

77641

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİFLİ BETON BORULARIN DURABİLİTESİ
KIRILMA PERFORMANSI VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

SERVET YILDIZ

77641

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELAZIĞ
1998**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİFLİ BETON BORULARIN DURABİLİTESİ
KIRILMA PERFORMANSI VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

SERVET YILDIZ

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından
oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Tezin Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN

Jüri üyesi :

Jüri üyesi :

ÖZET

Doktora Tezi

LİFLİ BETON BORULARIN DURABİLİTESİ KIRILMA PERFORMANSI VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

SERVET YILDIZ

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1998 , Sayfa : 137

Cam lifli beton borular üzerine yapılan bu araştırmada; lif oranının beton numuneleri üzerindeki etkileri araştırılarak normal beton özellikleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca ağırlıkça % 0.2, 0.4 ve %0.6 oranlarında cam lifi katılmış beton borular standart yöntemlere göre test edilmiştir.

Hazırlanan cam lifli beton numuneleri üzerinde; basınç, çekme, eğilmede çekme, donma-çözülme, aşınma ve su emme deneyleri yapılarak malzemenin statik yüklemeler altındaki davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, normal beton deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre; betonun çekme dayanımında %94.74 ve eğilmede çekme dayanımında %67.78'lik bir artış sağlanmıştır. Yine bu deney sonuçlarına göre; yük-deformasyon eğrileri çizilerek, lifli betonun dayanımı ve kırılma özellikleri hakkında temel bilgiler elde edilmiştir.

Beton borular üzerinde ise tepe basıncı, sızdırmazlık, alın yüzünün düzgünlüğünün muayenesi, biçim ve görünüş muayenesi, boru iç yüzünün düzgünlüğünün muayenesi deneyleri yapılmıştır. Bulunan deney sonuçlarına göre; cam lifi ilave edilmiş beton boruların tepe basınç yükünde %25 oranında bir artış sağlanmış ve lifli beton boruların yüzeyindeki pürüzlülüğün ve çatlakların, normal beton borulara göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca beton borulardaki kırılma yüklerine göre gerilme analizleri yapılmıştır.

Sonuç olarak; cam lifin, beton borularda sağladığı %25' lik tepe basıncı yükü artışından dolayı boruların cidar kalınlığında azalmaya gidilebileceği tespit edilmiştir. Boru maliyetinde; %0.2 lif oranına kadar lif katkı durumunda boru maliyetinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Malzeme özellikleri, boru geometrisi ve borunun taşıma gücü arasındaki teorik ilişki kurulmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Çimento, beton, cam lif, cam lifli beton, tepe basınç yükü, donma-çözülme direnci, sızdırmazlık, çekme, eğilmede çekme, basınç, pürüzlülük, aşınma, su emme.

SUMMARY

PhD Thesis

THE INVESTIGATION OF DURABILITY, FRACTURE PERFORMANCE AND USAGE OF FIBER REINFORCED CONCRETE

Servet YILDIZ

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

1998, Page: 137

In this study, the effect of fibre contents on the reinforced concrete specimens have been investigated and the obtained results have been compared with those of the plain concrete. In addition, the reinforced concrete pipes containing %0.2, 0.4 and %0.6 glass fibre (by weight) have been tested according to the standart procedures.

In order to determine the behavior of the material under the static loads, compression strength, tensile strength, flexural strength, freeze-thaw, abrasion and weathering tests on the prepared glass-fiber reinforced concrete specimens are performed. The obtained results have been compared to the results of the normal concrete tests. According to test results, it has been observed that the tensile strength and flexural strength of the glass-fiber reinforced concrete have increased by %94.74 and %67.78 respectively.. Further more, the basic information on the durability and fracture of glass-fiber reinforced concrete were obtained by load- deflection curves.

The top pressure, watertightness and the surface quality tests of inside and out side of the pipe have also been performed on the glass fiber reinforced concrete pipes. According to the obtained results, the top pressure load of the reinforced concrete containing glass fibre is increased by %25 and it has also been observed that the surface roughness and craks of the glass fiber reinforced concrete pipes are less than those of the normal concrete pipes. In addition to that, the strength analysis is studied in terms of the ultimate loads of the concrete pipes.

Finally, it is concluded that the thickness of the pipes can be decreased because of increasing by %25 top pressure load by adding glass fibre. It is also found out that the cost of the pipes containing glass fibre decreases until %0.2 fiber-glass content (by weight). A theoretical relationship between the properties of materials, geometry and the load bearing capacity were also studied.

KEY WORDS: Cement, concrete, glass fibre, fiber glass reinforced concrete, top pressure load, freeze-thaw, watertightness, tension, compression, flexural strength, toughness, abrasion, weathering.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN'a, Sayın Doç. Dr. Abdussamet ARSLAN'a, Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı Teknisyeni Sayın Seyfettin ÇİÇEK'e, boruların dökümünde yardımlarını esirgemeyen Sivrice CEM-SEL İNŞ. Boru Fabrikası sahiplerinden Sayın Sezai GÜRSUL'a , İller Bankasında Kontrol Mühendisliği yapan Sayın Baki YALIN'a, şekillerin çiziminde Sayın Mimar Cüneyd KELEŞTEMUR'a, Makalelerin tercümesinde Sayın Hasan ALLİ'ye, Arş. Gör. Sayın Ahmet BAYLAR'a, Doç. Dr. Yusuf CALAYIR'a, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölüm sekreteri Sayın Musa ATABAY'a, Arş. Gör. S.Taner YILDIRIM'a, Elazığ Keban Holding A.Ş. Elbeton Prefabrike Yapı Elemanları Fabrikası Teknisyenlerine ve Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Laboratuvarı Teknisyenlerine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER	xiv
 1. GİRİŞ	 1
 2. GENEL BİLGİLER.....	 5
2.1. Cam Lifin Tanımı, Önemi ve Geleceği	5
2.1.1. Cam elyafi çeşitleri	8
2.1.2. Kalıplama metotları ve kullanılan cam elyafi çeşitleri	10
2.2. Beton Boru Yapım Kuralları	11
2.2.1. Malzeme seçimi	12
2.2.2. Yapım metotları	13
2.2.2.1. Kalıba dökme ve titreşimle sıkıştırma metoduyla boru yapımı	14
2.2.2.2. Döner başlıklı kalıplarla üretim	15
2.2.2.3. Titreşimli tokmaklamayla boru yapımı	15
2.2.2.4. Savurma dökümle boru yapımı	16
2.3. Bakım Metotları	17
2.4. Beton Boruların Dizaynında Kırılma Mekanığı	18
2.4.1. Dairesel borularda eğilme modunun boyut, şekil ve kırılma dayanımının etkisi	19
2.4.2. Düz tabanlı borularda yük dağılımı etkisi	22

2.5. Lifli Betonarme Malzeme Deneyleri İçin Metotlar ve Tavsiyeler	27
2.5.1. Basınç Deneyi	28
2.5.2. Basınçta uç şartları etkileri	29
2.5.2.1. Mafsallı uçlar	29
2.5.2.2. Sabit uçlar	29
2.5.2.3. Plaka sürtünmesi	30
2.5.3. Basınçta gerilme-birim deformasyon eğrileri	30
2.5.4. Direkt çekmede deney teknikleri	33
2.5.5. Çekmede gerilme-birim deformasyon eğrileri	35
2.5.6. Eğilme deneyi	36
2.5.7. Eğilme çatlama gerilmesi	36
2.5.8. Önceden dökülmüş beton boruların dayanımı ile ilgili konular	38
 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	 40
 4. ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEMELER	 55
4.1. Malzeme	55
4.1.1. Cam elyafı	55
4.1.2. Portland çimentosu	57
4.1.3. Karma suyu	58
4.1.4. Agregası	58
4.1.5. Su/Çimento oranı	61
4.1.6. Karışım oranı ve hesabı.....	61

5. CAM LİFLİ BETON NUMUNELERİ ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI.....	62
5.1. Basınç Dayanımı	62
5.1.1. Giriş	62
5.1.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	63
5.1.3. Tartışma	64
5.2. Cam Lif Katkılı Betonların Donma-Çözülme Tesirleri Altında Davranışı	65
5.2.1. Giriş	65
5.2.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	66
5.2.3. Tartışma	67
5.3. Sürtünme Yolu İle Aşınma Kaybı	69
5.3.1. Giriş	69
5.3.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	70
5.3.3. Tartışma	72
5.4. Eksenel Çekme Dayanımı.....	73
5.4.1. Giriş	73
5.4.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	74
5.4.3. Tartışma	76
5.5. Cam Lifli Malzemelerin Çekme Dayanımı İçin Alternatif Bir Çözüm	77
5.5.1. Giriş	77
5.5.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	78
5.5.3. Tartışma	80
5.6. Eğilme Dayanımı	81
5.6.1. Giriş	81
5.6.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	82
5.6.3. Tartışma	85

6. CAM LİFLİ BETON BORULAR ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI	87
6.1. Tepe Basınç Yüğü	87
6.1.1. Giriş	87
6.1.2 Deney yöntemi ve sonuçlar	88
6.1.3. Tartışma	91
6.1.4. Cam lifli beton borularda tepe basınç yükünün teorik olarak hesabı	94
6.2. Sızdırmazlık	98
6.2.1. Giriş	98
6.2.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	99
6.2.3. Tartışma	100
6.3. Su Emme	101
6.3.1. Giriş	101
6.3.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	101
6.3.3. Tartışma	102
6.4. Biçim ve Görünüş Muayenesi	103
6.4.1. Giriş	103
6.4.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	103
6.4.3. Tartışma	104
6.5. Alın Yüzünün Düzgünlüğünün Muayenesi	104
6.5.1. Giriş	104
6.5.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	106
6.5.3. Tartışma	106
6.6. Boru İç Yüzünün Düzgünlüğünün Muayenesi	107
6.6.1. Giriş	107
6.6.2. Deney yöntemi ve sonuçlar	107
6.6.3. Tartışma	109

7. CAM LİFLİ BETON BORULARDA GERİLME ANALİZİ ve	
DEPLASMAN HESABI	110
8. EKONOMİK ANALİZ	121
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	128
KAYNAKLAR	132



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Beton Borulara Uygulanan Tipik Bir Buhar Kürü Süreci	18
Şekil 2.2. Beton Borularda Eğilme Çeşitleri	19
Şekil 2.3. Bir Borunun Normal Eğilme Dayanımındaki Değişimi	20
Şekil 2.4. Deney Düzeneği A, B ve 800 mm İç Çaplı (C) Bir Boru İçin Yük Dağılımı.....	22
Şekil 2.5. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Bir Parçanın A Yükleme Altında Meydana Gelen Deformasyon ve Çatlama Modeli	24
Şekil 2.6. Yük-Deplasman Eğrisi	24
Şekil 2.7. Basınçta 102 mm’lik Küp Numuneler İçin Gerilme-Birim Deformasyon Eğrileri	31
Şekil 2.8. Basınç Altında (30 günlük) 300×100×100 mm’lik Prizmalar İçin Gerilme-Ortalama Birim Deformasyon Eğrileri.....	33
Şekil 2.9. Çatlak Bir Numune İçin Mümkün Olan Ölçme Pozisyonları	35
Şekil 2.10. Sabit ve Mafsallı Uç Şartları İçin Çatlamış Bir Kesit Boyunca Mümkün Olan Gerilme Dağılımı.....	36
Şekil 3.1. Değişik Lif Katkılı Betonlar İçin Yük-Deplasman Eğrileri	41
Şekil 3.2. Standart Mod I Eğilme Numunesi	42
Şekil 3.3. Standart ModI Kompakt Çekme Numunesi	43
Şekil 3.4. Önerilen Mod II Deney Numunesi	43
Şekil 3.5. Tokluk İndeksinin İki Tanımı	46
Şekil 3.6. Lif Oranının Artması İle Elde Edilen Artım Eğrileri	52
Şekil 4.1. Elazığ-Çemişgezek Agregası Granülometri Eğrisi	61
Şekil 5.1. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Basınç Dayanımlarının Değişimi	64
Şekil 5.2. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Donma-Çözülme Miktarlarının Değişimi	68
Şekil 5.3. Cam Lifin Betonlarda Sürtünme Yolu İle Aşınma Kaybına Etkisi	72
Şekil 5.4. Eksenel Çekme Deneyi İçin Kullanılan Kalıbın Ebatları (mm)	74
Şekil 5.5. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Eksenel Çekme Dayanımlarının Değişimi	75
Şekil 5.6. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Numunelerde Meydana Gelen Uzama Miktarlarının Değişimi	76
Şekil 5.7. Eksenel Çekme Deneyi İçin Kullanılan Kalıbın Ebatları.....	77

Şekil 5.8. Eksenel Çekme Deneyi İçin Özel Olarak Yapılmış Deney Aleti	78
Şekil 5.9. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Çekme Dayanımının Değişimi	79
Şekil 5.10. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Uzama Miktarlarının Değişimi	80
Şekil 5.11. Eğilme Deneyinde Tek Noktadan Yüklenmiş Basit Kirişin Yükleme Başlığı ve Yüklem Tablası Durumu	82
Şekil 5.12. Eğilme Deneyinde Üçte Bir Noktalarından Yüklenmiş Basit Kirişin Yüklem Başlığı ve Yüklem Tablası Durumu	82
Şekil 6.1. Basınç Presine Yerleştirilmiş Deney Numunesi	86
Şekil 6.2. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Tepe Basıncı Yüklerinin Değişimi.....	91
Şekil 6.3. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Tepe Basınç Yüklerinin Değişimi (1 Yıllık)	92
Şekil 6.4. Yük-Deplasman Eğrileri.....	92
Şekil 6.5. Beton Borularda Lif Oranlarına Bağlı Olarak Meydana Gelen İlave Su Miktarlarının Değişimi	95
Şekil 6.6. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Su Emme Miktarlarının Değişimi	98
Şekil 6.7. Beton Borularda Alın Yüzünün Düzgünlüğünün Muayenesinde Kullanılan Çelik Şablonun Şekli	100
Şekil 6.8. Boru İç Yüzünün Düzgünlük Muayenesi İçin Kullanılan Çelik Master	102
Şekil 7.1. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Yüklem Durumu	108
Şekil 7.2. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Elemanlara Ayrılmış Durumu	108
Şekil 7.3. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Düğüm Noktalarına Ayrılmış Durumu	109
Şekil 7.4. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun yük Altında Deforme Olmuş Hali	109
Şekil 7.5. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun σ_{xx} Gerilme Dağılışı	110
Şekil 7.6. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun σ_{yy} Gerilme Dağılışı	111
Şekil 7.7. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun τ_{xy} Gerilme Dağılışı	112
Şekil 7.8. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun S1 Asal Gerilme Dağılışı	113
Şekil 7.9. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun S2 Asal Gerilme Dağılışı	114
Şekil 7.10. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun S3 Asal Gerilme Dağılışı	115

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Başlıca Cam Elyafı Cinslerinin Kompozisyonları.....	6
Tablo 2.2. Beton Boruların Yapımında Kullanılacak İnce Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı	12
Tablo 2.3. Beton Boruların Yapımında Kullanılacak İri Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı	13
Tablo 2.4. Deneysel Olarak Elde Edilen Eğilme Mukavemeti ve Buna Karşılık Gelen Kırılma Mekanikliği Kullanılarak Tahmin Edilen Betonun Çekme Mukavemeti...	21
Tablo 2.5. İç Çapı 800 mm Olan Borular İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	22
Tablo 2.6. $f_t=2,85$ Mpa ve Değişik I_{ch} ($= E \cdot G_f / f_t^2$) Değerleri İçin Hesaplanan Kırılma Yükleri (kN/m)	23
Tablo 2.7. $f_t=2,85$ Mpa ve Değişik I_{ch} Değerleri İçin Yük Dönüşüm Faktörü C/B İçin Hesaplanan Kırılma Yükleri	23
Tablo 2.8. Deneysel Eğilme Mukavemetleri ve Buna Karşılık Gelen Değişik Teorilerden Tahmin Edilen Betonun Çekme Mukavemeti	25
Tablo 2.9. Tipik Birim Deformasyon Ölçüm Teknikleri	31
Tablo 3.1. Eğilme Numunelerinin Kırılma Mukavemeti Sonuçları	47
Tablo 3.2. Eğilme Numunelerinden Elde Edilen Kırılma Tokluğu ve Tokluk İndeksi Sonuçları	48
Tablo 3.3. Kompakt Çekme Numunelerinden Elde Edilen Kırılma Mukavemeti Sonuçları	48
Tablo 3.4. Kompakt Çekme Numunelerinden Elde Edilen Kırılma Tokluğu ve Tokluk İndeksi Sonuçları	49
Tablo 3.5. Mod II Deney Numunelerinden Elde Edilen Kesme Mukavemeti Sonuçları.....	50
Tablo 3.6. Mod II Deney Numunelerinden Elde Edilen Tokluk İndeksi Sonuçları	51
Tablo 4.1. Cam Liflerine Ait Bazı Tipik Değerler	56
Tablo 4.2. Portland Çimentosunun Analiz Sonuçları	57
Tablo 4.3. 1 Nolu Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim	58
Tablo 4.4. 2 Nolu Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim	59

Tablo 4.5. 3 Nolu Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim	59
Tablo 4.6. Elazığ-Çemişgezek Agregası Elek Analizi Sonuçları	60
Tablo 4.7. Beton Karışım Oranları	61
Tablo 5.1. Cam Lifli Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı	
Deney Sonuçları	64
Tablo 5.2. Lif Katkılı Betonların Donma-Çözülme Deney Sonuçları	67
Tablo 5.3. 1 Yıllık Beton Parçaların Donma-Çözülme Deney Sonuçları	69
Tablo 5.4. Cam Lif Katkılı Betonlarda Sürtünme Yolu İle	
Aşınma Kaybı	72
Tablo 5.5. Cam Lifli Beton Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları	75
Tablo 5.6. Çekme Deneyi Altında Uzama Miktarları	76
Tablo 5.7. Basınç Etkisi Altında Betonda Meydana Gelen Çekme Dayanımı	
Deney Sonuçları (28 Günlük).....	79
Tablo 5.8. Tek Noktadan Yüklenmiş Numunelerin Eğilme Dayanımı	
Deney Sonuçları	84
Tablo 5.9. Üçte Bir Noktalarından Yüklenmiş Numunelerin Eğilme Dayanımı	
Deney Sonuçları	85
Tablo 6.1. Baskı ve Mesnet Lataları Genişlikleri	88
Tablo 6.2. Beton Borularda Tepe Basınç Yüğü Deneyindeki Min.	
Kırılma Yüğüleri	89
Tablo 6.3. Beton Boru İmalatında Kullanılan Malzeme	
Karışım Oranları (%).....	89
Tablo 6.4. Değişik Çaplardaki Beton Borular İçin Tepe Basınç Yüğü Deney Sonuçları	90
Tablo 6.5. Değişik Çaplardaki Beton Borular İçin Tepe Basınç Yüğü Deney Sonuçları	91
Tablo 6.6. Deneysel Tepe Basınç Yüğülerinin Formülle Bulunan	
Yüğülerle Karşılaştırılması.....	98
Tablo 6.7. Beton Borulara Ait Her m² İç Yüzey Başına İzin	
Verilen İlave Su Miktarı	99
Tablo 6.8. Lif Katkılı Beton Borulara Ait Sızdırmazlık Deney Sonuçları	100
Tablo 6.9. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Su Emme Deneyi Sonuçları	102
Tablo 6.10. Beton Borularda Kabul Edilen Tolerans Değerleri.....	104

