun gevrek yapısını değiştirmekte ve betona daha fazla yanıl deformasyon becerisi kazandırmaktadır. Yapılan deneyler; liflerin matrisi birarada tutarak, belirgin bir şekilde dağılmayı önlediğini ve betonun daha fazla deformasyon göstererek kırıldığını açıkça göstermiştir. Özellikle karışık lif kullanılan betonlarda daha iyi sonuçlar alınmıştır.

6. Eğilme deneyi:

Liflerin, özellikle de çelik liflerin katkılı betonun eğilme dayanımı üzerindeki olumlu etkisi ilk günlerden itibaren görülmüştür. Çelik lifler diğer liflere nazaran uzun oldukları için eğilme dayanımını çok fazla geliştirmişlerdir. Bu gelişme matristeki lif yüzdesi arttıkça artmaktadır. Kırılma esnasında çelik lifli betonların birbirinden ayrılmadığı ve dağılmadığı görülmüştür. Karışık lif kullanılan betonlarda performansın daha da arttığı görülmüştür.

7. Enerji emme kapasitesi (tokluk) tespiti:

Liflerin tümü betonda tokluğu artırıcı etki yapmakta ve bu etki çelik lifli betonlarda çok belirgin olmaktadır. Ayrıca çelik lifler sadece tokluğu değil, toklukla ilgili tüm özellikleri de olumlu etkilemektedir. Karışık lif kullanımlarının sadece çelik lif kullanılan betona göre tokluk açısından pek fayda sağlamadığı, ama tokluk indekslerini biraz daha artırdığı görülmüştür.

8. Darbe dayanımı:

Darbe etkilerine tüm lifli betonların yüksek mukavemet gösterdiği, cam ve polipropilen lifli betonların mukavemetlerinin birbirine yakın olduğu ve çelik liflerin bunların çok üstünde performans göstererek betonların darbe dayanımını artırdığı görülmüştür. Karışık lif kullanımı betonu daha da kuvvetlendirmiştir. Numunelerde darbe etkisi ile ezilme oluşumu malzemenin poisson oranı ile yakından ilişkilidir. Betonda lif sayısının çok artması yapıyı çok sünek hale getirmiş ve kırılma oluşumunu çok geciktirmiştir.

9. Yorulma dayanımı:

Genel olarak ilk çatlağa kadar lif azaldıkça ses hızı da yüksek çıkmış; ama ilk çatlak bölgesi aşıldığında lif miktarı yüksek olan betonlarda ses hızı daha yavaş düşmüştür. Lifli betonlarda, özellikle de lif miktarı arttıkça, yorulma etkisi yavaşlamış ve betonlar daha geç kırılmıştır. % 0,75 ve 1 lif içeren betonlarda tam kırılma olmamış, beton ezilmiştir. Bu, betonların poisson etkisinin arttığını ve sünekleştiğini göstermektedir. Yine lif miktarı yükseldikçe eğriler yatıklaşmış ve en iyi performans çelik+cam lifli betonlarda görülmüştür.

10. Rötne:

Çelik lifler lif uçlarının kancalı oluşu sebebiyle, özellikle büzülmeyi azaltmakta; ama çelik lif-matris arayüzeyindeki küçük boşlukların su emmesi nedeniyle şişmeyi

artırmaktadır. Polipropilen lifler suyu yüzeylerinde tuttukları için kuruma etkilerini yavaşlatmış, ama tam tersine şişmeyi artırmıştır. Cam lifler polipropilen liflerin tersine suyu iterek matrisi çabuk kurutmakta, ama bunun yanında şişme etkilerini azaltmaktadır.

11. Donma-çözülme etkisi:

Donma-çözülme çevrimlerinden en çok cam lifli betonların zarar gördüğü ve çelik lifli betonların da sonuçlarının kontrol betonuna göre daha kötü durumda olduğu, sadece polipropilen liflerin dayanıklılık faktörünü geliştirdiği anlaşılmıştır.

12. Sıcaklığa dayanıklılık:

Liflerin sıcaklık etkisi sonucu betonda ağırlık kaybını hemen hemen hiç etkilemediği, fakat tüm liflerin betonda dayanım kaybını az da olsa azalttığı anlaşılmıştır. Liflerin beton içinde karışık kullanılması, içinde sadece çelik lif kullanılmış betonla aynı etkiyi yapmıştır.