Tablo 6.11. Beton Borularda Alın Yüzünün Düzgünlüğündeki Tolerans Değerleri	105
Tablo 6.12. Lifli Beton Borularda Alın Yüzünün Düzgünlüğünün Deney Sonuçları.....	106
Tablo 6.13. Cam Lifli Beton Borularda Boru İç Yüzeyinde Ölçülen Eğrilik Değerlerinin Deney Sonuçları.....	108
Tablo 7.1. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Elastisite Modüllerinin Değeri	110
Tablo 7.2. Cam Lifli Beton Boruların Sap 90 İle Max. Çekme ve Max Basınç Çözüm Sonuçları	111
Tablo 7.3. Cam Lifli Beton Boruların Sap 90 İle Max. Yatay ve Max Düşey Deplasmanlarının Çözüm Sonuçları.....	112
Tablo 8.1. Buhar Kürlü Beton Boruların Bünyesine Giren Beton, Çimento, Kum-Çakıl Miktarları İle Dolgudan Düşülecek Boru Dış Hacmi.....	121
Tablo 8.2. $\phi 200$ mm. Buhar Kürlü (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı.....	122
Tablo 8.3. $\phi 300$ mm. Buhar Kürlü (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı.....	123
Tablo 8.4. $\phi 400$ mm. Buhar Kürlü (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı.....	124
Tablo 8.5. $\phi 500$ mm. Buhar Kürlü (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı.....	125
Tablo 8.6. $\phi 600$ mm. Buhar Kürlü (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı.....	126
Tablo 8.7. Cam Lifli Beton Boruların Lifsiz Borularla Fiyatlarının Mukayesesi.....	127

SİMGELER LİSTESİ

A	: Kesit Alanı
AK	: Aşınma Kaybı
A _{sa}	: Su Emme Deneyine Tabii Tutulmuş Numunelerin Arşimed Terazisindeki Ağırlığı
A _{dky}	: Arşimed Terazisinde Ağırlığı Bulunan Numunelerin Doygun Yüzey Kuru Haldeki Ağırlığı
ACI	: American Concrete Intitute
ASTM	: American Society For Testing and Materials
A.Ş.	: Anonim Şirket
a _k	: Kuru Kütle
a _s	: Su Emdirilmiş Kütle
B	: Numune Kalınlığı
b	: Lata Genişliği
BD	: Basınç Dayanımı
C ₂ S	: Bikalsiyum Silikat (2Cal SiO ₂)
C ₃ S	: Trikalsiyum Silikat (3Cal SiO ₃)
C ₃ A	: Trikalsiyum Alüminat (3CaO Al ₂ O ₃)
C ₄ AF	: Tetrakalsiyum Ferro Alüminat (4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃)
Ç _k	: Çekme Dayanımı
D	: Lif Çapı
D _{max}	: Agreganın Maksimum Boyutu
D _i	: Borunun İç Çapı
DYK	: Doygun Yüzey Kuru
E	: Elastisite Modülü
E.B.T.B.	: En Büyük Tane Büyüklüğü
E.K.T.B.	: En Küçük Tane Büyüklüğü
f _f	: Normalize Edilmiş Mukavemet
f _t	: Eğilme Mukavemeti
G _f	: Betonun Kırılma Enerjisi
H _o	: Aşınma Öncesi Numune Hacmi
H _s	: Aşınma Peryotları Sonunda Numune Hacmi
K	: Cam Lifsiz Kontrol Numunesi
Kg.	: Kilogram
K _{ic}	: Kırılma Tokluğu
l _{ch}	: Malzemenin Gerçek Boyu
L	: Lif Boyu
L ₁	: Boru Anma Boyu
L2	: %0,2 Cam Lifli Numune
L4	: %0,4 Cam Lifli Numune
L6	: %0,6 Cam Lifli Numune
N	: Newton
P	: Maksimum Çatlama Yüğü
PÇ	: Portland Çimentosu
P _k	: Beton Numunesinin Taşıyabileceğı Maksimum Kuvvet

S	: Su Emme
t	: Cidar Kalınlığı
T.İ.	: Tokluk İndeksi
t ₂	: Muf Derinliği
TS	: Türk Standartları
W	: Numunenin Derinliği
W ₁	: İlk Kuru Ağırlık
W ₂	: 100 Devir Sonundaki Kuru Ağırlık
W ₃	: 500 Devir Sonundaki Kuru Ağırlık
V	: Beton Hacmi
V ₁	: Boru İç Hacmi
V ₂	: Boru Muf Boşluk Hacmi
V ₃	: Boru Dış Gövde Hacmi
V ₄	: Muf Dış Hacmi
V _d	: Ve diğerleri
V _b	: Ve benzeri
σ_e	: Eğilme Dayanımı
σ_{ag}	: Çekme Gerilme

1. GİRİŞ

Son yıllardan beri Avrupa'da ve diğer gelişmiş ülkelerde değişik türdeki liflerin katkısı ile üretilen lifli betonlar büyük bir başarıyla ve giderek yaygınlaşan bir şekilde kullanılmaktadır. Sanayi atığı olarak elde edilen çeşitli liflerin yanında özel olarak bu amaç için üretilen lifler de kullanılmaktadır. Betonda en sık kullanılan lifler; çelik, polypropylen, cam, mika ve kevlar gibi liflerdir.

Çimento kullanılan bütün beton imalatlarda büyük ekonomik avantajlar yanında, çok basit kullanımı ve hava şartlarının getirdiği sorunları yok eden yapay beton lifleri aynı zamanda asbest yerine de kullanılabilir. Türkiye şartlarına göre yapay beton liflerin sağladığı ekonomik avantajlar göz ardı edilemez. Yapay beton liflerin sağladığı önemli nitelikler kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- 1- Beton harcının içinde çok kısa zamanda dağılır. Kuruma zamanında ince çatlaklar oluşmaz.
- 2- Su/çimento oranı aynı olan betonlarda yapay lif kullanıldığında basınç mukavemetinin artması mümkündür.
- 3- Demir örgü ve iskelet içine yapılan dökümde harç karışımının dökümüne bazen çare bulunamadığından yapay liflerin kullanılması sorunları ortadan kaldırır.
- 4- Liflerin iyi bir şekilde dağılması, satıhta istenmeyen durumların, çatlamların oluşmasını önlemiş olur.
- 5- Yapay liflerin kullanılması durumunda betonun yorulma mukavemetinde artma olabilir.

Lifli beton su, çimento, ince ve kaba agrega ve betonun içine gelişigüzel katılmış metal, naylon, cam, çelik, polypropylen, mika, kevlar ve benzeri gibi liflerden oluşan bir beton türüdür. Lifler narinlik oranları ile tanımlanabilirler ki bu oran lif boyunun (L) lif çapına (D) bölümüdür. Lif hacim yüzdesi ise lif hacminin beton dolu hacmi içinde tuttuğu yüzdeyi vermektedir. Tarifinden de anlaşılacağı üzere lifli beton normal betonun bir çeşit katkı maddesiyle takviye edilmiş bir türüdür. Betonun düşük çekme dayanımı, gevrek bir malzeme oluşu, rötre ve sünmeden dolayı oluşan güçlükler, öngerilmeli ve kütle

betonlarda, derz yapılmasına imkan olmayan yerlerde, betonun darbe ve yorulmaya maruz kaldığı yerlerde, devamlı ve yüksek ısı değişimi şartlarında betonun istenilen düzeyde vazife görmesini engellemektedir. Bu şartlar altında betonun ihtiyaca cevap verebilecek şekilde katkı maddesi ile takviyesi şarttır. Artan basınç ve çekme dayanımı elastisite modülü, dayanıklılığı ve yüksek darbe mukavemeti ile lifli beton bu ihtiyaçlara cevap verebilecek bir malzeme olarak uygulama sahası bulabilmiştir.

Yukarıda belirtilen özellikleri ile birçok ileri teknolojiye sahip ülkelerde yol kaplamaları, hava limanları, dalgakıranlar gibi büyük projelerden başka yapım şartlarının gerektirdiği zaman öngerilmeli beton imalinde, yüksek ısıya maruz kalan tabliye ve bacalarda daimi darbe etkisinde olan temel ve köprü ayaklarında, çeşitli tamir işlerinde ve benzeri yerlerde tercih sebebi olmuştur. Bu uygulamaya paralel olarak yürütülen bilimsel çalışmaları son 20 yıl içine sığdırmak mümkündür.

Kısaca bahsetmek gerekirse: Lifli betonun doğuşu, J. Romualdi ve J. Mandelin betonun çekme gerilmesini artırmak maksadı ile normal donatı yerine kırımlarda çok sık ve ince teller kullanmalarına rastlar. Araştırmacılar çekme dayanımının belirli bir tel aralığından sonra süratle arttığını gördükleri için ve pratik güçlükler yarattığından kırımlara sürekli tel yerine tel parçaları katıp deneylerden benzer sonuçlar elde etmeye çalışmışlardır.

Bu sonuç üzerine lifli betonun eğilme dayanımı ile diğer araştırmacılar da ilgilenmişlerdir. Bunlar S. Shah, V. Rangen ve K. Pal, N. Kar ve L. Abolitz'dir. J. Snyder ve D. Lankard ikilisi ise eğilme dayanımını etkileyebilecek faktörleri araştırmışlardır. V. Rangen ve N. Kar grupları ayrıca lifli betonun basınç dayanımı üzerinde de durmuşlardır. G. Batson ve arkadaşları lifli betonun kesme, C. Ball ve arkadaşları ise yorulma etkisindeki davranışlarını araştırmışlardır.

Lifli beton üzerine yapılan en geniş araştırma Building Research Establishment tarafından yürütülmüştür. Bu çalışma da ise beton numuneler üzerinde; eğilme, direkt çekme, basınç, su emme, sızdırmazlık, donma-çözülme, aşınma ve beton borularda ise

tepe basıncı, sızdırmazlık, alın yüzünün düzgünlüğünün muayenesi, biçim ve görünüş muayenesi, boru iç yüzünün düzgünlüğünün muayenesi deneyleri yapılmıştır. Gerek ülkemizde bu konu üzerine bir araştırmanın yapılmamış olması ve gerekse diğer ülkelerdeki araştırmaların büyük bir kısmının lifli betonun bir veya birkaç özelliğini ve çalışma şeklini konu almış olmaları ve her araştırmacının değişik tipte malzeme ve numune ile çalışmış bulunması lifli beton davranışları arasında olabilecek ilişkileri yeterince gün ışığına çıkaramamıştır.

Bu çalışmada temel amaç cam lifli betonun taze ve sert durumlardaki davranışlarının ortaya konması ve bu tip lifli betonların beton boru yapımında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Beton boruların cam lifi katılarak üretilmesi ve özellikle liflerin kırılma mekanizmasına etkisi incelenmiştir. Araştırmaya esas çalışmalar ana hatları ile aşağıda özetlenmektedir:

- a- Mevcut bilgiler ışığında, ülkemizde bulunan malzemeleri kullanarak yeterli vasıfları olan lifli beton elde edebilmek ve imalat sırasında doğabilecek güçlükleri tespit etmektir.
- b- Çeşitli lifli beton karışımları yardımı ile taze beton özelliklerini incelemek ve bunları normal beton özellikleri ile karşılaştırmak.
- c- Lifli betonu basınç, çekme ve eğilme deneylerine tabi tutarak malzemenin statik yüklemeler altındaki davranışlarını incelemek ve normal beton deney sonuçları ile olan ilişkileri araştırmak.
- d- Cam lifli beton ve normal beton yük deformasyon diyagramlarını değişik deneyler sonucu elde ederek cam lifli betonun dayanıklılığı hakkında bilgi edinmek.
- e- Cam lifli betonu donma-çözülme ve darbe tesirleri altında incelemek.

Kısaca özetlemek gerekirse; kırılma performansı ve diğer özellikler genel anlamda bilinen cam lifli betonların ülkemizde kullanılabilirliği ortaya konduktan sonra, toksit etkileri olan asbestli beton borulara alternatif oluşturmaktır. Ayrıca lif kullanımı ile imalat sonrası taze halde taşınabilirliğini arttırarak üretim kapasitesini arttırmak ve, cidar kalınlığını azaltarak malzemedan tasarruf sağlamak temel amaçtır. Bu amaçlarla

su/imento oranı, narinlik oranı ve lif hacim yüzdesi parametre olarak seçilmiş olup, diğerk değişkenler deneyler sırasında sabit tutulmuştur.

Elde edilen deney sonuçları ve evvelce yapılmış araştırmaların ışığında donma-çözülme ve darbe deneyleri için pratik zorluklar nedeniyle gereken numune ve karışım azaltması yapılmıştır. Deneyler sırasında ASTM ve TSE tarafından önerilen metotlara bağlı kalınmaya çalışılmıştır. Yukarıda belirtilen amaçlara ulaşabilmek için, deneysel çalışma ve literatür tarama işlemleri yapılmıştır. Araştırma, deneylerden elde edilen veriler üzerine yürütülmüş, bunun yanısıra tarama yöntemi ile elde edilen bilgiler bu konu ile ilgili çalışma yapan kişilerin araştırmaları ile karşılaştırılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Cam Lifin Tanımı, Önemi ve Geleceği

1940'lı yıllardan bu yana, değişik cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesinde kullanılmaktadır. Bu şekilde, plastiklerin çekme ve eğilme dayanımları, rijitlik ve darbe dayanımları gibi fiziksel özelliklerini arttırabilmektedir. Piyasadaki cam elyafı takviye malzemeleri, çeşitleri ile, günümüzde takviyeli plastik kalıplayıcılarına geniş bir seçenek yelpazesi sağlamaktadır.

Tarihte cam elyafının ilk kez Fenikeli ve Mısırlı sanatçılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. O zamanlarda, lifler, cam çubukların ısıtılması sonucunda, yumuşatılarak akıtılması şeklinde elde ediliyordu. Kullanım yeri ise yine takviye amacına yönelik olup, çanak, çömlek, amfor gibi ürünlerin sağlamlaştırılmasını sağlıyordu.

Bu gün bildiğimiz devamlı cam elyafının geliştirilmesi 1930'lu yılların sonlarına doğru yapılabildi. Günümüzde cam elyafı üretimi gerekli hammaddelerin (Kum, Kaolen, Kireç Taşı, Kolemanit) birlikte karıştırılarak bir fırına beslenmesi ile başlar. Bu fırınlar, gaz veya elektrik enerjisi ile yaklaşık 1600⁰C'ye kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta fırın içinde eriyen hammaddeler camlaşarak cam eriyiğini meydana getirir. Bu aşamada, cam eriyiği, akıtılmak üzere kanallara yönlendirilir. Bu kanalların ucunda bulunan ve elektrik enerjisi ile ısıtılan kovanlar, cam liflerini akıtmak için kullanılır. Her kovandan 10-24 mikron çapında binlerce lif üretilir. Kovan deliklerinden serbest akış ile akan cam eriyiği, mekanik olarak, yüksek hızda dönen bir mandrel üzerine sarılarak, sabit çaplı cam elyafı olarak üretilir.

Lifler ayrıca, demetler halinde bir arada tutulabilmesi ve proses sırasında oluşabilecek aşınmalardan korunabilmesi için bağlayıcı adı verilen bir kimyasal madde ile kaplanır. Bu bağlayıcı, cam elyafının daha sonraki proses işlemleri için gerekli olan temel

özellikleri de sağlar. Bu şekilde üretilen ıslak cam lifleri, prosese sokulmadan önce 120-130°C sıcaklıkta, 10-15 saat süre ile hava fırınında kurutulur.

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 modifiye edilmiş 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. Kompozitin 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 elektronik endüstrisinde sıkça kullanılan, “D” camı elyafı ve özellikle yüzey tüylerinde kullanılan kimyasal dayanımlı “C” camı elyafı da bulunmaktadır. Başlıca cam elyafı cinslerinin kompozisyonları Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1. Başlıca Cam Elyafı Cinslerinin Kompozisyonları

Kompozisyonun Adı	A Tipi Cam Lifi (%)	C Tipi Cam Lifi (%)	E Tipi Cam Lifi (%)	R Tipi Cam Lifi (%)	S Tipi Cam Lifi (%)
SiO ₂	72.0	64.6	52.4	60.0	64.4
Al ₂ O ₃ , FeO ₃	1.5	4.1	14.4	25.0	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	9.0	-
MgO	2.5	3.3	4.6	6.0	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	-	-	-

Polimer matriksin mekanik dayanımı, cam elyafının mekanik dayanımına oranla daha düşüktür. Takviye olayı, uygulanan yük altında, zayıf olan polimer matriksin, gerilmeleri çok daha güçlü cam lifleri üzerine aktarması sonucu oluşur.

İyi bir kompozitte, gerilim altında bulunduğu sürece, lif uzaması, matriksin uzamasından daha az; lif rijitliği, matriks rijitliğinden daha yüksek olmalıdır.

Elyaf-matriks arasında gerilim aktarımı, değişik etmenlere bağlıdır.

1. Cam lifleri üzerine kaplanan bağlayıcının matriks ile uyumu,
2. Cam elyafı takviye miktarı,
3. Cam elyafı takviye malzemesinin yönlenmesi,
4. Cam elyafı takviye malzemesinin elyaf çapı.

Cam elyafı üzerine kaplanan bağlayıcının fonksiyonlarından biri de elyaf-matriks arasında kimyasal bir bağ oluşturmaktır. Matriks ile uyumlu olan bağlayıcı elyaf ile matriks arasında daha kuvvetli bir kimyasal bağ oluşturacağından, matriks üzerine uygulanan gerilimin lifler üzerine daha kolay ve verimli aktarılması mümkün olur. Diğer taraftan, genel olarak, mukavemet matriks içindeki cam elyafı takviyesi miktarı ile doğru orantılı olarak yükselir. Yani, matriksin aktaracağı gerilim daha fazla cam elyafı takviyesi tarafından karşılanır.

Cam elyafı takviyesinin belirlenmiş bir yönde yerleştirilmiş olması halinde, belirlenmiş bu yönde gerilim aktarımının devamlılığı sağlanmaktadır. Dolayısıyla en iyi yük taşıyıcılık için liflerin yoğun olarak yönlendiği doğrultunun, etkili yük ile aynı doğrultuda olması gerekir. Gerilim aktarımının yükseltilmesinde elyaf çapının da rolü vardır. Elyaf çapının küçük olması, birim ağırlık başına aktarılan elyafın temas yüzeyini arttırmakta, dolayısıyla gerilim aktarımı daha yüksek olabilmektedir.

Cam elyafı takviye malzemeleri, devamlı ve kesikli olarak iki tipte üretilmektedir. Devamlı cam elyafı tipleri: Fitol, dokunmuş fitil, iplik, kumaş, çok katlı dokunmamış fitil

ve devamlı demetli keçedir. Kesikli cam elyafı tipleri: Kırpılmış demetler, kırpılmış demetten keçeler ve öğütölmüş liflerdir.

2.1.1. Cam elyafı çeşitleri

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 üretilebildiğı gibi, daha az sayıda delik içeren kovanlardan üretilen cam elyafı demetlerin birbirine paralel olarak bükölmeden sarılması ile, “Bileşik Fitol” olarak ta üretilebilir.

Fitol ürünleri, 10-24 mikron çapında liflerden oluşur ve genellikle 1000 metre uzunluğu 600, 1200, 2400 ve 4800 gram ağırlığında olacak şekilde üretilir. Kullanım yeri ve prosesine bağı olarak, sertlik, lifler arasında eş gerilim, kayganlık ve kolay kırılabilme gibi farklı özellikler fitillere kazandırılabilir. Özel olarak üretilen ve “Spun Roving” adı verilen düğümlü fitilde ana doğrultuya dik yönde takviye sağlayan ilmekler bulunmaktadır. Bunun amacı; tek yönlü takviye edilmiş pultrüzyon ürünleri gibi kompozitlerde yanal mukavemeti arttırmaktır.

Fitol çeşitleri ve kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

•Sarma Fitilleri (Direk Sarma)	Elyaf sarma ve pultrüzyon metodu
•Sarma fitilleri (Bileşik Fitol)	Elyaf sarma ve pultrüzyon metodu
•Dokuma fitilleri (Direk Sarma)	Dokunmuş fitil üretimi
•Dokuma Fitilleri(Bileşik Fitol)	Dokunmuş fitil üretimi
•Kırma fitilleri	Püskürtme metodu
	Hazır kalıplama pestili üretimi
	Devamlı levha üretimi
•Düğümlü Fitiller	Pultrüzyon metodu.

Genellikle “R” camı elyafından yapılmış fitillere en yaygın olarak epoksi reçine emdirilerek yapılan “Stratpreg veya Prepreg” ismi verilen bir diğer cam elyafi takviye malzemesi de elyaf sarma metodu ile yüksek mekanik dayanım aranan depo ve borularda otoklavda kalıplanmak üzere kullanılmaktadır.

b) Dokunmuş fitil: Dokuma amacı ile üretilmiş fitillerin belirli bir düzen içinde dokunması ile yapılan cam elyafi 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 elyafi iplik: Cam elyafi demetlerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen takviye çeşididir. Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır.

d) Kumaş: Cam elyafi 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 elyafi 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, pultruzyon, devamlı levha ve baskılı devre plakası üretimleridir. Ayrıca köpük takviyesinde de kullanılır.

g) Kırpılmış demetler: Cam elyafi demetlerinin 3-12 mm uzunluğunda kırpılmış şeklindedir. 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 bağlı 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. Kompozit'in, rijitlik, boyut stabilitesi 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.

2.1.2. Kalıplama metotları ve kullanılan cam elyafı çeşitleri

Piyasada bulunan çok sayıda cam elyafı takviye çeşidi, kalıplayıcılar için geniş bir seçenek sağlamaktadır. Açık kalıplama ile yatırma yönteminde, keçeler dokumalar ve "non woven" lar sıvı reçine ile ıslatılarak, el ile rulolamamın, vakum veya basınçlı torba ile kalıplamanın yeterli olduğu düşük basınç altında birlikte sertleştirilir. Püskürtme metodunda, devamlı fitil, kırılarak, reçine ile birlikte kalıp yüzeyine püskürtülür. Rulolama, bu metot ta normal olarak yapılır, ancak yeni çıkan reçineler bu işlemi ortadan kaldırmaktadır.

Düşük basınçta kapalı kalıplamada, özellikle reçine enjeksiyonu; RRIM ve SRIM metotlarında cam elyafı takviyesi (keçe, preform ve bunların kombinasyonu), kalıp kapatılmadan önce belirlenmiş şekilde yerleştirilir veya cam elyafı RRIM metodunda, kalıp reçine ile doldurulmadan önce reçineye karıştırılır. Preformlar genellikle, kırılmış fitil ve bağlayıcının bir master üzerine birlikte püskürtülmesi ile yada keçenin veya cam elyafı takviyesinin termoform ile şekillendirilmesiyle hazırlanır. Maçalı kalıplarda basınç ile, enjeksiyon ile veya otoklavda yapılan kapalı yüksek basınç kalıplamalarında genellikle önceden kombine edilmiş takviye ve reçine kullanılarak maliyet avantajı sağlanır.

Cam elyafı, kırılmış demetler halinde termoset reçinelerle bir mikser ile karıştırıldığında BMC hazır kalıplama hamuru olarak; termoplastik reçinelerle ekstrüzyon bileşim makinalarında granüle bileşim olarak hazırlanır. Uzun lifli termoplastik bileşimler ise, devamlı cam elyafının reçine emdirilerek ekstrüzyon makinasından çekilmesiyle hazırlanır. Hazır kalıplama pestili (SMC) ve Keçe Takviyeli Termoplastik (GMT), tesadüfi yönlenmiş kırılmış demetlerin, devamlı olarak reçine ile ıslatılması ile hazırlanır.

Bazı hallerde, mukavemet değerlerinin yükseltilmesi amacı ile, makine doğrultusu boyunca devamlı fitil de ilave edilmektedir. Düz ve oluklu levhalar, boru ve tanklar ile devamlı çubuk ve profiller sırası ile; devamlı levha kalıplama, pres kalıplama, elyaf sarma ve pultrüzyon metotları ile yapılabilir.

2.2. Beton Boru Yapım Kuralları

Beton boru; sulama, drenaj, atık su, yağmur suyu veya içme suyu taşımak amacıyla kullanılan betondan yapılmış hazır bir boru elemanıdır. Beton borular, genellikle hizmet sürelerini toprak altında gömülü olarak geçirdiklerinden bu borularda meydana gelebilecek arızaların tespiti gecikebilmekte veya bu boruların çıkartılıp değiştirilmesi önemli harcamaya veya hizmetlerin aksamasına yol açabilmektedir.

Genel olarak toprak altındaki şartlara ve taşıdığı akışkanların yapıştırıcı etkilerine karşı daha dayanıklı olması için beton boruların iyi üretilmesi ve dayanımının artırılması gerekmektedir. Beton boruların beklenen uzun ömürlerine ve dayanıklılıklarına ulaşabilmeleri için;

- . Beton boruların yapımında kullanılan malzemenin iyi seçilmiş olması,
- . Beton niteliklerine ve üretim sistemine uygun nitelikte beton yapımının sağlanmış olması,
- . Beton kürünün borularda gerekli nitelikleri sağlayacak düzeyde olması,
- . Taşıma ve stoklamanın boru niteliklerini bozmayacak düzeyde olması,
- . Malzeme ve üretim kalitesini denetleyecek kalite kontrol düzeninin kurulmuş olması gibi şartların sağlanması gerekmektedir (TS 3830, 1983).

2.2.1. Malzeme seçimi

Beton boruların yapımında kullanılacak agreganın temiz, sağlam, dayanıklı ve üretim kapasitesine uygun olması gerekir. İnce ve iri agreganın üzerinde TS 3673'e göre organik madde ve silt miktarının uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Boru yapımında kullanılacak ince agreganın TS 3530'a göre belirlenen tane büyüklüğüne uygun olmalıdır. Tablo 2.2'de beton boruların yapımında kullanılacak ince agreganın tane büyüklüğünün dağılımı verilmiştir.

Tablo 2.2. Beton Boruların Yapımında Kullanılacak İnce Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan (Ağırlıkça %)	
	En az	En çok
10	-	-
5	0	5
2.5	0	20
1.25	14	48
0.63	37	70
0.315	66	86
0.160	84	92
İncelik modülü 2.5 - 3.0		

İnce agreganın tane büyüklüğü dağılımının iyi seçilmiş olması boru dayanımı dayanıklılığı ve su geçirimsizliğinin sağlanması için en önemli ön şartlardan biridir. Beton boruların yapımında kullanılacak iri agreganın TS 3530 uyarınca yapılacak elek analizi sonuçları Tablo 2.3’de verilen değerlere uygun olması gerekir.

Beton boruların yapımında genellikle TS 19’da özellikleri belirtilen PÇ 325 veya KPÇ 325 kullanılır. Bunların dışında üretim sistemine uygun olduğu ve borulardan beklenen nitelikleri sağladığı deneylerde kanıtlanmış diğer çimentolarda kullanılabilir. Sülfata dayanıklı çimento kullanıldığı taktirde su/çimento oranı %0.5 arttırılabilir. Beton boruların yapımında kullanılacak suyun içilebilir nitelikte ve TS 500’de beton yapımında kullanılmasına izin verilen sular, beton boruların yapımında da karışım suyu olarak kullanılabilir. Kullanılan suyun sülfat içeriği %1’den, klorür içeriği de %2’den fazla olmamalıdır.

2.2.2. Yapım metotları

Beton boruların yapımında uygulanan metotlar aşağıda açıklanan maddelerden birine uygun olmalıdır. Yeterliliği deneylerle kanıtlanmış olmak şartıyla diğer yapım metotları da kullanılabilir. Beton boruların yapımında kullanılan betonun karışım hesabı TS 802’de belirtilenlere uygun olarak yapılmalıdır.

Tablo 2.3. Beton Boruların Yapımında Kullanılacak İri Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan (Ağırlıkça %)					
	E.B.T.B. 25 mm		E.B.T.B. 20 mm		E.B.T.B. 12.5 mm	
	En az	En çok	En az	En çok	En az	En çok
40	0	0	-	-	-	-
25	0	5	0	0	-	-
20	-	-	0	9.5	0	0
12.5	40	76	41	61	0	30
10	-	-	43	76	28	65
5	86	100	86	100	81	90
E.B.T.B : En büyük tane büyüklüğü						

İri agreganın en büyük tane büyüklüğü boru cidar kalınlığının %25’inden daha büyük olmamalıdır.

2.2.2.1. Kalıba dökme ve titreşimle sıkıştırma metoduyla boru yapımı

Bu metot genellikle 500 mm ve daha büyük iç çaplı beton boruların yapımında uygulanır. Kullanılan kalıplar, iç ve dış cidarları olup açılıp kapanabilen çelik kalıplardır. Yağlanmış çelik kalıplara dökülecek betonun çökmesi 8 cm'yi geçmemeli ve hava sürükleyici katkı ile sağlanan hava miktarı toplam hacmin %2.5'inden fazla olmamalıdır.

Beton sürekli olarak ve düşey konumdaki kalıbın içinde eşit düzeyde yayılacak şekilde dökülmelidir. Beton dökümü süresince titreşim sürdürülmeli ve betondan hava kabarcıkları çıkması sona erinceye kadar titreşimle sıkıştırmaya devam edilmelidir. Fazla titreşim uygulanması betonun ayrışmasına ve bu nedenle beton kalitesinin düşmesine yol açabilir.

Kalıpların titreştirilmesinde, 2.5 m'den daha kısa kalıpların ortalarında daha uzunların ise yüksekliklerinin 1/4 ve 3/4 noktalarında, iç veya dış kalıba tutturulmuş vibratörler kullanılır. İki vibratör kullanılan kalıplarda beton seviyesi alttaki vibratörün düzeyini geçtikten sonra, alt vibratörün durdurulması ayrışmayı önleme açısından yararlı olur.

Kalıp dolduktan sonra üstten basınç uygulanarak ek bir sıkıştırmada yapılabilir. Kalıp alındıktan sonra, özellikle boruların üstlerinde rötire çatlakları görüldüğü takdirde, bunları ortadan kaldırmak için beton döküldükten 0-30 dakika sonra kalıba yeniden titreşim uygulanması gerekli olabilir.

Bu ikinci titreşim, betonun titreşimle yeniden plastikleşmesi mümkün olmayacak düzeyde sertleşmesinden hemen önce uygulanmalıdır. Kalıplarda harç sızması olan yerlerde agrega hareketinden doğan çizgiler meydana geleceğinden kalıpların sızdırmaz olarak yapımı önem taşımaktadır. Bu amaçla ek yerlerinde ve tabana oturduğu bölgelerde contalar kullanılarak veya bez şeritler sarılarak sızdırmazlık sağlanmalıdır.

2.2.2.2. Döner başlıklı kalıplarla üretim

Bu metotlarla her çapta beton boru üretilir. Bu sistemdeki boru yapım makinalarının düşey konumda duran açılır kapanır (menteşeli) bir dış kalıbı bulunmaktadır. İç kalıp yerine, kalıp boyunca aşağıdan yukarıya hareket eden ve kendi çevresinde yüksek hızla dönebilen bir döner başlık bulunmaktadır. Beton dökümünün başlangıcında kalıbın en altına indirilen döner başlık yüksek hızda döndürülürken kuru kıvamdaki harç sürekli olarak boru çapı ve et kalınlığına bağlı belirli bir hızla kalıba dökülmeye başlanır. Döner başlığa düşen harç büyük bir hızla çepere doğru savrulur ve çarpmanın gücüyle sıkışarak çeperde kalır. Çeper doldukça döner başlık yukarı doğru hareket eder ve bu hareketi sırasında harcı boru yüksekliğinde eşit olarak yaydığı gibi, aynı zamanda borunun iç yüzeyini sıvayarak düzgün çıkmasının sağlar.

Bu sistemle üretimde kullanılan beton oldukça kuru kıvamda (yeterli dönme hızlarında sıfır çökmeli beton kullanılabilir) ve döner başlığın sağladığı sıkışma yüksek olduğundan, dökme işlemi biter bitmez kalıp alınabilir ve taze beton boru kalıpsız olarak sertleşme ve kür işlemlerinden geçer. Bazı durumlarda, borunun muflu ağzının istenen dolulukta çıkmasını sağlamak için beton dökümünün başında kısa süreli bir titreşim uygulaması yapılmaktadır.

2.2.2.3. Titreşimli tokmaklamayla boru yapımı

Titreşimli tokmaklamada kullanılan boru dış kalıpları, döner başlıklı sistemdekine benzer niteliktedir. Yüksekliği boyunca açılarak bitmiş borunun zarar görmeden çıkarılmasını sağlayan düşey dış kalıplar, bu sistemde döner bir tabla tarafından döndürülürken iç kalıplar sabit kalır. Dış kalıp dönerken, beton iki kalıp arasındaki alana dökülür ve dönme hareketi betonun eşit yayılmasına ve düzgün yüzeyli olmasını sağlar. Betonun yerleştirilmesi, çelikten veya sert ağaçtan yapılmış, metal tokmakları bulunan sıkılayıcılarla sağlanır. Bu sıkılayıcılar dakikada 500-600 vuruş yaparak sıkışmayı sağlar.

Beton dökümü ilerledikçe kalıbın dökülmesine paralel olarak sıkılayıcı düzenek yukarıya doğru çekilir ve kalıptan çıkarılır. Borunun tamamlanmasıyla, iç kalıp alınır ve taze boru dış kalıbıyla birlikte kür odasına taşınır. Yeterli kür sağlandıktan sonra dış kalıp tutucuları açılır ve kalıp, ağırlığıyla borudan sıyrılarak boruyu serbest bırakır.

Bu sistemde dış kalıp için uygun dönme hızlarının sağlanması önemlidir. Kalıbın dönme hızı ile taze betonun kalıba akış hızı arasında uygun bir bağlantı sağlanmadıkça borularda istenen kalite elde edilemez. Uygulanacak dönme hızları betonun “yanmasına” neden olmayacak en yüksek hızlar olmalıdır. Bu kapsamda 1 ila 1.5 m uzunluktaki borular için, küçük çaplarda dakikada 40 devire, büyük çaplarda dakikada 10 devire kadar dönme hızları uygun sonuçlar vermektedir.

Bu sistemde, donatı kullanıldığı taktirde, donatı kafesinin düşük toleranslarla silindirik yapılmasına ve boru et kalınlığı içinde iyi merkezlenmesine dikkat edilmelidir. Aksi taktirde sıkılma düzeneğinin donatıya çarpmasıyla işçiler ve makineler açısından ciddi sonuçları olabilecek kazalar meydana gelebilir.

2.2.2.4. Savurma dökümle boru yapımı

Bundan önceki maddelerde belirtilen metotlardakinden farklı olarak, bu metotta boru kalıbı yatay tutulmakta, betonlama sırasında ve betonlamanın bitiminden sonra belirli hızlarda, döndürülmektedir. Bu sistemde, beton kalıbın içine verilirken kalıp kendi ekseninde, yerçekimi ivmesinin yaklaşık 5 katı düzeyinde bir merkezkaç ivme sağlayacak hızda çevrilir ve böylece çevreye savrulan betonun kalıba yapışık kalması sağlanır. Kullanılan betonun TS 2871'e göre bulunan çökmesi 4 cm'den fazla olmamalı ve işlenebilirliğini arttırmak için hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmamalıdır.

Kalıp doldurulurken, bazı sistemlerde kalıbı sarsan (titreştirici) bir düzenek bulunur. Bazı sistemlerde de kalıp içindeki bir merdane beton yüzeyinin düzlenmesini sağlar. Kalıba istenen miktarda beton verildikten sonra beton akışı kesilir ve kalıbın dönme hızı yavaş yavaş artırılarak çeperde sıkışmayı sağlayacak üst dönüş hızına ulaşılır ve bu hızda bir süre beklenir. Üst hızda, merkezkaç kuvvetle boşlukların doldurulması

sağlandıkça, boşluklardaki su çıkarak borunun iç yüzünde toplanır. Toplanan su masterla veya fırçalarla boru iç yüzeyinden uzaklaştırılır.

Üst dönüş hızı bu hızda bekleme süresi ve bu hıza çıkarken uygulanan ivmenin miktarı çok önemlidir. Yüksek ivmelerde ince malzeme suyun geçeceği kanalları tıkayacağından boru kalitesinde bozukluklar olabilir, düşük ivmelerde de enerji kullanımı fazla olacağından ekonomiklik kaybolur.

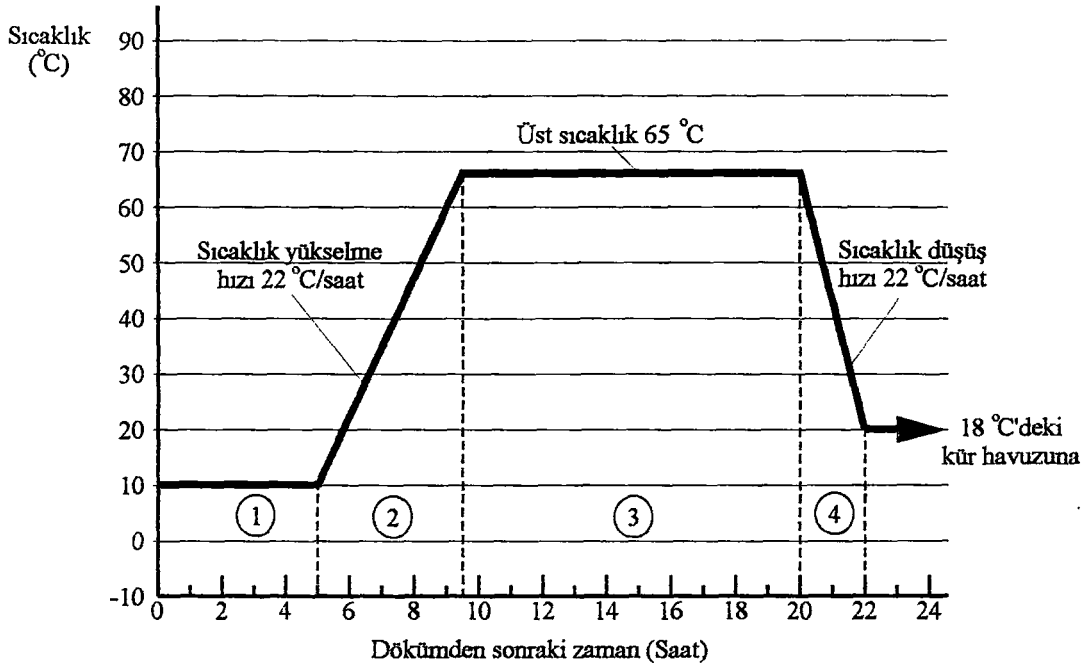
Üst dönüş hızları yeterli süre uygulanmadığında yeterli sıkışma ve su çıkışı sağlanamaz, fazla uygulandığında aşırı ayrışma oluşabilir. Uygulanacak ivme, üst dönüş hızı ve beton nitelikleri, boru çapı ve et kalınlığına bağlı olarak ve işletmenin koşulları göz önünde tutularak belirlenmelidir.

2.3. Bakım Metotları

Beton boruların üretiminde uygulanacak bakım (kür) metodları aşağıda belirtilenlere uygun olmalıdır. Hangi kür metodu uygulanırsa uygulansın, boru betonundaki çimentonun yeterince hidrasyonunun sağlanmış olması gerekir.

- . Atmosfer basıncında buhar kürü uygulanması,
- . Su püskürtme ile kür uygulanması,
- . Neme doymun ortamda kür yaptırılması (ıslak çuvallarla sarılarak),
- . Havuzda kür yaptırılması,
- . Nem kaybını önleyici membran uygulanarak kür uygulaması,
- . Havada kür uygulanması.

Bu metotlardan biri veya bir kaç aynı anda uygulanabilir. Beton borulara uygulanan tipik bir buhar kürü sürecinin aşamaları Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Beton Borulara Uygulanan Tipik Bir Buhar K r  Süreci

2.4. Beton Boruların Dizaynında Kırılma Mekanik i

Kırılma mekanikçi, beton boruların dayanım analizinde ve dizaynında oldukça kullanışlıdır. Atık sular için boru sistemleri genellikle betondan yapılır. Gelişmiş ülkelerde alt yapı in aatlarının önemli bir kısmının temelini teşkil etmektedir.  rnek olarak, 8 milyon insanın yaşadığı İ ve ' de 84.860 km' lik atık su boruları mevcut olup ve aynı zamanda her yıl yaklaşık olarak 1000 km²'lik tesis daha ilave edilmektedir. Mevcut boruların yaklaşık %80'i betondan yapılmaktadır.