13. Röntgenle iç yapı incelemesi:

Röntgen incelemesinde sadece çelik liflerin dağılımının görüntülenebildiği anlaşılmıştır. Röntgen sayesinde, beton içindeki çelik lif dağılımları görüntülenebilmiş, en iyi görüntü 5 cm'lik numune kalınlığında elde edilmiştir.

14. Anket çalışması:

Yapılan ankete katılanların çoğunun firmada yönetici konumunda oldukları, çalışanların çoğunu gençlerin oluşturduğu; fakat genel olarak kişilerin eğitim düzeyinin yetersiz olduğu, Düzce'de hizmet veren beton santrali sayısının yeterli olduğu, ama bu firmaların sadece ikisinin Hazır Beton Birliği'ne üye olduğu, çalışanların lifler hakkında pek bilgi sahibi olmadıkları ve üniversite, işveren ve diğer ilgili kurumların işbirliği ile düzenlenecek eğitim seminerlerine ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır.

Lifli betonlar genel olarak değerlendirildiğinde, olumlu yanlarının çok fazla olduğu görülmektedir. Fakat, her lif aynı özelliği taşımadığı ve lif özellikleri; lif cinsi, miktarı ve boyutu ile alakalı olduğu için, kullanılacak amaca göre lif seçiminin en doğru seçim olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 6.1’de araştırılan beton numunelerin tüm dayanım ve dayanıklılıkla ilgili deney sonuçları biraraya getirilmiş ve kontrol betonuna göre kıyaslanmıştır.

Tablo 6.1 Lifli beton numunelerinin deney sonuçlarının kontrol numunesi deney sonuçlarına göre kıyası.

İncelenen Özellik	Numune Tipi										
	S 0.5	S 0.75	S 1	P	G	SP 0.5	SP 0.75	SP 1	SG 0.5	SG 0.75	SG 1
Basınç Dayanımı	****	****	***	*	****	*	*	*	****	**	**
Ultrasonik Ses Hızı	****	***	***	*	****	*	*	*	***	**	**
Elastisite Modülü	**	*	*	*	**	*	*	*	*	*	*
Poisson Oranı	****	****	****	***	****	****	****	****	****	****	****
Eğilme Dayanımı	****	****	****	***	****	****	****	****	****	****	****
Tokluk	****	****	****	***	****	****	****	****	****	****	****
Darbe Dayanımı	****	****	****	***	****	****	****	****	****	****	****
Yorulma Dayanımı	****	****	****	***	****	****	****	****	****	****	****
Rötre	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Donma-Çözülme	**	**	**	**	*	**	**	**	*	*	*
Sıcaklığa Dayanıklılık	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

***** : Mükemmel *** : İyi * : Kötü

**** : Çok iyi ** : Orta

Tablo 6.1’e bakıldığında, tüm lif katkılı betonlar; depreme dayanıklı yapı tasarımı, endüstriyel döşemelerde, askeri sığınaklarda, havaalanı uygulamalarında kullanmanın mümkün olduğu görülmektedir. Çünkü, lifli betonlar (özellikle karışık lif katkılılar); tokluk, darbe dayanımı, yorulma dayanımı ve eğilme dayanımı açısından mükemmel performans göstermektedir. Bu yüzden; titreşimin, yorulmanın, darbe ve aşınma tesirlerinin yoğun olduğu bu gibi alanlarda kullanımı büyük avantaj sağlamaktadır.

Lifli betonlarda eğilme dayanımının yüksek oluşu, çekme dayanımlarının da yüksek olacağını göstermektedir. Poisson oranlarının yüksek oluşu sebebiyle; beton

matrisi süneklik kazanmakta, bu da malzemelere yeni kullanım alanları kazandırmaktadır. Bunlar; püskürtme beton uygulamaları, şev stabilitesinde kullanılan betonlar, tünel kaplamaları, prefabrik ve ön dökümlü elemanlardır. Bu tip betonların hızlı sertleşmesi istendiğinden, çok büyük iç gerilmeler ve buna bağlı iç çatlaklar meydana gelir. Liflerin sünekliği ve çatlak azaltıcı özelliği olumsuzlukları giderir. Özellikle ucu kancalı çelik liflerin bu alanda üstleneceği görev önemlidir. Diğer kısa lifler de beton içine çok yayıldığından kendi yönüne paralel olmayan kılcal çatlakları bertaraf edecektir. Bu yüzden, karışık lif kullanımı mikro ve makro çatlakları önlemek açısından avantaj sağlayacaktır. Yalnız, cam lif katkılı betonların (çelik liflerle beraber kullanılan dahil), oluşacak kuruma rötresine karşı diğer lifli betonlar kadar iyi performans gösteremeyeceği açıktır.