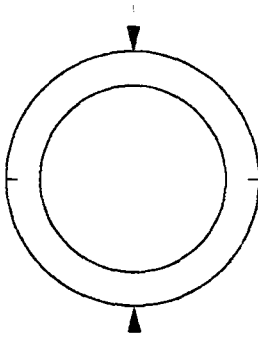
Beton borularda yatırımların büyük olması daha iyi tasarım metotlarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durumda betonun kırılma dayanımında çekmenin olmadığını ve bu yüzden giderek hasara bağlı olarak kırılma esnasındaki zorlanan bölgenin de dikkate alınması gerekir. Sayısal sonuçlar, basitle tirilmi  denklemler ve standartların yer aldığı tabloları içeren kırılma mekanikçi yardımı ile elde edilmiştir.

Kırılma mekaniği analizi, standart geleneksel gevrek lineer elastik kırılma teorisinin belirttiğinin aksine uygulamada etkili sonuçlar veren faydalı bir yoldur. Kırılma mekaniğinden elde edilen sonuçların doğruluğu ile ilgili geçerliliğini amaçlayan ve daha sağlıklı deneylerin yapılmasını sağlayan yeni ve değişik beton boru test metotları geliştirilmiştir.

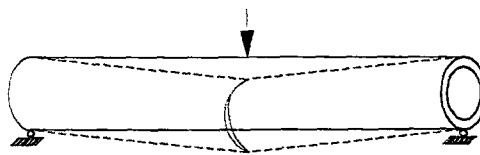
Genelde çok iyi bilinen hayali kırılma modeli Hillerborg ve co-workers tarafından geliştirilmiştir. Birleşimdeki hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, diğer analiz metotları ve deney sonuçları ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Bu çalışma temelde güçlendirilmiş çimento ile veya bunun dışındaki borularla sınırlandırılmıştır, fakat bazı durumlarda yükleme esnasında kopma veya çatlak büyümeleri olabilir, bu durum betonarme borular için de geçerlidir.

2.4.1. Dairesel borularda eğilme modunun boyut, şekil ve kırılma dayanımının etkisi

Genel olarak iki çeşit eğilme kırılma modu vardır. Bunlardan birincisi dairesel eğilme kırılmasıdır, (Şekil 2.2.a) burada boru uzunluğu boyunca mesnetlenmiş ve yüklenmiştir. Diğer eğilme kırılma modu ise Şekil 2.2.b’de görüldüğü gibi, kiriş eğilme kırılmasıdır. Bu durumda beton boru bir kiriş gibi mesnetlenmiş ve yüklenmiştir.



(a) Dairesel eğilme kırılması



(b) Kiriş eğilme kırılması

Şekil 2.2. Beton Borularda Eğilme Çeşitleri

Şekil 2.3’de eğilmenin iki modu için f_f eğilme mukavemeti değerleri gösterilmektedir. f_f eğilme mukavemeti değeri klasik lineer elastik teoriye göre hesaplanan maksimum yüklemdeki maksimum gerilmedir. f_f mukavemetine göre, normalize edilen f_t mukavemeti betonun çekme mukavemetine ve d_i/l_{ch} oranına ve borunun normalize edilen boyutuna karşı gösterilmiştir. Burada l_{ch} malzemenin gerçek boyudur ve $l_{ch} = \frac{E \cdot G_f}{f_t^2}$ bağıntısıyla hesaplanır (Gustafsson, 1985). Bu formülde sırasıyla;

l_{ch} = Malzemenin gerçek boyunu,

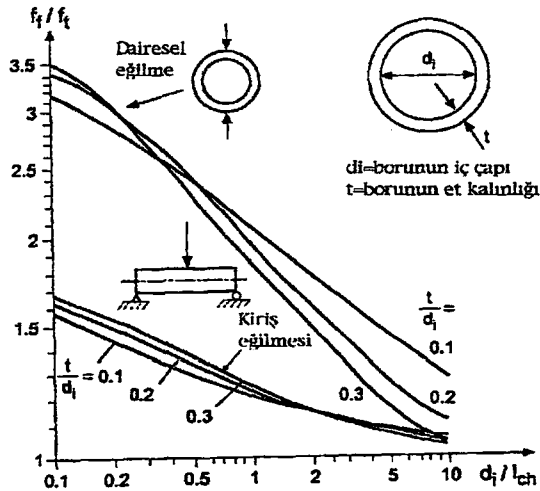
E = Betonun Elastisite Modülünü,

G_f = Betonun kırılma enerjisini,

f_t = Normalize edilmiş mukavemetini,

f_f = Eğilme mukavemetini göstermektedir.

Şekil 2.3’de verilen hesaplama sonuçlarına göre açıkça görülmektedir ki normal eğilme mukavemetindeki dairesel eğilme değeri kiriş eğilme mukavemetinden daha yüksektir. Genellikle boruların deneyleri dairesel eğilmeler için yapıldığından mukavemetlerdeki bu farklılıklar dizaynda da çok önemli olmaktadır.



Şekil 2.3. Bir Borunun Normal Eğilme Dayanımındaki Değişimi

Ayrıca Şekil 2.3 özellikle dairesel eğilme durumunda bir boyut etkisini göstermektedir. Betonun kırılma enerjisinin etkisi G_f , boyutun tersine (d_i^{-1})'e eşittir. $G_f=0$ ifadesi $f_t/f_c=1$ 'i vermektedir. Betonun çekmede kırılma tokluğu tipik olarak $0.2 \leq d_i/l_{ch} \leq 52$ dir. Bu durumda boruların yük taşıma kapasitesinde büyük öneme sahiptir. Bir borunun geometrik şeklinin etkisi, t/d_i oranı ile gösterilmektedir.

Şekil 2.3'e göre ilişkiler, literatürde bulunan değişik test sonuçları ile iyi bir uyum sağlamaktadır (Gustafsson, 1985). Küçük bir ek deneysel çalışma Tablo 2.4'de görüldüğü gibi benzer iyi bir sonuç vermiştir. Değişik eğilme gerilmesi deney sonuçlarından teorik olarak tahmin edildiği gibi gerçek betonun çekme gerilmesi hemen hemen sabittir. Kaydedilen f_t değerlerinden f_t' nin değerlendirilmesi $l_{ch}=380$ mm kabul edilerek elde edilmiştir. Bu kabul betonun kırılma mekaniği deneyleri esas alınarak yapılmıştır (Petersson, 1981). Çatlak açıklığına karşı hayali çatlak modelleri tarafından hesaplarda kullanılan $\sigma-w$ nin eğrisi, yani çatlak açıklığına karşı kohezyon mukavemeti Petersson'un önerisine göre bi-lineer olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2.4'de verilen sonuçlar bir borunun mukavemetini betonun silindir yarma deneylerinden ve buna karşılık betonun çekme mukavemetini boru deneyleri sonuçlarından tahmin edilebileceğini göstermektedir.

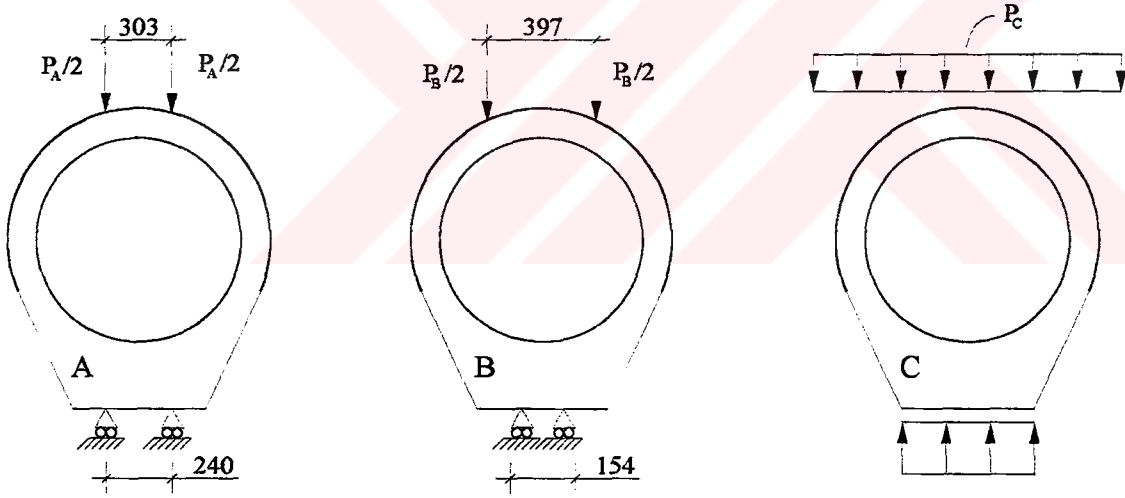
Tablo 2.4. Deneysel Olarak Elde Edilen Eğilme Mukavemeti ve Buna Karşılık Gelen Kırılma Mekaniği Kullanılarak Tahmin Edilen Betonun Çekme Mukavemeti

Boru Geometrisi		Eğilmenin Şekli	Eğilme Mukavemeti	Çekme Mukavemeti
Cidar Kalınlığı t (mm)	Boru İç Çapı d_i (mm)			
34	100	Kiriş	f_t (Mpa) 7.4	f_t (Mpa) 4.9
34	150	Kiriş	6.8	4.9
34	225	Kiriş	6.6	5.1
34	225	Daire	11.0	4.9
55	400	Daire	9.6	4.9

2.4.2. Düz tabanlı borularda yük dağılımı etkisi

Düz tabanlı donatısız beton borular (Ingwersen ve Thygesen, 1994) yıllarca Şekil 2.4'de gösterilen A düzeneğine göre test edilmiş, deneysel yükleme kapasitesi, yük dağılımı için yükleme kapasitesi, C, hesaplanmıştır.

A yüklemesinden C yüklemesine kadar dizaynda kullanılan dönüştürme faktörü lineer elastisite teorisine göre hesaplanmıştır. C yüklemesi A yüklemesinden çok farklı olduğundan dolayı, yakın zamana kadar elastik dönüştürme faktörlerinin güvenilir olup olmadıkları tartışıldığı için normal olarak iç çapı 800 mm olan aynı borular deney düzeneği A ve alternatif olarak deney düzeneği B'ye göre deneyler yapılmıştır. Elastisite teorisine göre $P_B/P_A=1.21$ olabilir. Ancak Tablo 2.5'de $P_B/P_A=1.01$ alınmıştır (Olesen ve Pedersen, 1991).



Şekil 2.4. Deney Düzeneği A, B ve 800 mm İç Çaplı (C) Bir Boru İçin Yük Dağılımı

Tablo 2.5. İç Çapı 800 mm Olan Borular İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Yükleme	Kırılma Yükleri (kN/m)					Ortalama Yük (kN/m)	Standart Sapma (kN/m)
A	174	180	175	179	173	176	3
B	171	187	179	181	178	178	7

Şekil 2.3’de deney sonuçlarını kırılma mekaniği ile açıklayabilmek için sonlu elamanlar metodu uygulanmıştır (Dahlblom ve Gustafsson, 1995). Dairesel boruların hayali kırılma modelinin ayrık çatlak uygulaması çalışılmış, düz tabanlı borularda ise aynı modelin çatlak uygulaması kullanılarak çalışılmıştır.

Tablo 2.6’da σ - ω eğrisi tek bir doğru kabul edilerek ve $f_t=2,85$ Mpa alınarak elde edilen sonuçlar verilmiştir. 2,85 Mpa çekme mukavemeti değeri, $lch=4,30$ mm olduğu zaman A yüklemesi için elde edilen deneysel sonuçlara uygun olduğundan dolayı seçilmiştir.

Elde edilen sonuçlar betonun kırılma sertliğinin P_B/P_A dönüşüm faktörüne etki ettiğini göstermektedir ve bu kısmen de olsa Tablo 2.6’da verilen deney sonuçlarından açıklanabilir. Tablo 2.7’de değişik lch değerleri için yük dönüşüm faktörü C/B için kırılma yükü değerleri verilmiştir.

Tablo 2.6. $f_t=2,85$ Mpa ve Değişik $lch (= E \cdot G_f / f_t^2)$ Değerleri İçin Hesaplanan Kırılma Yükleri (kN/m)

Yükleme	$lch = 0$ mm	260 mm	430 mm	∞ mm
A	80	147	176	389
B	96	168	190	404
B/A	1,21	1,14	1,08	1,04

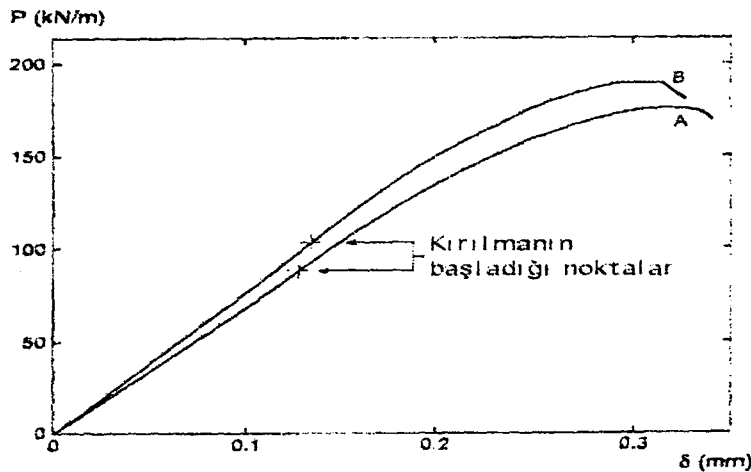
Tablo 2.7. $f_t=2,85$ Mpa ve Değişik lch Değerleri İçin Yük Dönüşüm Faktörü C/B İçin Hesaplanan Kırılma Yükleri

Yükleme	$lch = 0$ mm	260 mm	∞ mm
B	96	168	404
C	121	205	493
C/B	1,251	1,223	1,221

Boruların genel deformasyonları Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi beton maksimum yüke ulaşmadan çatlamaya başlar. $lch=\infty$ için Tablo 2.6 ve Tablo 2.7’de ki ideal plastisite teorisinde limit yük analizi uygulanarak elde edilmiştir. Sonuçlardan anlaşıldığı gibi betonun kırılma mekanığı özelliklerinin etkisi dönüşüm faktörünün elde edilmesinde dikkate alınmaktadır. Ancak alternatif olarak C yüklenmesinde dönüşüm faktörü lch değerinden etkilenmediği için değişik her deney düzeneği hazırlamak mümkündür. B yüklemesi düzeneği örneğinde olduğu gibi 800 mm iç çaplı ve aynı zamanda büyük borular için değişik hesaplamalar önerilmiştir. Bundan dolayı gelecekteki deneyler B düzeneğine göre yapılabilir.



Şekil 2.5. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Bir Parçanın A Yüklemesi Altında Meydana Gelen Deformasyon ve Çatlama Modeli.



Şekil 2.6. Yük-Deplasman Eğrisi

Tablo 2.4’de aynı betondan yapılmış değişik dairesel borular için elde edilmiş deneysel sonuçlar lineer olmayan kırılma mekaniği modeli ve hayali çatlak modeli ile karşılaştırılmıştır. Tablo 2.8’de aynı deney sonuçları diğer deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Geleneksel lineer elastik kırılma teorisi ve Weibull teorisi lineer elastik kırılma mekaniği dikkate alınabilecek uzunlukta daha önce oluşan keskin çatlaklardan dolayı borularda uygulanmaz.

Plastisite teorisi kullanıldığında gerilme oranı $f_c/f_t=12$ olarak kabul edilmesi ile betonun basınç ve çekmede lineer plastik olarak davrandığı kabul edilmiştir. Yalnızca çekme uygulandığında $f_c/f_t=12$ için hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir. Weibull teorisinin kullanılması, borunun hacminin kırılma ihtimaline göre integralinin alınmasını gerektirir. Buradaki değerlendirmede Weibull parametresi $m=14$, buna karşılık gelen boru içinde betonun mukavemetinin değişimi %10 olarak alınmıştır. Hayali çatlak modeli ile değerlendirmede $l_{ch}=380$ mm olarak kabul edilmiştir. l_{ch} ’nin bu değeri beton karışımında

Tablo 2.8. Deneysel Eğilme Mukavemetleri ve Buna Karşılık Gelen Değişik Teorilerden Tahmin Edilen Betonun Çekme Mukavemeti

Boru Geometrisi		Eğilmenin Şekli	Deneysel Eğilme Mukavemeti (Mpa)	Değişik Teorilere Göre Elde Edilen Çekme Mukavemetleri (Mpa)			
Cidar Kalınlığı t (mm)	Boru İç Çapı di (mm)			Elastisite	Plastisite	Weibull	FCM
34	100	Kiriş	7.4	7.4	2.8	6.3	4.9
34	150	Kiriş	6.8	6.8	2.8	5.9	4.9
34	225	Kiriş	6.6	6.6	2.9	6.0	5.1
34	225	Dairesel	11.0	11.0	2.8	10.0	4.9
55	400	Dairesel	9.6	9.6	2.5	9.3	4.9
		Ortalama	Değer	8.3	2.8	7.5	4.9
		Sapma	(%)	24	6	26	1

temel teşkil eder. Bu değişik değerlendirmeler için kullanılan hesap metotları ile ilgili bilgi Gustafsson (1983 ve 1985)'de bulunabilir.

Betonun gerçek çekme mukavemeti bilinmemektedir. Ancak katkılı betondan, f_t literatürde (Peterson, 1981) rapor edilen deneylerden yaklaşık olarak 4.3 Mpa olarak tahmin edilmiştir. Direkt çekme deneyleri 0.2 dm^3 hacimli prizmalar üzerinde yapılmıştır. Bu hacim aynı zamanda Weibull analizinde referans hacim olarak kullanılmıştır.

Tablo 2.8'den ve bir çok benzer değerlendirmelerde lineer olmayan kırılma teorisi (FCM) beton boruların dizaynında kullanılan teoriler içerisinde ki en iyi teoridir. Şunu da unutmamak gerekir ki donatısız olarak yapılan borular için ideal plastisite teorisi sürpriz olarak sürekli iyi sonuçlar vermiştir. Ancak boyut etkisi analiz edilemez ve temel direkt çekme mukavemetinden yükleme kapasitesi tahmin edildiği zaman çok yüksek değerler elde edilebilir. Weibull teorisi boyut etkisini tahmin etmesine rağmen kötü sonuçlar verdiği görülmüştür. Geleneksel teorilerin kötü sonuçlar verdiği tespit edilmiş ve sürpriz olarak kötü tahminler verdiği de görülmüştür.

Son 10 yılda elde edilen bilgilerden görülmüştür ki temel malzeme parametrelerinden beton boruların gerçek yükleme kapasitesini tahmin eden herhangi bir gerçek teoride kırılma mekaniği dahil edilmemiştir. Aynı zamanda lineer elastik kırılma mekaniği de uygulanmamaktadır. Bunun yerine bazı lineer olmayan modellerden hayali çatlama modeli kullanılmaktadır.

Bugün mevcut olan lineer olmayan kırılma modelleri dizaynda faydalı olmasına rağmen, onlar betondaki mukavemet ve çekme plastisite sertliğinin dikkate alınmasına göre kesinlikle geliştirilebilir ve daha da iyileştirilebilir.

Kırılma mekaniği metotlarının dizayn hesapları çalışma kodlarının modernizasyonuna ek olarak üretilen borularda kullanılan betonların kırılma özellikleri hakkında bilgiye ihtiyaç gösterir. Çok yüksek kalitede lifli öngerilmeli beton kullanıldığı

zaman G_f değeri hakkındaki bilgi yeterli değildir, aynı zamanda çekme gerilme deformasyonunun şekli de bilinmelidir.

Eğer dizayn durumunda lineer olmayan analiz sonuçları mevcut değilse ideal plastisite teorisinden faydalanılabilir. Bir borunun yükleme kapasitesi bilindiğinde plastisite teorisi ile, diğer boruların ve farklı olarak tahmin edilen yüklü boruların yük kapasitesi bulunabilir. Geleneksel lineer elastisite kırılma teorisi, beton boruların dizaynı ve uygulamalı mukavemet analizi dikkate alındığında kullanılmamaktadır.

2.5. Lifli Betonarme Malzeme Deneyleri İçin Metotlar ve Tavsiyeler

Lif katkılı betonarme malzemelerin en büyük avantajı olan artan kırılma dayanımı, basınç ve çekmedeki gerilme birim deformasyon eğrileri altında kalan alanlar ve eğilmede yük-deformasyon eğrileri ile belirtilebilir. Ancak kopma dayanımındaki bu değerlendirmeler uygun deneysel tekniklere bağlıdır.

Küp ve prizma şeklindeki deney numuneleri için gerilme birim deformasyon eğrilerinin şekilleri konusunda serbest ve sabit uç şartları ve farklı birim deformasyon ölçüm cihazlarının etkileri denenmiş ve direkt çekme ve eğilme deney teknikleri de göz önüne alınmıştır.

Sade ve geleneksel olarak yapılan betonarme deney teknikleri yıllarca kayda değer gelişmeler göstermiştir ve bunlar lif katkılı çimento kompozitleri için uygun olabilirler. Bununla birlikte lif katkılı betonların maksimum yüke ulaşmadan önce ve sonra genişçe çatlamayı devam ettirme yetenekleri vardır.

Bundan dolayı kompozit malzemenin gerçek davranışları elde edilecekse deney makinalarının karakteristiklerinin etkileri ve ölçüm cihazlarının deformasyonları da göz önüne alınmalıdır.

2.5.1. Basınç deneyi

Küp ve prizma şeklindeki betonun deformasyonu ve gerilme konusundaki test makinelerinin karakteristikleri ile ilgili önemli birçok datalar son yıllarda tespit edilmiştir.

Kullanılan makinalarla ilgili karakteristikler aşağıda belirtilmiştir:

1. Uç şartlarının tipi (sabit, mafsalı, v.b.),
2. Yükleme plakalarının eksen durumu,
3. Eğer kullanılmışsa kullanılan yağın tipi ve bilyeli yatağın büyüklüğü,
4. Yükleme çerçevesinin sağlamlığı, özellikle eksene dik yönde,
5. Makine reminin ve numunenin deney makinesi çerçevesine dik yöndeki durumu ve parçaların ayarlanması.

Beton basınç numunelerinin kırılma şekilleri aşağıdaki değişik sebeplerden kaynaklanmaktadır.

1. Kenarların kademeli dökülmesinden,
2. Merkezdeki şişmeden,
3. Numunenin bir kısmında veya tamamında büyüyen makaslama çatlamasından,
4. Bir tarafta yatay çekme çatlakları oluşurken, diğer tarafta basınç kırılmasından kaynaklanmaktadır.

Çalışmaların büyük bir kısmı normal betonun mukavemeti ve bütün gerilme-birim deformasyon eğrilerini elde etmek için makine sağlamlığı ile ilgilidir. Diğer bir kısmı ise kırılmadan sonra beton deformasyonları ile ilgili diğer makine etkilerini belirlemek için yayınlanmıştır. Bu çalışmalar özellikle kırılma sertliğini belirlemek için kırılmadan sonraki birim deformasyonları ile ilgilidir.

2.5.2. Basınçta uç şartları etkileri

2.5.2.1. Mafsallı uçlar

Eğer küresel yataklar iyice yağlanmış ise numunenin yüzeyleri ve pres tablaları arasındaki bütün temas, genellikle yüklemeye başlar başlamaz sağlanır. Kırılmada yükleme tablalarının eğilmesi numunenin kırılmış tarafına doğru meydana gelir.

Bundan dolayı diğer taraftaki yük azalırken ve bazı durumlarda çekme kırılması meydana gelirken, kırılmış diğer taraf sıkıştırılmaya devam eder. Ölçme tekniği nasıl yapılırsa yapılsın, diğer tarafta basınç birim deformasyonu azalırken, sıkıştırılmış taraftaki birim deformasyon artar ve ortalama birim deformasyon değeri kompozit davranışı tamamiyle yansıtmaz.

2.5.2.2. Sabit uçlar

Deney makinesinin sağlam olduğunu kabul etmek şartıyla pres tablaların eğilmesi önlemediğinden dolayı deney numunesinin uçları üniform olarak sıkıştırılmalıdır. Bir veya birkaç yüzeydeki birim deformasyonlar deney numunesi içerisinde çatlak yayılmasına ve birim uzama ölçüm tekniğine bağlı olarak değişmesine rağmen bütün yüzeyler için tüm birim deformasyonlar aynı ve sıkıştırılmış olmalıdır.

Ancak pres tablası ile numune arasındaki yüzeyler bir birine paralel değil ise yükleme başladığı zaman tüm yüzey boyunca temas sağlanmaz, bundan dolayı ölçülen bütün birim deformasyonlar (pres tablalar arasındaki hareket) üniform iken, numunede farklı deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu da numunenin erken kırılmasına neden olabilir ve bu nedenle deney numunesi ön yüklemmeden sonra kilitlenebilen bir eğilme plakasına sahip olmalıdır ve sonra bütün yük durumları için sabit kalmalıdır.

2.5.2.3. Plaka sürtünmesi

Çelik liflerin ilave edilmesi ile, beton basınç gerilmesindeki artmanın sebepleri aşağıda açıklanmıştır.

1. Lifler numunenin dikey olarak genişlemesini önler ve bundan dolayı çatlakların yayılmasını engeller.
2. Numunenin yüklenen yüzeylerinde oluşan lifler, numune ve pres tablaları arasındaki sürtünme kuvvetlerinin artmasına sebep olur. Bu son etki özel uç plakaları (yastıklar) veya daha basit MGA yastıkları kullanılarak minimize edilebilir.

2.5.3. Basınçta gerilme-birim deformasyon eğrileri

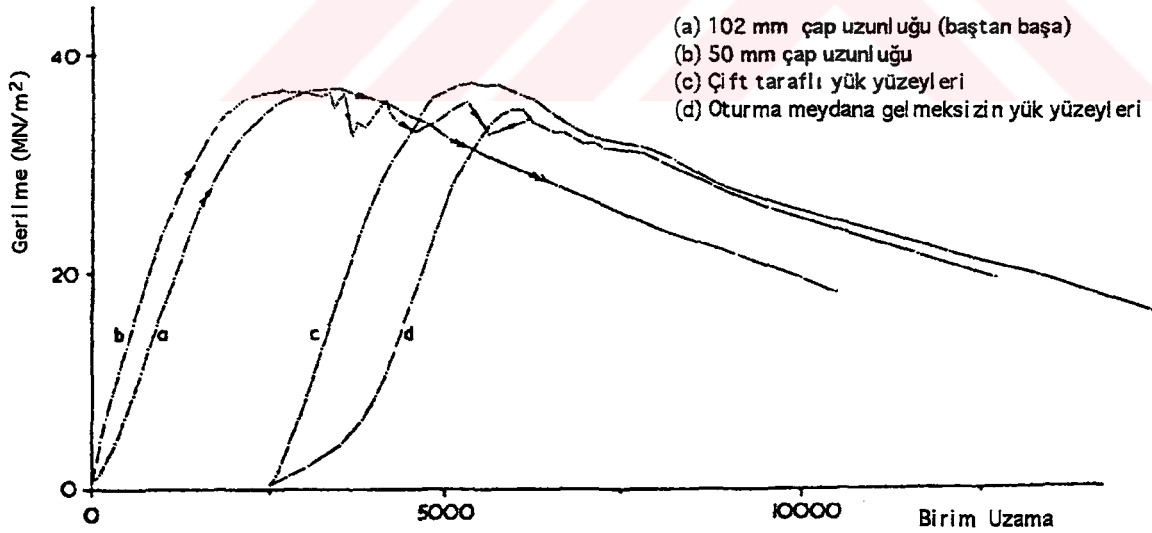
Gerilme-birim deformasyon eğrilerine aşağıdaki sebepler etki edebilir :

1. Birim deformasyon ölçüm tekniği: Tablo 2.9’da bazı tipik teknikler verilmiştir.
2. Deney makinesinin sağlamlığı : Yükleme esnasında üniform olmayan makine kolonlarının uzaması ve şahmerdanın eğilmesi numunenin farklı yüzeylerinde değişik deformasyonlar yapmasına sebep olabilir.
3. Uç şartı .
4. Numune şekli ve test edilen malzeme tipi: Bu etkilerin bazıları LVDT iletim sistemlerinin başka yerde (Hughes, 1977) tarif edildiği gibi uç yüzey üzerinde birim deformasyonunu ölçmek için kullanıldığı beton küp ve prizmalar üzerinde yapılan deneylerle gösterilmiştir.

Küp numuneler için gerilme-birim deformasyon eğrileri Şekil 2.7’de gösterilmiştir “b” eğrisi, 0,76x24 mm’lik kıvrılmış çelik liflerle yapılmış 102 mm’lik küp numunelerin kenar yüzeylerine özel yapıştırıcılarla tutturulmuş LVDT iletim sistemleri yolu ile 50 mm’lik küp numunelerin merkezi üzerinde ölçülmüş birim deformasyon değerini gösterirken, “a” eğrisi de toplam birim deformasyonu göstermektedir.

Tablo 2.9. Tipik Birim Deformasyon Ölçüm Teknikleri

Özellikler	Dial ölçüm aletleri veya LVDT iletim sistemleri tarafından ölçülen toplam birim deformasyonları	Yüzey Birim Deformasyon Ölçümü		
		ERS Ölçüm Aleti	Demec ölçüm aleti	Lambis Roller Extensometer
Ölçülen Numunenin Gerçek Deformasyonu (maksimum yüke kadar)	Hayır	Evet	Evet	Evet
Çatlağa rağmen ölçmeye devam edildimi	Evet	Hayır	Evet/Hayır	-
Makine eğilmesi tarafından etki etmeyen ölçüm	Hayır	Evet	Evet	Hayır



Şekil 2.7. Basıncıta 102 mm'lik Küp Numuneler İçin Gerilme-Birim Deformasyon Eğrileri.

Maksimum yüke ulaştıktan sonra ölçülen birim deformasyon üzerinde çatlağın etkisi “b” eğrisinde açıkça görülmektedir. Diğer taraftan “a” eğrisi daha düzgün bir azalma gösterir. Hem “c” hem de “d ” eğrileri “a” eğrisinde olduğu gibi toplam birim deformasyonla ilgilidir.

Ancak “ d ” eğrisi için küpün yüklenmiş yüzeyleri diğerleri gibi düz değildir, fakat sadece fırçalanmış ve yıkanmıştır. “ c ” eğrisi ile karşılaştırıldığında “d” eğrisi için kayda değer başlangıç deformasyonu toplam birim deformasyonların başlangıç yataklanmasına ne kadar hassas olduğunu gösterir. “c” ve “d” eğrileri için kullanılan küp numunelerine 0,5×49 mm’lik kıvrılmış çelik lifler katılarak 30 günlük numuneler elde edilmiştir.

Şekil 2.8’de 0,25×25 mm’lik çelik lifler katılmış (30 günlük) prizmalar için, gerilme-toplam ortalama birim deformasyon eğrisi gösterilmektedir. “a” da prizmaya ön yükleme yapıldıktan sonra her iki tabla kilitlenir, oysa “b” için tüm deney boyunca bir tabla serbest bırakılmıştır.

Kilitlenmiş yatağın dönmesinin etkisinin fark edilmesi deney makinesinin sağlamlığının etkisiyle ilgilidir. Küresel yatağın dönmesinin sonucunda deney numunesinin bir tarafında direncin aniden düşmesi orta sağlamlıkta bir makine için kaydedilmeyen ortalama birim deformasyonun ani artmasına neden olabilir.

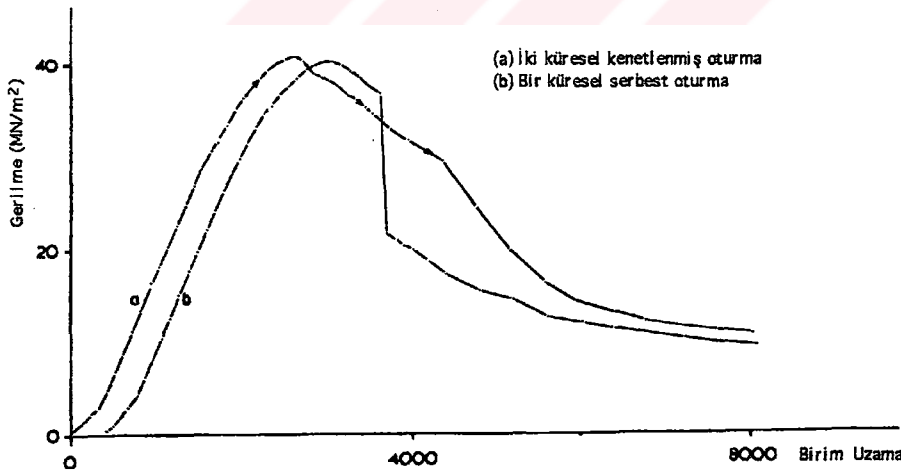
Numunenin bir yüzü çok bozulduğu zaman ve yük büyük bir şekilde azaldığı zaman en büyük dayanıma sahip olan yüz bunu karşılayabilir ve dönmeden önce deformasyondan biraz farklı olabilen ortalama birim deformasyon değeri ile kararlı bir durum sağlayabilir.

Hatta çok sağlam bir makinede bile mafsallı bir ucun ani dönmesi gözlenen gerilme-birim deformasyon eğrisi altında kalan alanda hatalar oluşturacağı açıktır. Ancak, orta sağlamlıktaki bir makine için bu hata gözlenen bu alanda çok fazla azalmaya neden olabilir.

2.5.4. Direkt çekmede deney teknikleri

Normal betonun direkt çekme gerilmesini belirlemek için kullanılan genel teknikler şunlardır :

1. Makaslama hareketi vasıtasıyla iki sağlam pres levhalarının yüzeyleri yoluyla uygulanan dikey bir kuvvetle sürtünme çeneleri tarafından tutulan üniform bir prizma (Johnston, 1968).
2. Konik uçlu bir levhada kama hareketi ile tutturulan konik dairesel kesitli bir numune (Elvery, 1968).
3. Yapıştırılmış uç levhalar ile yüklenen dairesel veya dikdörtgen kesitli numuneler (Hughes, 1965).
4. Lifli betonlar ilk iki teknik kullanılarak test edilmiştir (Johnston, 1973). Basınç altında prizmalar için gerilme-ortalama birim deformasyon eğrileridir.



Şekil 2.8. Basınç Altında (30 günlük) 300×100×100 mm'lik Prizmalar İçin Gerilme-Ortalama Birim Deformasyon Eğrileri

Numunenin yüklenmesi, genellikle ya yuvarlak soket mafsalsal veya universal bir mafsalsal kullanılarak yapılır.

Yukarıda belirtilen tekniklerin dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

1. Konik uç tekniği deney yapmak için çok fazla hazırlama zamanı gerektirir. Hem bu ve hem de sürtünme çenesi tekniği birden fazla insan gerektirir.
2. Liflerin döküm esnasında yatay olması tercih edilir. Bu yatay olarak dökülmüş prizmalar için yükleme yönü ile aynı doğrultudadır, fakat dikey olarak dökülmüş konik silindirlere için dik yöndedir.
3. Yüklemin eksantrikliği prizmanın en zayıf tarafında meydana gelirken kırılma konik prizmanın daha zayıf kesitinde meydana gelir.
4. Çatlamadan sonra ölçülen birim deformasyon gerçek deformasyon ölçüm cihazına ve numune uzunluğuna bağlıdır.

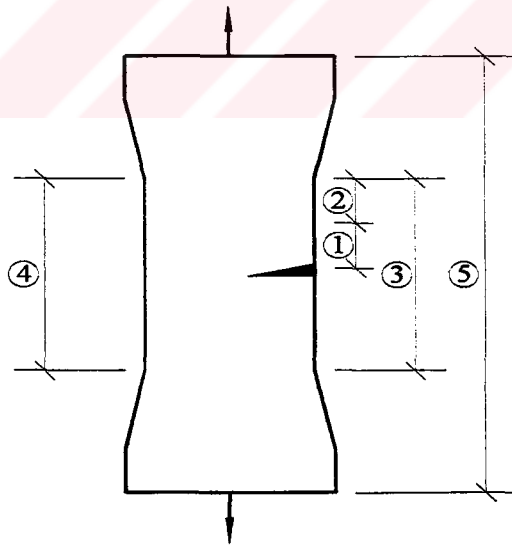
Şekil 2.9. Konik bir silindir boyunca farklı pozisyonlarda ölçülen birim deformasyonları gösterir ve (4)'e bağlı olarak meydana gelebilecek değişimleri gösterir. Çatlamamış bir malzeme için üniform özellikler kabul edilmek şartı ile aşağıdaki durumlar beklenebilir.

- a. Şekil 2.9'da gösterilen 3 numaralı bölge için çatlak genişliği dahil olduğu için toplam uzama daha büyük olacaktır. Fakat bu boy için ortalama birim deformasyon dikkate alındığında toplam uzama (1) ile gösterilen bölgeden daha küçük olacaktır ve (4) ile gösterilen bölgeden farklı olacaktır.
- b. (2) numaralı bölge için uzama çok küçük olacak ve çatlak bölgesindeki liflerin verimine bağlı olacaktır. Verim düşük ise ölçülen uzamada düşük olacaktır.

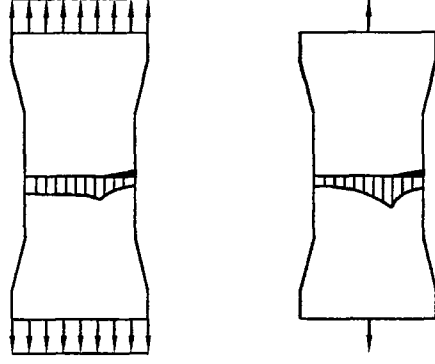
- c. (5) numaralı bölgede oluşan toplam uzama değişken bir kesit üzerinde ölçüldüğü için bu ölçüm yetersizdir.

2.5.5. Çekmede gerilme-birim deformasyon eğrileri

Çatlamadan önce kesit boyunca üniform gerilme dağılımı, çatlamadan sonra daha kompleks bir hal alır ve uç şartlarına bağlı olarak Şekil 2.10'da gösterilenlerden biri kabul edilebilir. Çatlak, kesit boyunca ilerlerse yükleme eksantrikliği mafsallık uç şartları için artar. Bu artan eksantrikliği sabit uç şartları kullanılarak önlenabilir ve gerilme uygulanan yük tüm kesit alanına bölünerek bulunabilir. Bundan dolayı numune için tolerans limiti ve betonun üniform olmamasını sağlamak için başlangıç yüklemesi için mafsallık uçları kullanılması önerilir ve bunlar daha sonra sabit uç şartlarını sağlamak için bağlanır. Örneğin 3 ve 4 numaralı bölgelerdeki ölçümler üniform merkez uzunluğu için ortalama birim deformasyon değerini ve bütün gerilme-birim deformasyon eğrisinin elde edilmesini sağlayabilir.



Şekil 2.9. Çatlak Bir Numune İçin Mümkün Olan Ölçme Pozisyonları



**Şekil 2.10. Sabit ve Mafsallı Uç Şartları İçin Çatlamış Bir Kesit Boyunca
Mümkün Olan Gerilme Dağılımı**

2.5.6. Eğilme deneyi

Sapmayı elde etmek için değişik teknikler, tabla başı hareketinin ölçümünü, kirişin merkez sapmasını ve diğer durumları kapsamaktadır. Fakat bunlar araştırmalarda açıkça belirtilmemiştir. Ölçme teknikleri benzer $100 \times 100 \times 500$ mm'lik beton kirişleri için yük-deplasman eğrilerinin başlangıç eğimi için değişik bilim adamları farklı şekilde açıklamışlardır. Tablanın hareketinden elde edilen üçte bir noktalarındaki yükleme sapmaları için merkezdeki maksimum olmayan sapmadan, iki nokta yüklemesinin ortalama sapmasını temsil edebilir. Merkezdeki sapma ölçüldüğü zaman, düzeneğin sapması (mesnetlerdeki gibi) ihmal edilmiştir. Kullanılabilen teknikler (küçük kirişler için) kirişlerin ya üstünde, ya altında yada mesnetler arasındaki direkt ölçülen sapmaları gösterebilir. Daha sonra güvenilebilir bağıl sertlik değerleri yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alanlardan elde edilebilir.