Su yapılarında ve beton borularda en uygun kullanılabilirliğin cam lifi katkılı betonlar ve özellikle de cam+çelik lif katkılı betonlar için olduğu söylenebilir. Çünkü, bu betonlar; rötre açısından, sudan daha az etkilenmektedirler. Ayrıca, deneylerde kullanılan cam liflerinin alkali dayanıklılığı da bu alanlardaki kullanım için önemlidir. Çünkü, gerek su yapıları ve gerekse beton boruların maruz olduğu sulardaki alkali saldırıları küçümsenemez ölçüdedir. Barajlar gibi çok önemli yapılarda meydana gelecek rötre çatlaklarının da azaltılması çok önemlidir. Kullanılan liflerin tümü bunu sağlayabilecek niteliktedir. Fakat, polipropilen lifi katılan betonlardaki basınç dayanımı düşüşü hem önemli su yapıları, hem de beton borular için olumsuzluk teşkil etmektedir.

Soğuk hava depoları gibi yapılarda ya da soğuk iklim şartlarına sahip bölgelerdeki yapılarda cam lifli betonların kullanılması sakıncalıdır. Bu tip durumlarda polipropilen lif katkılı betonların kullanılması ise avantaj sağlamaktadır. Çelik liflerin durumu pek değiştirmedeği, fakat dayanıklılığı biraz olumsuz etkilediği söylenebilir. Bu yüzden, bu alanlarda polipropilen liflerin tek başına kullanımı daha iyi olacaktır.

Tüm lifli betonların sıcaklık etkisine daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Yapıların yangın direncini lifli beton kullanarak artırmak mümkün olacaktır. Bu sayede binaya hem dayanım kazandırılacak ve hem de yangın etkisi ile oluşacak dağılma ve kopmalar azaltılacaktır.

Lif kullanımının yaygınlaşması ile tabii afetlerde can ve mal kaybının ne kadar azalacağı açıktır. Betonda çatlakları azaltan, dağılmayı önleyen beton içinde homojen dağılarak ona yeni özellikler katan, titreşimleri emerek azaltan ve kırılmayı geciktiren bu malzemelerin kullanımının yaygınlaştırılması için daha fazla vakit kaybedilmeden girişimde bulunmak şarttır. Deprem, yangın, sel ve kasırga gibi felaketlerde de liflerin ne derece büyük görev üstlenecekleri açıkça görülmektedir. Binanın direnci artarak, yıkılması zorlaşacaktır. Lifler beton harcını birarada tuttuğundan tahribatlar sonucu parçalanma ve dökülmeler azalacaktır.

Ülkemizde çok gelişmiş olan beton sektöründe; üretimde lifler gibi yeni malzemelerin daha fazla kullanılması ve diğer katkılar gibi yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bunun sektöre önderlik eden kişi ve kuruluşlar tarafından yapılması şarttır.

Deneylere bakıldığında; bundan sonra öneri olarak, çelik liflerin betona karıştırma miktarını daha da optimize edip; % 0,5 ile 0,75 lif içeriği arasında optimum değer tespitine gidilebileceği ya da değişik çelik lif tiplerinin diğer liflerle birlikte kullanılarak araştırılabileceği düşünülebilir. Ayrıca, beton içerisindeki cam ve polipropilen liflerin hacimsel miktarları artırılabilir, ya da daha uzun olanları kullanılabilir. Cam lifler daha uzun süre deneye tabi tutularak, alkalilere karşı uzun süreli dayanıklılık tespiti yapılabilir. Karbon liflerle ilgili çalışmaların yapılması da mümkündür. Beton santrallerindeki lifli beton kullanımları ile ilgili gerekli ekipman ve şartlar araştırılabilir. İç yapı Scanner Elektron Mikroskop altında taranabilir, özellikle numunelerin ısıtılma işleminden sonraki iç yapı görüntüleri alınarak incelenebilir.