2.5.7. Eğilme çatlama gerilmesi

Lif katkılı çimentolar ile elde edilen diğer önemli bir avantaj kırılma gerilmesini arttırmaktır. Fakat buradaki uzama tartışma konusudur. Yük-deplasman eğrisinin lineerliğinden elde edilen başlangıç sapması genellikle ilk çatlama gerilmesi olarak kabul edilmiş ve bu aşamada o genellikle çıplak gözle seçilemez. Diğer konular birim-

deformasyonda ki değişiklikler, ultrasonik çarpma zamanı ve nötür eksen pozisyon eğrilerini kapsar.

İlk atlak gerilmesinde  kata kadar lif ilavesine bağlı artmalar, daha önceki görüşleri doğrulayacak bir şekilde rapor edilmiş, fakat diğer bulunanlarla bir zıtlık göstermiştir. Bu zıtlıklar önce sapma ölçüm tekniğinin doğruluğuna ve ikinci olarak lineer olmayan noktaların değerlendirilmesine bağlanabilir.

İlk alışma merkezden ziyade kesit baş hareketleriyle ölçülebilen sapmalardan elde edilebilen ilk çatlama gerilmesini göstermektedir. Ek olarak bu farklılıklar, sapmalar çok hassas ölçüldüğünde dahi yine de belirgin olarak görülebilir. Belki de bu ilk çatlama eğilme gerilmesinin önemini vurgulamaktadır. Çatlama kullanıldığı yere bağlı olarak maksimum çatlama genişliği ile bir çok yapısal beton elemanlarında müsaade edilir. Ancak lifli betonlar için bu durum oluşmaz ve çalışma şartları oldukça ciddiir. Bundan dolayı maksimum çatlama gerilmeleri genellikle ilk çatlak gerilmesini aşmamalıdır.

Yük-deformasyon eğrilerinin elde edilmesinde önerilen yöntemler aşağıda verilmiştir.

1. Basınç deneyinde bütün yükleme şartlarında pres tablalarından birinin sabit olması ile birlikte deney makinesinin de sağlam olması gerekir. İkinci tablanın yük altında başlangıçta eğilme kapasitesi olmalıdır, fakat daha sonra bu tabla sabitlenebilmelidir. Deney boyunca numunenin bütün yüzeylerinde üniform birim deformasyonların ölçülmesini sağlayabilmelidir.
2. Çekme deneyinde numunenin üniform kesit boyu üzerinde ölçülebilen birim deformasyonlar ile basınç deneyinde olduğu gibi sağlam bir deney tekniği kullanılmalıdır. Başlangıçtaki yüklemede herhangi bir eksantriklik mafsallarla yok edilebilmelidir.
3. Eğilme deneyleri için sapmalar, açıkça belirlenebilmelidir ve ilk çatlama gerilmesini daha hassas olarak elde edebilmek için ölçümlerin numune üzerinde direkt olarak

yapılması gerekir. Yük-deformasyon eğrisinin başlangıçtaki lineerlikten sapması dikkate alınmalıdır.

2.5.8. Önceden dökülmüş beton boruların dayanımı ile ilgili konular

Yeraltına gömülmüş beton borular için çok iyi dizayn metotları oluşturulmuştur, fakat bunların dayanımına gereken önem verilmemiştir. Bir borunun dayanımı onun hidrolik ve yapısal fonksiyonları kadar önem arzeder. Sağlam bir boru aşağıdaki üç değişkeni ihtiva etmektedir. Bunlar;

1. Gereken performans,
2. Önceden dökülmüş beton borunun özellikleri,
3. Çalışma ve bakım şartları.

Bir boru malzemesinin dayanımı onun muhtemel yapısal ve hidrolik fonksiyonlarının çalışma kapasitesi kadar önemlidir. Bir borunun kabul edilebilir bir ekonomik süre için gerekli olan performansı sürdürebilmesi temel bir mühendislik problemidir.

Ama buna rağmen boruların yapısal ve hidrolik performanslarına verilen önem dayanıma verilmemiştir. Dayanım süresi bir malzemenin dayanma karakteristikleri ile ilgilidir. Betonun dayanımına fazla ilgi gösterilmiş fakat; iklim, toprak jeoloji, sıvıların saf olmaması, yapı malzemeleri ve üretim kapasitesi gibi faktörler betonun performansını hesaplamak için sistematik ve pratik bir teorinin gelişmesine engel olmuştur. Problem borunun hemen hemen sonsuza kadar dayanabileceği kabulü ile doğmuştur. A.B.D.'de Reclamantion bürosu bir betonun sağlamlığını şöyle tanımlamaktadır. Dayanıma maruz bırakılacak çalışma şartlarının etkilerine yeterli bir derecede dayanmasıdır.

Bu zamanda tamamen kimyasal işlemlere ve fiziksel aşınmalara karşı koyacak hiç bir malzeme yoktur. Beton da bunların dışında değildir. Fakat normal dış şartlar dikkate alındığı takdirde çok uzun bir ömrü vardır. Beton boru hatları mükemmel bir dayanıma

sahiptir. Boru hatları sıcaklığın çok az değiştiği atmosferik şartların oluşmadığı ve büyük bir oranda azaldığı yerin altındadır. Atmosfer şartlarının oluştuğu ve oluşmadığı yerde dökülen beton için hasar oranlarını ve laboratuvar sonuçlarını karşılaştırmak doğru değildir.

Çünkü aynı şarlarda dökülmemiş boruların karşılaştırılması çok fazla maliyete ve boyutların daha fazla olmasına yol açabilir. Araştırmacılar beton boruları aşındırabilen kimyasal ve fiziksel faktörleri ve onların önemini gözden geçirmektedir. Sürekli çalışma şartlarının önemi, beton boru özelliklerinin önemi, ve beton borunun performansını ve dayanımını araştırmışlardır. Beton boruları aşındırabilen ve genel olarak tüm dayanım problemleri için kollektif olarak sayılabilen özel kimyasal ve fiziksel faktörler, donma-çözölme ve hava şartları, aşınma, asitler, sülfatlar ve donatıları içerir. Ancak beton borular için dayanım problemlerinde yeterince ciddi durumlar oluşturacak şartlar özellikle son 40 yıl içinde yılbaşına 10 bin tane yerleştirildiği dikkate alındığı zaman oldukça azdır.

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

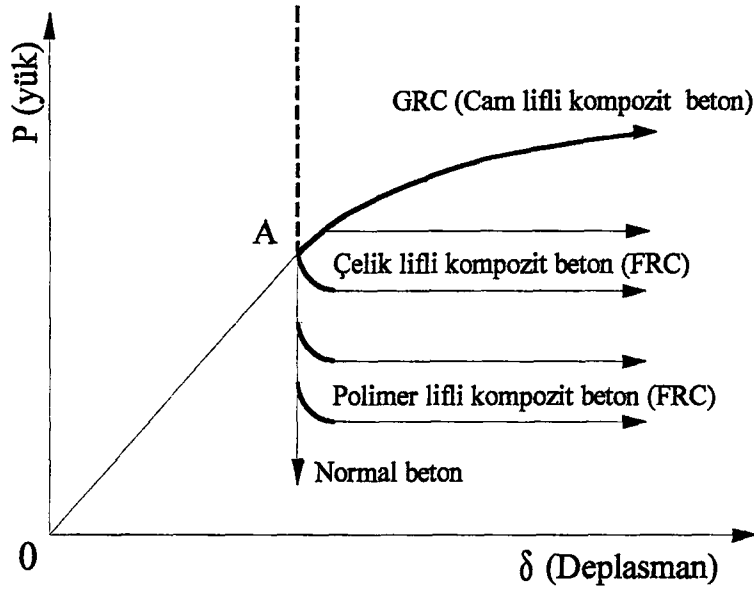
Son 20 yıldan beri lif katkılı betonların kullanımında hızlı bir gelişme olmuştur. Zamanla yeni lifler geliştirilmiş ve asbest liflere alternatif olarak daha yaygın lifleri bulmak için geniş bir araştırma yapılmıştır. Spesifik olarak asbestli çimento ürünlerinin yerini alabilecek lifli malzemelerden cam elyafi katkılı lifler üzerinde detaylı bir şekilde çalışmalar yapılmıştır.

Lifli betonun ticari kullanımının yaygınlaşması bazı sahalardaki uygulamalarında yıllar sonra problemleri ile birlikte ortaya çıkmış ve bunun sonucu olarak da lifli beton malzemelerinin performansını tespit etmek için bazı deney metotları geliştirilmiştir.

Lifli beton teknolojisindeki bu gelişmelerle aynı zamanda kırılma mekaniği ve kırılma özelliklerinden hareketle çimento bileşimini karakterize edecek bir çok hamleler atılmıştır. Lineer-elastik ve elasto-plastik çatlak mekaniklerinin ikisi de lif birleşimlerinin kırılma özelliklerini tanımlamak için uygulanmıştır.

Lifli betonun iyileştirilmiş mukavemeti ve darbe mukavemeti dikkate alınabilecek iki özelliğidir. Beton teknolojisinde kırılma mekaniği deneylerinin uygulanması lif katkılı beton malzemelerinin iyileştirilmiş mukavemetlerinin değerlendirilmesinde çok faydalı olmuştur. Tokluk göstergeleri çatlama sonrası dayanımı verirken, kırılma dayanımı ve kesme mukavemeti çatlak başlangıcına olan direnci vermektedir (Barr, 1985).

Barr B. İ. G. vd (1985), değişik lif katkılı beton numuneler üzerinde yaptıkları kırılma deneylerinde elde ettikleri tipik yük-deplasman eğrileri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Yükleme noktalarında numunelerin başlangıç eğilmesine müsaade edilmesi ile, çatlamanın başladığı A noktasına kadar eğriler lineerdir. Kırılma dayanımı K_{Ic} yük-deplasman eğrisinin orantılılık sınırına tekabül eden yükten faydalanılarak bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Değişik Lif Katkılı Betonlar İçin Yük-Deplasman Eğrileri

Propilen ve çelik lif katkılı betonlar için, yük-deplasman eğrisi, şekilde gösterildiği gibi liflerin miktarı ve tipi ile değişmekte ve toplam yük çatlaklarda azalmaktadır. Plastik liflerin ilavesi kırılma dayanımını arttırmakta fakat tokluk göstergesine büyük bir etki yapmamaktadır. Çelik lifler ise hem kırılma dayanımını hem de tokluk göstergesini arttırmaktadır (Hannant, 1978).

Barr, B. İ. G. vd (1982), tarafından yapılan bir çalışmada cam lif içeriğinin artırılmasıyla kırılma karakteristiklerinin iyileştirilmesi araştırılmıştır. Yapılan araştırmada iki ayrı deney yapılmıştır. İki deney için de cam lifli kompozitlerin kırılma karakteristikleri araştırılmıştır. Araştırmada yapılan birinci deneyde ana gaye cam lifli kompozitlerin mukavemetini değerlendirmek için metalik malzemelerin deneyleri için geliştirilen standart deney numunelerini adapte etmektir. Birinci deneyde kullanılan standart eğilme numunesi Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Deneyde kullanılan bütün numune boyutları ve çentik-derinlik oranları çalışılmış olmasına rağmen kırılma parametreleri deney numunesi geometrisinden bağımsız olduğundan dolayı hep birlikte değerlendirilmiştir. Araştırmada kullanılan ikinci standart kompakt çekme deney numunesi Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Kompakt çekme numunesinin temel avantajı eğilme numunesi ile karşılaştırıldığında daha sağlıklı sonuçlar

vermesidir. Bu araştırmada kullanılan Mod II deney numunesinin geometrisi Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

Eğilme numunesi için gerilme yoğunluğu faktörü (K) aşağıdaki ifadede verilmiştir (Baar B.İ.G. vd. (1985).

$$K = \frac{3.P.L}{B.W^{3/2}} \times \left[1,93x\left(\frac{a}{w}\right)^{1/2} - 3,07x\left(\frac{a}{w}\right)^{3/2} + 14,53x\left(\frac{a}{w}\right)^{5/2} - 25,11x\left(\frac{a}{w}\right)^{7/2} + 25,86x\left(\frac{a}{w}\right)^{9/2} \right]$$

Kompakt çekme numunesi için gerilme yoğunluğu faktörü (K_I) değeri

$$K_I = \frac{P}{B.W^{1/2}} \times \left[29,6x\left(\frac{a}{w}\right)^{1/2} - 1,85x5x\left(\frac{a}{w}\right)^{3/2} + 665,7x\left(\frac{a}{w}\right)^{5/2} - 101,7x\left(\frac{a}{w}\right)^{7/2} + 638,9x\left(\frac{a}{w}\right)^{9/2} \right]$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada;

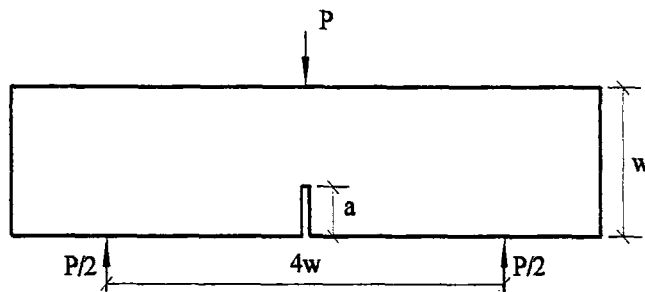
P = Yük

B = Numune kalınlığı

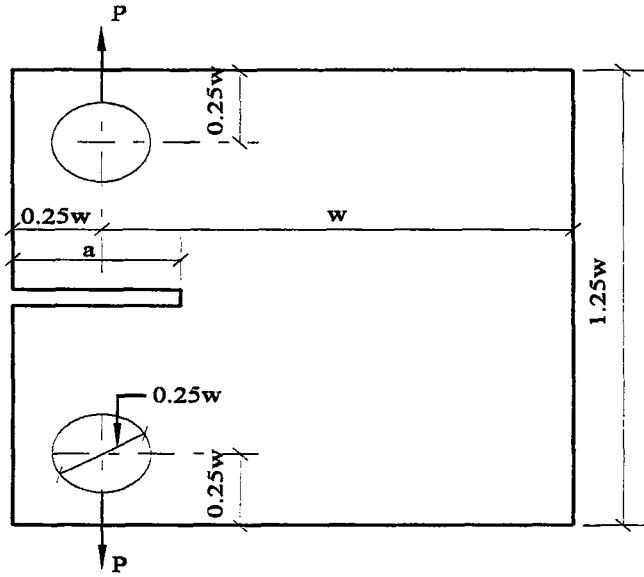
W = Numunenin derinliği veya genişliği

a = Çentik derinliği

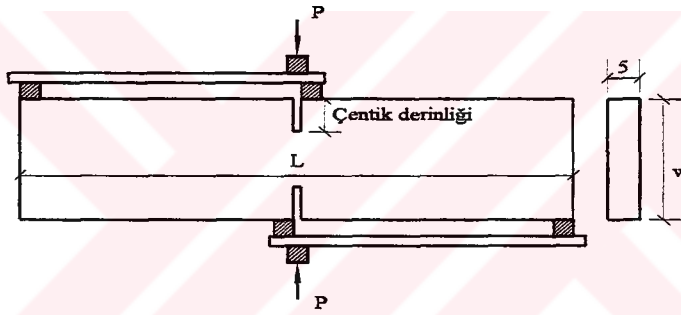
L = Açıklığı göstermektedir.



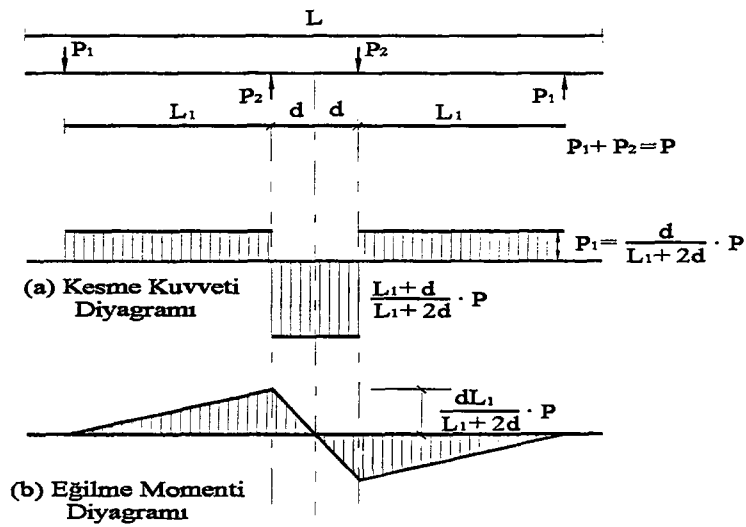
Şekil 3.2. Standart Mod I Eğilme Numunesi



Şekil 3.3. Standart Mod Kompakt Çekme Numunesi



Mod II Deney Geometrisi



Şekil 3.4. Önerilen Mod II Deney Numunesi

Şekil 3.4’de verilen bu deney geometrisi K_I - K_{II} kompozit mod çatlaklarının gevreklik kırılmasını araştırmak için Gao tarafından geliştirilen deney geometrisinin bir değişimidir.

Chiang W. T. Vd (1984) tarafından aynı geometri karışık mod yüklemeye maruz çatlaklı eğilme numunelerinin gerilme alanlarını ve kırılmasını çalışmak için kullanılmıştır. Şekil 3.4’de iki çentikten yalnızca birinden dolayı meydana gelen mod durumu üzerine yapılmıştır. Ayrıca Şekil 3.4’de deney numuneleri gösterilmiştir. Bu araştırmada çentikli bir numuneyi simetrik yapmak için ek bir çentik konmuştur. Aynı geometri Bazant ve Pfeiffer tarafından da geliştirilmiştir.

Bazant Z. P. Vd (1985), betonun ve harç kirişlerinin kesme kırılmasını bulmak için gösterilen geometriyi kullanmışlardır. Onların kullandığı numunelerin uzunluk/derinlik oranı 8/3 olan sabit değişmeyen kirişlerdir. Çentikler numunenin alt ve üst kenarlarında kirişin 1/6 derinliğine uzanan 2.5mm’lik bir kalınlıktadır.

Bütün deney numunelerinde cam lifi kullanmışlardır. Hasır halindeki cam lifler parçalara ayrılarak metre kareye 560 gr düşecek şekilde kullanılmıştır. Hasır halindeki bu cam lifler değişik ebatlarda ki kalıplara uyacak şekilde kesilmiş ve 0, 1, 2, 4 ve 6 tabaka olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu tabakalar ağırlık olarak yaklaşık % 0, 2, 4, 8 ve %12 oranında cam lifi içermektedir.

Bütün numuneler PTFE ile kaplanmış düzgün ahşap kalıplara dökülmüştür. Eğilme numuneleri 200x50 mm ebatlarında ve 12 mm kalınlığındadır. Liflerin çimento şerbeti ile iyi bir şekilde sarılması için, su/çimento oranı 0.60 olan karışım kullanılmıştır. Başlangıçta her kalıbın içerisine çimento şerbeti dökülmüştür. Daha sonra doğranmış cam lifler bu kalıbın içine atılmış ve bir silindir vasıtasıyla çimento şerbeti ile birlikte karıştırılmıştır. Sonra biraz daha fazla çimento şerbeti ilave edilmiş ve arkasından doğranmış cam liflerden bir tabaka daha serilerek çimento şerbeti ile karıştırılmıştır. Bu işleme gerekli olan tabakaya ulaşınca kadar aynı şekilde devam edilmiştir.

Daha sonra kalıbın üst seviyesine kadar çimento şerbeti doldurulmuştur. Liflerin üniform olarak dağıtılmasına dikkat edilmesine rağmen, kırılmış numunelerde bu dağılımlarda bazı değişimler görülmüştür. Numuneler 24 saat kalıpların içerisinde tutulduktan sonra kalıplar sökülerek 28 gün 20°C sıcaklıktaki su içerisinde küre tabi tutulmuştur. Çentikler yaklaşık olarak 21 gün sonra açılmıştır. Çentik derinliklerinin değişimi her üç numune için araştırılmış fakat sonuçlar her iki Mod I deney numuneleri için çentik derinlik oranından bağımsız olduğu için çentik derinliği değişiminin etkisi rapor edilmemiştir. Çentik derinliğinin arttırılması ile Mod II sonuçlarında çok küçük değişiklikler gözlenmiştir. Ancak, bu muhtemelen çentiğin en alt kısmının etrafındaki bütün kompozit hareketlerin gelişmesi yetersiz olan daha küçük çentik derinliklerinden kaynaklanmaktadır.