Lifli betonlarda, daha yüksek ısılardaki tahribatların da araştırılması mümkündür. Ayrıca, polipropilen ve cam lifli betonların iç yapıları ve kimyasal analiz gelişimleri de belirlenebilir.

Statik programlarda, lifli beton deney sonuçlarına göre değişik statik analizler ve deprem araştırmaları yapılabilir. Betonarmede lif kullanımında donatı miktarında

yapılabilecek azaltma ve maliyet analizleri hesaplanabilir. Bina beton dayanımı çok yüksek tutulup; yüksek rijitlik sağlanarak, donatının kaldırılmasının hangi beton dayanımı ve lif içeriğinde sağlanabileceği araştırılabilir.



KAYNAKLAR

ACI Committee 544.2R, 1989, Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit.

ACI Committee 544.4R, 1989, Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit.

Altoubat, S.A. and Lange, D.A., 2001, Early Age Stresses and Creep-Shrinkage Interaction of Restrained Concrete, Civil Engineering Studies, FAA Center of Excellence for Airport Technology, COE Report No. 14, p. 33, Illinois.

Arslan, A. ve Aydın, A.C., 1999, Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.

Arslan, A., 1987, Çelik Lif Donatılı Normal Betonlarda Yavaş ve Hızlı Yükleme Durumlarında Gerilme-Gerinim Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Arslan, A., 1993, Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli, Türkiye Dergisi, İMMOB İnşaat Mühendisler Odası Birliği, Sayı:369, 29-33, Ankara.

Arslan, A. ve Aydın, A.C., 1999 a, Lifli Betonların Genel Özellikleri, Hazır Beton, 67-75.

Arslan, A., Aydın, A.C., 1999 b, Lifli betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.

ASTM C 666, 1971, Standard Method of Test for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.

Bentur, A., Mindess, S., 1998, Fibre Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Applied Science Publishers, UK.

Brogan, B., 2002, Fiber Reinforced Concrete, Project Technovation, CER – 022, Structural Materials Winter 2002, Prof. Ghaly.

De Vos F., 1992, Anwendung von Stahlfaserbeton bei Industriefußböden, Faserbeton, Vorträge der DBV(Deutscher Beton-Verein e.V.)-Arbeitstagung, Duisburg.

Esen, Y., 1996, Polivinil Alkol Katkılı Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Halm, J., 1992, Ausgangstoffe, Herstellverfahren und Eigenschaften von Glasfaserbeton, Faserbeton, Vorträge der DBV(Deutscher Beton-Verein e.V.)-Arbeitstagung, Duisburg.

Hannant, D. J., 1978, Fibre Cements and Fibre Concrete, John Wiley and Sons, New York.

Hua, Y., Qi, H.B., Jiang, Z.Q., Huang, S.Z. and Zhang, S.B., 2000, Study on the Bending Fatigue Damage of the Carbon and the Polypropylene Hybrid Fiber Reinforced Concrete, Key Engineering Materials, Vol. 183-187, Switzerland, 571-576.

Hughes, B.P. and Fattuhi, N.I., 1977, Stress-Strain Curves for Fiber Reinforced Concrete in Compression, Cement and Concrete Research, Vol. 7, pp. 173-184.

Juska, T., Dutta, P., Carlson, L. and Weitsman, J., Thermal Effects, 1999, Gap Analysis for Durability of Fiber Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure, Chapter 5, 40-51.

Kukko, H. and Matala, S., 1991, Effect of Composition and Aging on the Frost Resistance of High-Strength Concrete, Durability of Concrete, Second International Conference, Volume I, SP-126-12, 229- 248, Montreal, Canada.

Majumdar, A.J. and Laws, V., 1991, Glass Fibre Reinforced Cement, BSP Professional Books, Oxford.

Malvar, L.J., 1998, Durability of Composites in Reinforced Concrete, CDCC'98 - First International Conference on Durability of Composites for Construction, Sherbrooke (Québec) Canada.

Marar, K., Eren, Ö., Çelik, T., 2001, Relationship Between Impact Energy and Compression Toughness Energy of High-Strength Fiber-Reinforced Concrete, Material Letters 47, 297-304.

Morgan, D. R., 1991, Freeze Thaw Durability of Steel and Polypropylene Reinforced Shotcretes: A Review. Durability of Concrete. Second International Conference, Held in Montreal, Canada; Ed. by V.M. Malhotra; American Concrete Institute, Detroit, MI, Vol. 2, 901-918, (ACI SP-126).

Mu, B., Li, Z., Peng, J., 2000, Short Fiber-Reinforced Cementitious Extruded Plates with High Percentage of Slag and Different Fibers, Cement and Concrete Research 30, 1277-1282.

Myers, J.J., Murthy, S., Micelli, F., 2001, Effect of Combined Environmental Cycles on the Bond of FRP Sheets to Concrete, Proceedings-Composites In Construction 2001 International Conference, Porto, Portugal.

Nakagawa, H., Akihama, S. and Suenaga, T., 1989, Mechanical Properties of Various Types of Fibre Reinforced Concretes, Fiber Reinforced Cement and Concretes, London, 523-532.

Norris, T., Saadatmanesh, H. and Ehsani, M.R., 1997, Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets, Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No.7, pp. 903-911, ISSN 0733-9445/97/0007-0903-0911.

PCI Committee on Glass Fiber Reinforced Concrete Panels (PCI Committee on GFRCP), 2001, Physical Properties of GFRC, Recommended Practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels, Stonewear, Composite Stone Products, 6-14, Carson City.

Phillips, L.N., 1989, Design with Advanced Composite Materials, Design Council, London.

Polk, M., Kumar, S. and Wang, Y., 1993, Fundamental Studies for the Utilization of Carpet Waste, National Textile Center Annual Report. Code: G92C3, 137-144.

Purkiss, J.A., 1996, Fire Safety Engineering, Butterworth-Heinemann, 342 pages, ISBN: 0750606096.

Qian, C.X. and Stroeve, P., 2000, Development of hybrid Polypropylene-Steel Fibre-Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research 30, 63-69.

Sancak, E.ve Ünal, O., 1999, Çelik Liflerin Hafif Betonlarda Kullanılması Üzerine Bir Araştırma, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.

Schnütgen, B., 1992, Technologie des Stahlfaserbetons und Stahlfaserspritzbetons, Faserbeton, Vorträge der DBV(Deutscher Beton-Verein E.V.)-Arbeitstagung, Duisburg.

Soroushian, P., Aouadi, F. and Nagi, M., 1991, Latex-Modified Carbon Fiber Reinforced Mortar, ACI Materials Journal (American Concrete Institute) v. 88, n. 1, pp. 11-18.

Şener, S ve Diğerleri, 1999, Çelik Lifli Kirişlerde Boyut Etkisi, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.

Taşdemir, M.A., 2000, Mön İnşaat Tarafından Alanya-Antalya Arasındaki Karayolları Tünellerinde Kullanılacak Dramix Çelik Tel Donatılı Beton Plaklar Üzerinde Yapılan Deneyler İle İlgili, Teknik Rapor, Proje No: 2000/323, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, İstanbul.

Thomas, J. and Kline, T., 1996, Strengthening Concrete with Carbon-Fiber Reinforcement, Aberdeen's Concrete Repair Digest Vol.7, n.2, pp. 88-92, CODEN: 002459.

TÜRK STANDARDLARI, 1980, TS 3526 Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1979, TS 3284, Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1978, TS 3115 Taze Beton Kıvam Deneyi (Vebe Deneyi), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1979, TS 3322 Çimento Harcı ve Beton Numunelerinde Boy Değişim Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1980, TS 3529 Beton Agregalarında Birim Ağırlıkların Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1980, TS 706- Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1981, TS 3502- Betonda Statik Elastisite Modülü ve Possion Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1981, TS 3624- Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1981, TS 3694- Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1985, TS 802- Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1988, TS 5931- Sıkıştırılmış Taze Beton –Yoğunluk Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1992, TS 10515- Beton-Çelik Lif Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK STANDARDLARI, 1998, TS 3114 Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türker, T., 2000, Betonarmede Oluşan İç Gerilimlere Karşı Gerçek Önlem, İnşaat ve Malzeme, The Constructuion and Materials Magazine, ISSN 1301-2738, Sayı: 150, 24-25.

Uğurlu, A., 1994, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ-878, Ankara.