Tüm deneyler deplasmanı kontrol edilebilen deney makinası kullanılarak yapılmıştır. Deneyler normal oda sıcaklığında 20°C'de %70 nem oranında yapılmıştır. Deney makinasının tablası üç deney numunesi için de 0.5 mm/dakika'da tatbik edilmiştir. Yük-deplasman eğrileri otomatik olarak çizdirilmiş ve Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Eğilme ve kompakt çekme numuneleri için kırılma sertliği sonuçları yukarıda verilen iki formül kullanılarak bulunmuştur. Kayma gerilmesi (τ) ise aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{L_1}{L_1 + 2d} \times \frac{P}{B(W - 2a)}$$

τ = Kayma Gerilmesi

L_1 = Numunenin Uzunluğu

P = Max Çatlama Yüğü

B = Numune Kalınlığı

W = Numunenin Derinliği

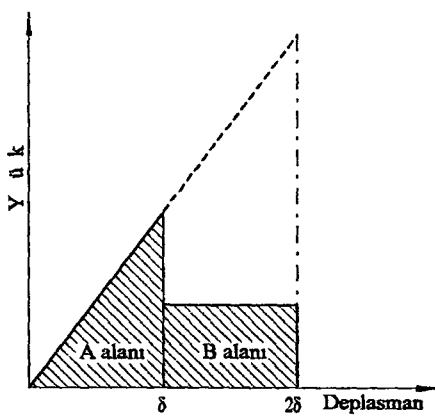
a = Çentik Derinliği

Mod I ve Mod II yükleme şartları altındaki çatlama sonrası performansı Şekil 3.5'de gösterilen tokluk indeksi kullanılarak değerlendirilmiştir.

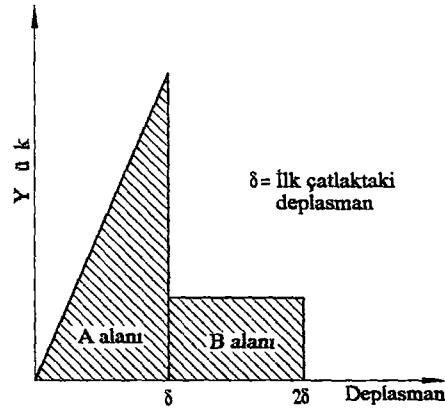
Tokluk indeksi Şekil 3.5.a'daki durumda yük-deplasman grafiğindeki toplam taralı alanın, aynı grafikte ilk çatlamanın meydana geldiği noktaya kadar olan ve dört katı alınan alana oranlanması ile bulunmuştur.

Tokluk indeksinin tanımı Şekil 3.5.b'de yük-deplasman grafiğindeki B alanının ilk çatlakın olduğu noktanın altında kalan A alanının 3 katına bölünmesiyle yüzde olarak ifade edilmiştir. Her iki tanımda tokluk indeksi için alt ve üst sınır değerleri ve aynı zamanda elasto plastik çözümü için (0.75 veya 0.67) verilen bir değer olarak belirtilmiştir (Rilem, 1978).

Tokluk indeksi sonuçlarının aralığı ikinci tanım durumunda daha büyüktür. Bu tokluk ölçeğinin alt sınırında ikinci tanım daha faydalı yapar (düşük modüllü liflerde). Ancak ikinci tanımın bir dezavantajı birinci tanımda elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığı zaman değişim katsayısının değeri daha fazladır.



(a) 1. Tanım 0.25 için



(b) 2. Tanım 0 için

Şekil 3.5. Tokluk İndeksinin İki Tanımı

Ayrıca bu çalışmanın ana amacı tokluk indeksinin artışının değerlendirilmesi olduğu için takviye edilmemiş malzemeler için temel bir değer (tokluk indeksi 0.25 olarak verilmiştir) gereklidir. Bundan dolayı Şekil 3.5.a'da gösterilen tokluk göstergesinin ilk tanımı bütün çalışma boyunca kullanılmıştır. Bu tanım Johnston tarafından önerilen temel birim tanımı ile benzerdir.

Eğilme numunelerinden elde edilen kırılma mukavemeti sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir. Bu sonuçlar temel mühendisliğin eğilme teorisi kullanılarak elde edilmiş ve lif muhtevasının artımından dolayı mukavemetin arttığı açıkça görülmektedir. Buna karşılık gelen kırılma tokluğu ve tokluk indeksi sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Lif muhtevasının artması ile çatlak yayılmasının direncinin artımı kırılma tokluğunun artımını göstermesine rağmen, bu aynı sonuç tokluk göstergesi sonuçlarına uygulanamaz. Bu sonuçlar lif takviyeli kompozitler için hem kırılma tokluğu hem de tokluk indeksi sonuçlarını gösterir. Yalnızca bir katman cam lif (ağırlık bakımından %2) 0.85'lik tokluk indeksini elde etmek için yeterlidir. Yani (Yukarıda iyi bir elasto plastik davranış elde etmek için) ek cam lif katmanlarının eklenmesinin sürekli yararları kırılma tokluğu sonuçlarında görülmüştür ve bu sonuçlar lif muhtevasının artması ile ünüform olarak artmıştır. Bu çalışmada lif oranının artımı tokluk indeksinin artışını göstermektedir. Fakat kırılma tokluğunun artışını göstermemiştir.

Tablo 3.1. Eğilme Numunelerinin Kırılma Mukavemeti Sonuçları

Cam Lif Katmanlarının Sayısı	Çatlama Mukavemeti		Maksimum Mukavemet	
	Gerilme N/mm ² V(%)	Artış Katsayısı	Gerilme N/mm ² V(%)	Artış Katsayısı
0	3.16 (12.6%)	1.0	3.16 (12.6%)	1.0
1	7.17 (31.0%)	2.27	10.29 (16.4%)	3.26
2	13.46 (22.4%)	4.26	17.43 (16.5%)	5.52
4	22.05 (22.5%)	6.98	25.87 (23.9%)	8.19
6	27.09 (30.0%)	8.57	40.11 (25.9%)	12.9

Tablo 3.2. Eğilme Numunelerinden Elde Edilen Kırılma Tokluğu ve Tokluk İndeksi Sonuçları

Cam Lif Katmanlarının Sayısı	Kırılma Toklukları		Tokluk İndeksi	
	K_{Ic} (MN/m ^{3/2}) V(%)	Artış Katsayısı	Gerilme N/mm ² V(%)	Artış Katsayısı
0	11.17 (7.0 %)	1.0	0.25	1.0
1	23.26 (33.8 %)	2.08	0.85 (13.3 %)	3.41
2	41.59 (27.5 %)	3.72	0.86 (9.6 %)	3.42
4	60.28 (27.6 %)	5.40	0.87 (7.0 %)	3.48
6	79.49 (23.2 %)	7.11	0.90 (4.5 %)	3.63

Kompakt çekme numuneleri için kırılma mukavemeti ve kırılma parametreleri sonuçları sırasıyla Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de verilmiştir. Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de verilen deney sonuçları Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilen sonuçlarla tüm özellikleri ile benzerdir.

Tablo 3.3. Kompakt Çekme Numunelerinden Elde Edilen Kırılma Mukavemeti Sonuçları

Cam Lif Katmanlarının Sayısı	Çatlama Mukavemeti		Maksimum Mukavemet	
	Gerilme N/mm ² V(%)	Artış Katsayısı	Gerilme N/mm ² V(%)	Artış Katsayısı
0	1.65 (23.5 %)	1.0	1.65 (23.5 %)	1.0
1	3.55 (22.5 %)	2.15	4.72 (11.8 %)	2.86
2	6.18 (22.0 %)	3.75	9.92 (13.2 %)	6.01
4	10.17 (23.3 %)	6.16	14.35 (26.0 %)	8.69
6	10.95 (7.0 %)	6.63	22.24 (4.8 %)	13.47

Tablo 3.4. Kompakt Çekme Numunelerinden Elde Edilen Kırılma Tokluğu ve Tokluk İndeksi Sonuçları

Cam Lif Katmanlarının Sayısı	Kırılma Toklukları		Tokluk İndeksi	
	K_{Ic} (MN/m ^{3/2}) V(%)	Artış Katsayısı	Gerilme N/mm ² V(%)	Artış Katsayısı
0	7.41 (9.0 %)	1.0	0.25	1.0
1	19.22 (21.5 %)	2.59	0.87 (5.4 %)	3.46
2	33.37 (18.6 %)	4.50	0.87 (3.3 %)	3.46
4	54.51 (17.6 %)	7.35	0.87 (6.5 %)	3.50
6	66.61 (22.8 %)	8.98	0.90 (2.8 %)	3.60

Kısmi olarak artım değerleri (yani verilen lif muhtevası için elde edilen sonuçların buna karşılık gelen lifsiz sonuçlara oranı) çok yakın bir uyum göstermiştir. Değişim katsayısının en büyük değerleri çatlama mukavemeti ve kırılma tokluğunun belirlenmesi ile elde edilmiştir. Bu ilk çatlama noktasının tam yerinin belirlenmesindeki zorluktan dolayıdır. Değişim katsayısı daha hassas bulunabileceğinden dolayı maksimum mukavemet için değişim katsayısı çatlama mukavemeti için elde edilenden daha küçüktür. En küçük değerli sonuçlar genellikle %10'un altında olan tokluk indeksi için elde edilmiştir.

Çatlama mukavemeti, maksimum mukavemet ve kırılma tokluğu için verilen artım değerleri o kadar gerçektir ki onlar lif takviyeli kompozitler için kırılma sonuçları oranının lifsiz numuneler için elde edilen sonuçlara bölünmesi ile bulunur.

Tokluk indeksi sonuçları durumunda 0.25 suni değeri sıfır kalınlığı yansıtmaktadır. En üst ölçek olan 1 en uygun tokluğu yansıtmaktadır. Bundan dolayı tokluk indeksinin mümkün olabilen maksimum artışı 4'tür. Bu sınırlamaya rağmen tokluk indeksi çatlama sonrası için en yararlı ölçümdür. Yalnızca bir katman cam lif (ağırlık bakımından %2) yaklaşık olarak 3.5'lik bir faktör ile tokluğun artımı için yeterlidir.

Çatlama ve maksimum kesme mukavemeti sonuçları Tablo 3.5’de verilmiştir. Lif muhtevası %8’e kadar arttırıldığı zaman (4 katman) sonuçlar kesme mukavemetinin arttığını gösterir.

Kesme mukavemeti lif muhtevasının artımı ile küçük bir azalmı gösterir. Çatlama kesme mukavemeti üzerine maksimum kesme mukavemetindeki artış çalışılan lif muhtevası aralıkları için benzerdir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.3’deki sonuçlar ile Tablo 3.5’de buna karşılık gelen sonuçlar karşılaştırıldığında, kesme mukavemetinin düşük lif oranları için (bir veya iki katman) daha hızlı arttığı görülmüştür. Eğilme ve çekmedeki artış kesmede elde edilenden daha büyük olduğu yalnızca yüksek lif oranları içindir. Bu muhtemelen kesmede lifli kompozitlerin etkisinin azalmaya yöneldiği bağlayıcıların dökümantasyon problemlerinden dolayıdır.

Kesme için tokluk indeksi sonuçları Tablo 3.6’da verilmiştir. Bir katman cam lif 0.76’lık bir tokluk indeksini vermesi için yeterlidir. Bu durum yaklaşık olarak elasto-plastik davranışa karşı gelir. Tokluk indeksi sonuçları dört katman için maksimum değer olan 0.85’e kadar marjinal olarak artar ve daha sonra altı katman cam lifi için 0.81’e düşer. Mod I ve Mod II’deki tokluk indeksi sonuçları ağırlık bakımından %2’lik bir lif muhtevası için her iki Mod durumunda da yaklaşık elasto-plastik davranışa benzer özellikler gösterir ve lif muhtevası arttığı zaman yalnızca marjinal olarak artar.

Tablo 3.5. Mod II Deney Numunelerinden Elde Edilen Kesme Mukavemeti Sonuçları

Cam Lif Katmanlarının Sayısı	Çatlama Mukavemeti		Maksimum Mukavemet	
	Gerilme N/mm ² V(%)	Artış Katsayısı	Gerilme N/mm ² V(%)	Artış Katsayısı
0	2.67 (15.2 %)	1.0	2.67 (15.2 %)	1.0
1	6.92 (25.1 %)	2.59	8.94 (28.1 %)	3.35
2	11.98 (20.6 %)	4.49	15.44 (21.7 %)	5.77
4	13.10 (20.8 %)	4.90	17.05 (25.5 %)	6.39
6	11.81 (20.8 %)	4.42	15.74 (23.1 %)	5.90

Kesmedeki tokluk indeksi Mod I yüklemesi için buna karşılık gelen tokluk indeksinden sürekli daha azdır. Cam lifli kompozitler için (GRC) bu sonuçlar çelik ve propilen lifler için elde edilen sonuçlara benzerdir.

Tablo 3.6 Mod I sonuçlarına göre Mod II tokluk indeksinin belirlenmesinde elde edilen daha yüksek değişim katsayısını gösterir.

Barr, B. İ. G. vd (1982), tarafından yapılan bu çalışmanın sonuçları cam lifli kompozit malzemelerin performansını karakterize eden kırılma tokluğu ve tokluk indeksinin önemini birleştirerek gösteren sonuçlar Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Tokluk indeksi sonuçları bağıl olarak cam lif muhtevsından bağımsızdır. Diğer taraftan lif muhtevasının artması ile K_{IC} değerinin artması gözlenmiştir. Şekil 3.6 aynı zamanda yüksek lif muhtevalarında kesme performansının artmasındaki lif takviyesinin etkisinin azaldığını gösterir. Cam lifli kompozit malzemelerinin ve diğer kompozitlerin kesme performansının belirlenmesindeki genel alanlarda gelecekte daha fazla çaba gerekmektedir.

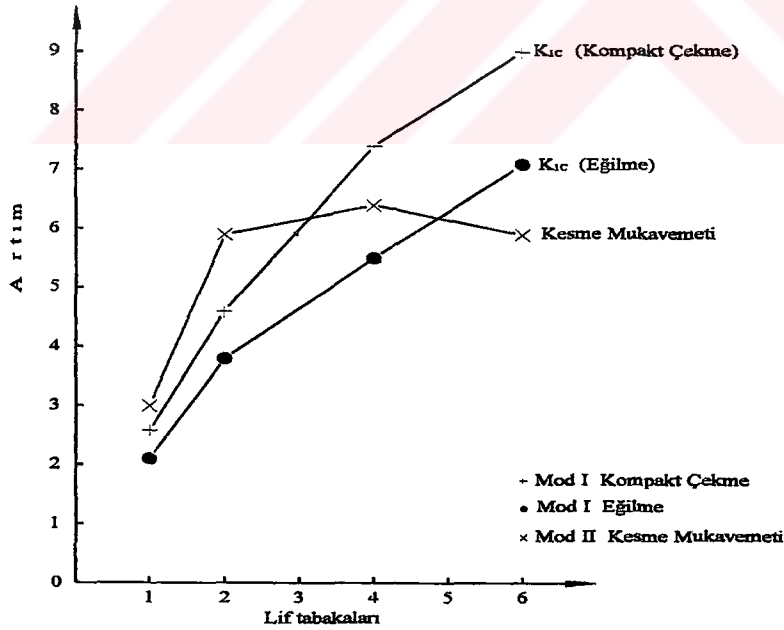
İki adet Mod I kırılma deney numuneleri ve bir adet Mod II kesme numunesi cam lifli kompozit malzemelerinin kırılma karakteristiklerini belirlemek için kullanılmıştır. ModI deney numuneleri deney malzemeleri için geliştirilen standart kırılma deney numuneleri esas alınarak hazırlanmıştır.

Tablo 3.6. ModII Deney Numunelerinden Elde Edilen Tokluk İndeksi Sonuçları

Cam Lif Katmanlarının Sayısı	Tokluk İndeksleri		
	Ortalama T.İ.	V (%)	Artış Katsayısı
0	0.25	-	1.0
1	0.76	15.8	3.03
2	0.80	13.4	3.20
4	0.85	7.3	3.40
6	0.81	8.5	3.23

Kesme geometrisi metallerde karışık mod çatlağını çalışan Gao tarafından geliştirilen deney numunesinin bir geliştirilmiş şeklidir. Çatlama mukavemeti, kırılma tokluğu ve kırılma indeksi sonuçları ağırlık bakımından %2'den %12'ye kadar değişen cam lif muhtevalı kompozit malzemeler için verilmiştir. İlk çatlağa karşı direnç ya K_{Ic} (Mod I deneyi) veya kesme mukavemeti (Mod II deneyi) vasıtasıyla ölçülmüştür ve çatlama sonrası performansı tokluk indeksi ile ölçülmüştür. Ana sonuçlardan birisi cam lifli kompozit malzemelerinin kırılma karakteristiklerini belirlemek için iki kırılma parametresi birlikte kullanılarak değerlendirilmiştir.

Lif muhtevasının artırılması Mod I deneyinde kırılma tokluğunu artırır. Ancak Mod II yükleme durumunda çatlama karşı direnç yalnızca %0-8 lif oranlarında artmıştır. Daha yüksek lif oranları cam lifli kompozitlerin kesme performansını arttırmamaktadır. Şekil 3.6'da lif oranının artması ile elde edilen artım eğrileri görülmektedir. Benzer tokluk indeksi sonuçları çalışılan lif oranları aralıkları için Mod I ve Mod II deneylerinden elde edilmiştir. Mod II tokluk indeksi sonuçları buna karşılık gelen Mod I sonuçlarından küçük olmasına rağmen aradaki fark çok küçüktür.



Şekil 3. 6. Lif Oranının Artması İle Elde Edilen Artım Eğrileri (Barr, 1982)

Bu çalışmada kullanılan Mod II deney numune geometrisi çok geniş diğer malzemelerin deneyleri için kullanılabilen kompakt kesme deney numunesi için bir modeldir. Bu deney geometrisi için daha fazla çalışma gereklidir. Cam lifli kompozit malzemeler ve diğer lif katkılı kompozitler üzerindeki gelecekteki çalışmalar onların kesme performansı üzerine yoğunlaştırılmalıdır.

Cam lif ve çimento bağlayıcılarındaki ara kesitte matrikslerin yoğunlaşması, cam lifli beton kompozitlerde (GFRC) kırılma eğilimi yol açmaktadır. Liflerin arasındaki boşluklarda hidratasyon ürünlerinin formasyonu kadar, ara kesitten yaklaşık olarak 70-100 mili mikron olan bölgelerde meydana gelen katılma olayı cam lifli beton kompozitlerde malzemedeki tokluğun azaldığını göstermektedir.

M. Kawamura ve S. Igarashi yaptıkları bir çalışmada şu sonuçları bulmuşlardır.

1. Cam lifli kompozit malzemelerinin üretimi esnasında liflerin gevşemesi ve iyi yerleşmemesi kompozitlerin kırılma eğilimini artırır.
2. 5°C'de iyileştirilen yani cam liflerle desteklenen cam lifli kompozit kireçli harcının eğilme mukavemeti 180 güne kadar önemli bir oranda artmaktadır.
3. Cam lifli kompozit kireçli harçlardaki dayanım 38°C sıcaklıkta ve ilk 60 gün esnasında hızlıca düşmektedir.
4. Cam lifli çimento bağlayıcılarının ara kesit bölgeleri ile cam lifsiz çimento bağlayıcılarının ara kesit bölgeleri karşılaştırıldığı zaman bunların mikro sertliklerinde değişik özellikler gözlenmektedir.
5. Ara kesit bölgelerinde 70-100 mili mikron arasında meydana gelen bu yüksek değerler, belli bir bölgede fazlaca meydana gelen Ca(OH)_2 miktarından kaynaklanmaktadır.

6. Cam lifli beton kompozitlerinin kırılma dayanıklılığında, cam liflerden dolayı meydana gelen eğilme gerilmelerinin etkisinin önemli olmadığı görülmüştür.