Ünal, O., 1994, Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Vandenbossche, J.M. and Rettner, D.L., 1999, One-Year Performance Summary of Whitetopping Test Sections at the Mn/ROAD Test Facility, the Accelerated Pavement Testing International Conference.

Wang, Y., H.C. Wu, and V.C. Li, 2000, Concrete Reinforcement with Recycled Fibers: A Review, ASCE . J. of Materials in Civil Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 314-319.

Wienke, B., 1992, Erläuterungen zum Merkblatt "Grundlagen zur Bemessung von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton", Faserbeton, Vorträge der DBV(Deutscher Beton-Verein E.V.)-Arbeitstagung, Duisburg.

Wörner, J.D., 1992, Sachstandbericht "Faserbeton mit Synthetischen Organischen Fasern" und Anwendungen in der Praxis, Faserbeton, Vorträge der DBV - Arbeitstagung, Duisburg.

Yan, H., Sun, W., Chen, H., 1999, Effect of Silica Fume and Steel Fiber on the Dynamic Mechanical Performance of High-Strength Concrete, Cement and Concrete Research 29, 423-426.

Yıldırım, M.A., 1994, Hafif ve Yarı Hafif Betonlarda Çelik Lif Kullanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

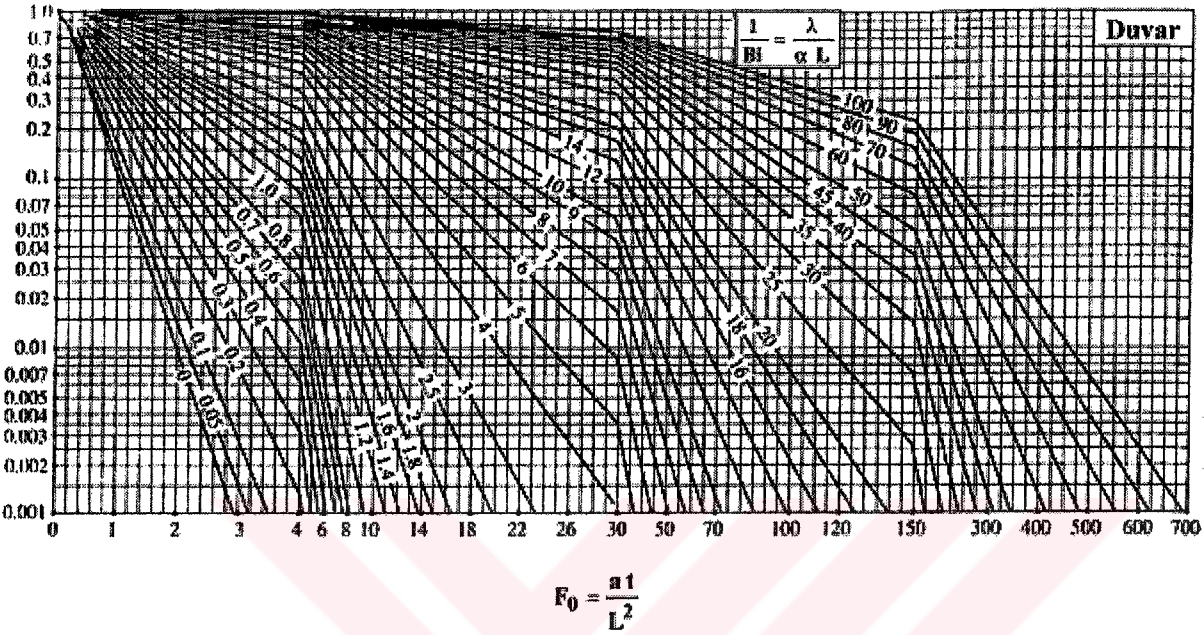
Yıldız, S., 1998, Lifli Beton Boruların Durabilitesi, Kırılma Performansı ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.



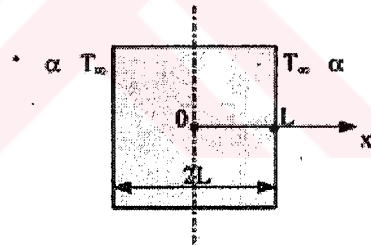
EKLER

EK-1 DONMA-ÇÖZÜLME DENEYİ HESAP TABLOLARI

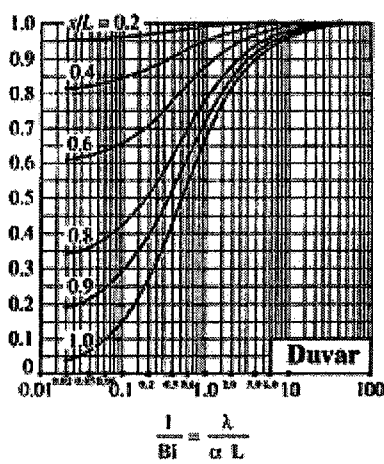
$$\theta_0 = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$



Şekil 1. Kalınlığı 2L olan bir duvarın merkezindeki sıcaklık

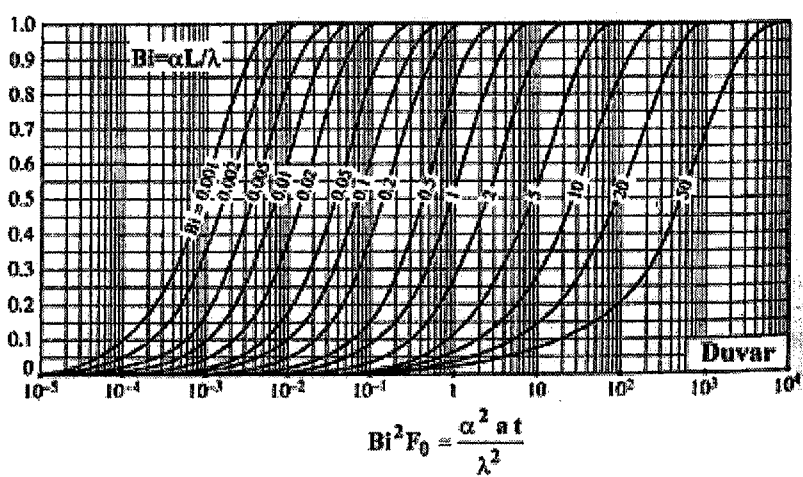


$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty}$$



Şekil 2. Kalınlığı 2L olan bir duvarın herhangi bir x/L noktasındaki sıcaklık

$$\frac{Q}{Q_1}$$



Şekil 3. Kalınlığı 2L olan bir duvardan ısı transferi miktarı

EK-2 ANKET SORULARI VE VERİLEN CEVAPLAR

BÖLÜM I

KİŞİSEL BİLGİLER

1. Firmadaki görevinizi belirtiniz.

- a. () Üst düzeyde yönetici
- b. () Çalışan
- c. () Laborant
- d. () Başka (Belirtiniz)

2. Öğrenim durumunuz:

- a. () İlköğretim
- b. () Ortaöğretim
- c. () Yüksekokul
- d. () Fakülte
- e. () Lisans üstü (master/doktora)

3. Yaşınız :

- a.() 20-29 arası
- b.() 30-39 arası
- c.() 40-49 arası
- d.() 50' den fazla

4. Firmadaki çalışma süreniz:

- a.() 1 – 5 yıl
- b.() 6 – 10 yıl
- c.() 11 – 15 yıl
- d.() 16 – 20 yıl
- e.() 21 yıl ve üzeri

5. Bu meslekte çalışma süreniz.

- a.() 1 – 5 yıl
- b.() 6 – 10 yıl
- c.() 11 – 15 yıl
- d.() 16 – 20 yıl
- e.() 21 yıl ve üzeri

BÖLÜM II

FİRMA BİLGİLERİ

6. Firmanızın faaliyet alanlarını belirtiniz.

- a.() Hazır beton
- b.() Prefabrike beton elemanları
- c.() Başka

(Belirtiniz).....

7. Firmanız kaç yıldır faaliyet gösteriyor?

- a.() 1 – 5 yıl
- b.() 6 – 10 yıl
- c.() 11 – 15 yıl
- d.() 16 – 20 yıl
- e.() 21 yıl ve üzeri

8. Firmada çalışan personel sayısı ne kadardır?

- a.() 1-50 kişi
- b.() 51-150 kişi
- c.() 150' den fazla

9. Firmadaki eleman sayısının sizce ne derece yeterli olduğunu belirtiniz.

- a.() Yetersiz
- b.() Kısmen yeterli
- c.() Yeterli
- d.() Oldukça yeterli
- e.() Fikrim Yok

10. Firmanızda beton ve agrega deneylerinin yapılabildiği bir laboratuvar ortamı mevcut mu?

- a. () Evet
- b. () Hayır

11. Cevabınız “ Evet” ise hangi beton deney ya da deneylerini yapabiliyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.)

- a.() Beton basınç deneyi
- b.() Beton eğilme deneyi
- c.() Slump (Çökme) deneyi
- d.()..... deneyi
- e.() Başka belirtiniz).....

12. Bu deneyler yapılamıyorsa / yapılamama nedenlerini belirtiniz? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.)

- a. () Laboratuvar ortamı için uygun bir birimin bulunmaması
- b. () Maliyetinin yüksek olması
- c. () İşveren tarafından önemine inanılmaması
- d. () Yeterli araştırmacı elemanının bulunmaması
- e. () Uzun zaman alması
- f. () İşverene ek bir maliyet getirmesi
- g. () Başka (Belirtiniz).....

13. Tesisinizin yıllık ortalama beton üretimi sizce nasıl?

- a. () Az b. () Orta düzeyde c. () İyi d. () Çok iyi

14. Düzce’de bu işi yapan firma sayısı sizce yeterli mi?

- a. () Evet b. () Kısmen c. () Hayır

15. Düzce bölgesinde kaç firmanın bu işi ciddi olarak yaptığını düşünüyorsunuz?

- a. () 1 firma b. () 2 firma
c. () 3 firma d. () 4 ve daha fazla firma

16. Hazır Beton birliğine üye misiniz?

- a. () Evet b. () Hayır

17. Cevabınız “**Hayır**” ise nedenini/nedenlerini belirtiniz(Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz)

a. () Hazır Beton Birliğine üye olmanın hiçbir avantajının olmayacağına inandığımızdan dolayı

b. () Yıllık aidatların fazla olması

c. () Hazır Beton Birliği tarafından yapılan kontrollerin çok sıkı olması

d. () Böyle bir kurumun varlığından haberdar olmadığımızdan dolayı

18. Firmanızın şu andaki durumu üretim, kalite ve çalışma yönünden sizce nasıldır?

- a. () Çok iyi b. () İyi c.() Orta d. () Kötü

19. Firmanız Düzce dışında geniş bir alana da hizmet veriyor mu?

- a. () Evet b. () Hayır

20. Firmanızın başka şubeleri de mevcut mu?

a. () Evet

b. () Hayır

BÖLÜM III

TEKNİK BİLGİLER

21. Aşağıda tanımlanan malzemelerden ne derecede haberdarsınız?

SEÇENEKLER	ÇOK	KISMEN	AZ	HİÇ
Çelik Lif				
Cam Lifi				
Polipropilen Lif				
Mineral beton katkıları (puzolanlar)				
Kimyasal beton katkıları				

22. Eğer bu malzemeler hakkında bilgi sahibiyseniz bu bilgiyi hangi kaynak / kaynaklardan öğrendiniz? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz)

a. () Bir arkadaşımдан

b. () Yazılı bir yayından

c. () Kurs, seminer v.b. bir kaynaktan

d. () İnternette

e. () Başka (Belirtiniz).....

23. Firmanızda bu malzemelerden hangisi ya da hangilerini kullanılıyor? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz)

a.() Çelik Lif

b.() Cam Lifi

c.() Polipropilen Lifi

d.() Mineral beton katkıları (puzolanlar)

e.() Kimyasal beton katkıları

24. Laboratuvarınızda firmanız tarafından yeni malzemeler ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülüyor mu?

- a. () Evet b. () Hayır

25. Cevabınız hayır ise sizce sebebi nedir?

- a. () Laboratuar ortamı için uygun bir birimin bulunmaması

- b. () Maliyetinin yüksek olması

- c. () İşveren tarafından önemine inanılmaması

- d. () Yeterli araştırmacı elemanının bulunmaması

- e. () Uzun zaman alması

26. Yeni beton katkı malzemeleri malzemeler ve beton hakkında seminer verilmesine ihtiyaç duyuyorsanız bu seminerin kimin tarafından verilmesini istersiniz.

- a. () İşveren tarafından

- b. () Üniversite tarafından

- c. () Hazır Beton Birliği tarafından

- d. () Başka belirtiniz:.....