Ohama Y. Vd (1985), karbon lif ve silis dumanı ile takviye edilmiş çimentonun özellikleri konusunda yaptıkları araştırmada W/C oranını 0.30'da tutmuşlardır. Bunun yanında Silis dumanı/Çimento oranını da 0.40'da tutup %1, 3 ve %5 lif katarak çekme gerilmesinde %270, eğilme mukavemetinde %340'lara varan bir mukavemet artışı gözlemişlerdir.

Linton J. R. Vd (1991), karbon lifle takviye edilmiş çimento ve harç konulu araştırmada, %1.65, 2 ve %3 lif içeriğine karşılık, W/C oranını 0.37, 0.37 ve 0.21'de tutup, eğilme mukavemetinde %165, 165 ve %90 bir artma sağlamıştır.

Park S. B. Vd (1991), karbon lifle takviye edilmiş çimento bileşiklerinin imalatı konulu araştırmada %1, 2 ve %3 lif içeriğine karşılık W/C oranını 0.30'da tutup, çekme mukavemeti değerinde %120, 170 ve %200'lük bir artış gözlenmiştir.

Banthia N. Vd (1991), mikro takviye konulu araştırmada %1, 3 ve %5 lif içeriğine karşılık W/C oranını, 0.30'da tutup eğilme mukavemeti değerinde, %250, 360 ve %375'lik bir artma gözlemişlerdir.

Ali M. A. Vd (1972), karbon lifle takviye edilmiş çimento konulu araştırmada, %3 ve %3.7 lif içeriğine karşılık W/C oranını 0.30'da tutup çekme mukavemetinde, %70 ve %500'lük bir artış gözlemişlerdir.

4. ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEMELER

4.1. Malzeme

4.1.1. Cam elyafı

Deneylerde İstanbul-Beyoğlu Camsar Sanayi Ara Malları Pazarlama A.Ş.'den elde edilen cam lifleri kullanılmıştır. Bu lifler aynı zamanda İzmir'de de üretilmekte olup hemen hemen bütün şehirlerde temin edilmesi mümkündür. Başlangıçta rulolar halinde ve ızgara şeklinde olan bu lifler ayrıştırılarak deneylerde kullanılmaktadır.

Cam lifli bu kompozitlerin, parça bütünlüğü, hafiflik, yüksek mekanik mukavemet, darbe dayanımı ve uzun kullanım ömrü gibi özellikleri, çok geniş kullanım alanlarında avantaj sağlamaktadır. Çok fazla bilinmemekle birlikte, cam elyafı elastik bir malzemedir. Yani, yük altında düzgün olarak kopma noktasına kadar uzayan cam elyafı, çekme yükünün kalkması sonucunda herhangi bir akma özelliği göstermeden tekrar başlangıç boyutuna döner.

Diğer metallerde ve organik liflerde bulunmayan bu elastik özellik ve yüksek mukavemet özellikleri, cam elyafına büyük miktarda enerjiyi, kayıpsız olarak depolama ve bırakma imkanı sağlamaktadır. Bu özellikte birlikte dinamik yorulma dayanımı, aşınmaya karşı korunması şartı ile otomobil, kamyon amortisör yayları ve mobilya yayları gibi ürünlerin cam elyafı takviyeli plastik malzemeden yapılabilmesini sağlamaktadır.

Cam elyafı takviyeli plastiklerde mukavemeti etkileyen bir diğer etmen, cam elyafı takviyesinin yönüdür ve yönlenme, cam elyafının reçine ile kaplanabilirliğini de etkiler. Dolayısı ile, cam elyafı takviye miktarının artışı ile birlikte mukavemeti de yükseltir. Değişik sanayi dallarında kullanılan bu yapı malzemesinin, inşaat sanayinde de kullanılabilirliği araştırılmıştır. Buna en büyük etken de betonun iyi olmayan bazı özelliklerinin iyileştirilmesidir.

Örnek olarak, belli bir hacimde tek yönlü takviye ile % 80-85 cam elyafı kaplanabilirken, tesadüfi yönlenmiş takviye kullanıldığında, aynı hacimde en çok % 65 oranında takviye sağlanabilmektedir.

Bu üstün özelliklerine rağmen, kompozitlerin yük taşıma kabiliyetinde zamanla azalma görülmektedir. Bu nedenle, tasarım yapılırken uygun bir emniyet faktörü öngörülerek, ani kırılmaların önüne geçilmesi gereklidir.

Zamana bağlı olarak mukavemetin azalması, çekme dayanımının başlangıç değerinin 2/3'üne çok kısa sürede düşmesi ve 1/2'sine 50 yıl gibi bir sürede düşmesi şeklinde görülmektedir. Cam life ait bazı tipik özellikler Tablo 4.1'de verilmektedir. Kısaca cam liflerinin kullanıldığı yerleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- . Büyük ağırlık ve kum kullanılan fabrika döşemelerinde,
- . Yeni veya eski beton döşeme imalatında,
- . Deniz, su ve nehir kenarlarına kullanılan betonlarda,
- . Oto-yol kenarlarındaki su kanalı ve borularda,
- . Elastikleştirme yaptığından betona her şekli verebilmede,
- . Su geçirgenliği az olduğundan ev kilerlerinde ve rutubetli yerlerde,
- . İnşaat döşemelerinde ve benzeri bilumum işlerde cam elyafı kullanılabilir.

Tablo 4.1. Cam Liflerine Ait Bazı Tipik Değerler

Lif Çeşidi	Boyutu (μm)	Özgül Ağırlığı kN/m^3	Young Modülü kN/mm^2	Çekme Mukavemeti kN/mm^2	Kırılmada Uzama (%)
Cam	9-15	26.0	70-80	2.4	2-3.5

4.1.2. Portland çimentosu

Araştırmada, Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş.'nin üretmiş olduğu portland çimentosu (PÇ 325) kullanılmıştır. Çimentoların fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir. Bütün deneylerde aynı çimento kullanılmıştır.

Tablo 4.2. Portland Çimentosunun Analiz Sonuçları

KİMYASAL ANALİZLER (%)	
Çimento Türü	Elazığ Çimento PÇ 325
CaO	65.87
SiO ₂	20.42
Al ₂ O ₃	5.92
Fe ₂ O ₃	2.81
MgO	3.23
SO ₃	0.97
Çözünmeyen Kalıntı	0.18
Tayin Edilemeyen	1.10
(Na ₂ O+K ₂ O) Alkaliler	0.15
Klorür Cl	≤ 0.1
Kızdırma Kaybı	2.16
C ₃ S	60.06
C ₂ S	13.31
C ₃ A	10.94
C ₄ AF	8.55

FİZİKSEL ANALİZLER		
Özgül Ağırlık(g/cm ³)		3.00
Özgül Yüzey (cm ² /g)		3927
Elekte Kalan (%)	200 mik	1.1
	90 mik	7.6
Normal Kıvam Su (%)		
Priz (s/dk)	Başlama	2.25
	Bitiş	3.55
Le Chatelier (mm)		5

DAYANIMLAR		
Basınç	7 gün	27.5
	28 gün	38.5
Eğilmede Çekme	7 gün	5.7
	28 gün	6.8

4.1.3. Karma suyu

İçilebilir nitelikte olan ve TS 500’de beton yapımında kullanımına izin verilen sular, beton boruların yapımında karışım suyu olarak kullanılabilir. Kullanılan suyun sülfat içeriği %1’den, klorür içeriği de %2’den fazla olmamalıdır. Laboratuarda yapılan deneylerde karma suyu olarak PH’ı 7.05 olan üniversitenin şebeke suyu kullanılmıştır. Karma suyu olarak kullanmadan önce suyun dinlenmesi ve $21\pm2^{\circ}\text{C}$ ’de olabilmesi için, tam bir gün laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kullanılmıştır. Beton borularda kullanılan karma suyu ise Sivrice büz fabrikasında içme suyu olarak kullanılan sudan alınmıştır.

4.1.4. Agregası

Beton deneylerinde Elazığ-Çemişgezek kumu kullanılmıştır. Mevcut yıkama eleme tesisinde hazırlanmakta olan üç değişik agrega malzemesi mevcuttur. Bu agregalara ait granülometrik bileşimler, kil oranları , aşınma miktarları ve don kayıpları ayrı ayrı hesaplanarak tablolarda granülometrik bileşimleri verilmiştir. 1 Nolu (İnce) agrega numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir (TS 706).

Kil (%)’si Miktarı:

$$W_1 = 1218 \text{ gr. (İlk kuru ağırlık)}$$

$$W_2 = 1205 \text{ gr. (Son kuru ağırlık)}$$

$$\text{Kil (\%)} = \frac{1218-1205}{1218} \times 100 = \%1.1$$

Tablo 4.3. 1 Nolu Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim

Elek Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Geçen (%)
4	100
2	93
1	65
0.50	23
0.25	9
Kap	0

2 Nolu (Orta) agrega numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Tablo 4.4'de verilmiştir.

Kil (%)’si miktarı:

Bu agrega numunesinde kil tespit edilmemiştir.

3 Nolu (Orta) agrega numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Tablo 4.5’de verilmiştir.

Aşınma Kaybı (Los Angeles’e göre) (%)’si:

$W_1 = 5000$ gr. (İlk kuru ağırlık)

$W_2 = 4620$ gr. (100 devir sonraki kuru ağırlık)

$W_3 = 4030$ gr. (500 devir sonraki kuru ağırlık)

$$\text{Aşınma Kaybı (100 devir)} = \frac{5000 - 4620}{5000} \times 100 = \% 7.6$$

$$\text{Aşınma Kaybı (500 devir)} = \frac{5000 - 4030}{5000} \times 100 = \% 19.4$$

Tablo 4.4. 2 Nolu Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim

Elek Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Geçen (%)
8.0	100
4.0	46
2.0	6
1.0	0

Tablo 4.5. 3 Nolu Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim

Elek Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Geçen (%)
16.0	100
8.0	23
4.0	0

Kil (%)’si miktarı : Bu agrega numunesinde kil tespit edilmemiştir.

Don Kaybı (%)'si:

$W_1 = 978$ gr. (İlk kuru ağırlık)

$W_2 = 970$ gr. (Son kuru ağırlık)

$$\text{Don Kaybı (\%)} = \frac{978 - 970}{978} \times 100 = \%0.8$$

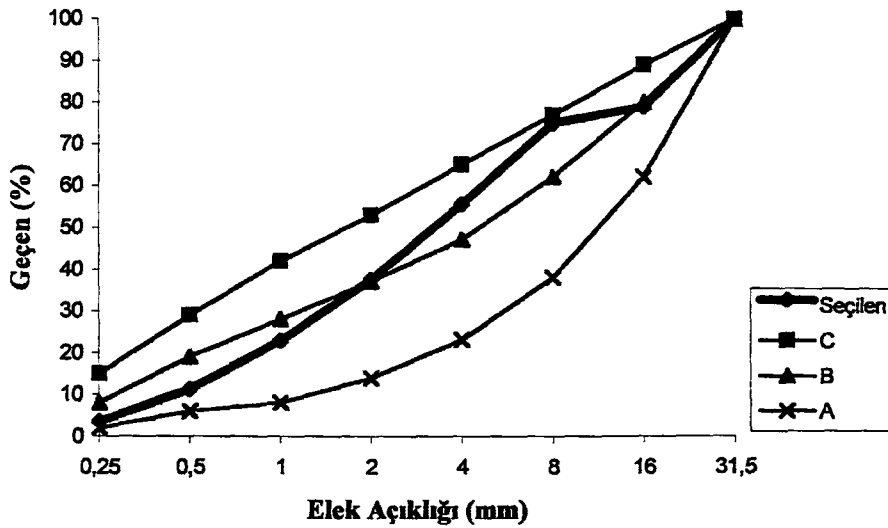
Mevcut agrega numunelerinde yoğunluk $\gamma = 2,70 \text{ kg/dm}^3$

Elazığ-Çemişgezek kum ocağına ait agreganın elek analiz sonuçları Tablo 4.6'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Elazığ-Çemişgezek Agregası Elek Analizi Sonuçları

Elek Göz Açıklığı (mm)	Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık (gr)	% Kalan	% Geçen
31.5	-	-	-	100.00
16.0	210.75	210.75	21.07	78.93
8.0	40.00	250.75	25.07	74.93
4.0	193.30	444.05	44.41	55.59
2.0	181.40	625.45	62.55	37.45
1.0	145.00	770.45	77.05	22.95
0.5	117.00	887.45	88.75	11.25
0.25	77.55	965.00	96.50	3.50
Toplama Kabı	35.00	1000.00	100.00	-

Deneylerde kullanılan üç agreganın granülometri eğrisi şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Elazığ-Çemişgezek Agregası Granülometri Eğrisi

4.1.5. Su/Çimento oranı

Bütün karışımlarda kullanılan su/çimento oranı W/C olarak ifade edilmiştir. W/C oranı, en elverişli durumda karışım ve karıştırıcıyı çalıştırmak için 0.39 olarak alınmıştır. Fakat beton borularda lif oranı arttıkça su emme miktarı arttığından bu artış oranında su miktarı arttırılmıştır. Bu oran 0.48'e kadar çıkarılmıştır.

4.1.6. Karışım oranı ve hesabı

Karışımlarda; Çimento, 1 nolu, 2 nolu ve 3 nolu agrega, cam lifi ve su kullanılmıştır. Bütün karışımlarda ağırlıkça %0, 0.2, 0.4 ve %0.6 oranında cam lifi kullanılmıştır. W/C oranı lif oranına bağlı olarak 0.39-0.48 arasında tutulmuştur. Deneylerde kullanılan malzeme oranları % olarak Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Beton Karışım Oranları

Malzemenin Adı	Karışımındaki Miktarı (%)
1 Nolu Agrega	24.1
2 Nolu Agrega	31.9
3 Nolu Agrega	16.3
Çimento	19.9
Su	7.8
Cam Lifi	0.2-0.4-0.6

5. CAM LİFLİ BETON NUMUNELERİ ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER ve SONUÇLARI

5.1. Basınç Dayanımı

5.1.1. Giriş

Betonların basınç mukavemetlerini tayin etmek için küp veya silindir şeklindeki numuneler kullanılır. Genel olarak yapıda imal edilen her 50 m³ beton için en az üç deney numunesi hazırlanarak bunların 7 veya 28 günlük basınç mukavemetleri tayin edilir.

Basınç deneylerinde bulunan neticelerin birbiri ile mukayese edilebilmesi ve mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın değerlerin elde edilebilmesi için bazı şartların gerçekleşmesi gerekir. Bunlardan en önemlisi betonun yüzeyi ile aletin tablası arasında iyi bir intibakın sağlanmasıdır. Bu bakımdan küp şeklindeki numunelerin hazırlanmasında çelik veya metal kalıplar kullanılmalıdır. Bu kalıplara dökülen betonun yan yüzleri, gayet düzgün olan kalıp yüzeyi ile temasta olmasının bir sonucu olarak, son derece düzgündür. Deney esnasında kuvvet bu yan yüzeylere dik doğrultuda uygulanmak sureti ile yapılır. Bu durumda gayet düzgün olan yan yüzeyler aletin tablasına iyi bir şekilde intibak eder veya beton yüzeyinin her noktası tabla ile temas halinde bulunur. Böylelikle deney esnasında bir gerilme yığılması meydana gelmeden mukavemet tayin edilir. Küp şeklinde beton numunelerinin hazırlanmasında ahşap kalıpların kullanılması doğru değildir. Bu kalıpların kullanılması halinde beton yüzeylerinde düzgünlük sağlanmadığında mukavemetin düşmesine yol açar.

Basınç kuvvetleri altında betonun davranışını açığa vuran bir karakteristik de gerilim-deformasyon diyagramıdır. Kısa süren yükleme sonunda elde edilen bu diyagram deney tekniği bakımından iki değişik tekniğe göre elde edilir. Metotlardan biri deneyin gerilmenin sabit bir hızla artırılarak yapılması, diğerinin ise deformasyon hızı sabit tutulmasını sağlayacak şekilde kuvvetin artırılarak deneyin yürütülmesidir. Sabit gerilme hızıyla yapılması halinde yani belirli bir sürede gerilmenin hep aynı miktarda artırılması

halinde kırılma durumuna yaklaştıkça boyuna ve enine deformasyon artış hızları artmaktadır. Başka bir deyişle bu yöntem ile yürütülen deneyde mukavemet değerine yaklaştıkça betonun iç yapısının değişme hızı büyümekte ve bunun sonunda da ani bir kırılma meydana gelmektedir. Deformasyon hızına sabit bir değer vererek yapılan deneylerde kırılmaya yakın durumlarda gerilmedeki artış azalmakta olduğundan ani kırılmalar önlenmekte ve böylelikle daha iyi sonuçlar elde edilmektedir (Postacıoğlu, 1987).

5.1.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Basınç dayanım deneyi için hazırlanan betonların karışım oranları TS 3114 esasına göre hazırlanmıştır. TS 3114 esasına göre hazırlanan taze beton 10X10X10 cm'lik küp kalıplara dıştan vibrasyon uygulanarak ve sarsma tablasına yerleştirilerek sıkıştırılmıştır. Laboratuarda hazırlanan deney numuneleri, deney anına kadar yaklaşık $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve doymuş rutubette kür odasında muhafaza edilmiştir. Burada bir tam gün bekletildikten sonra $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de değişmez sıcaklıktaki su tankına konulmuştur. Karışımlar 28 gün suda bekletildikten sonra çıkarılmış ve 2 gün oda şartlarında kurutulduktan sonra deneye tabi tutulmuştur.

TS 3114 esasına göre beton karışımlarına kuvvet uygulanması, numune basınç presi aletinin tablaları arasına yerleştirildikten ve tablaların, numunenin alt ve üst yüzüne iyi bir şekilde oturması sağlandıktan sonra başlanmıştır. Bu şartlar altında yürütülen deneyde, basınç presi makinası, beton numunesinin taşıyabileceği maksimum kuvvete ulaştığı anda (Pk) yüklemeye otomatik olarak son vermiştir. Değişik lif oranlarında hazırlanmış küp numunelerinin kırılma yükleri ve bunlara bağlı olarak bulunan basınç dayanımları Tablo 5.1'de verilmiştir. Kırılma yüklerine göre basınç dayanımı değerleri (BD) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

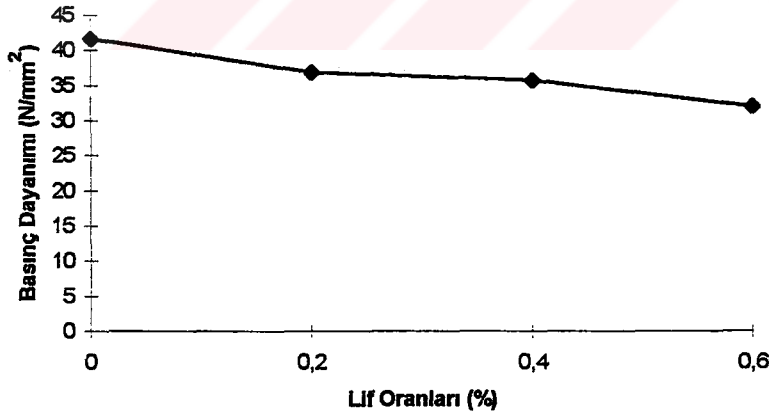
$$BD = \frac{Pk}{A}$$

Tablo 5.1. Cam Lifli Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Numune No	Lif Oranı (%)	Kırılma yükleri (28 Günlük) (N/mm ²)			Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol (%)
K	-	41	41.2	42.5	41.57	100
L2	0.2	36	36	38.5	36.83	88.6
L4	0.4	37	35	35	35.67	85.8
L6	0.6	30	32	34	32.00	76.98

5.1.3. Tartışma

Cam lifli betonlar üzerinde yapılan basınç deneyinde Tablo 5.1’de de görüldüğü gibi lif oranı arttıkça basınç dayanımında azalma olmaktadır. Bunun sebebini ise şuna bağlamak mümkündür; cam lif katkılı numunelerde boşluk oranının fazla olması ve karışıma katılan liflerin, beton içerisinde daha fazla su emmesi ve daha az homojen olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.1’de lif oranlarına bağlı olarak basınç dayanımlarının değişimi görülmektedir.



Şekil 5.1. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Basınç Dayanımlarının Değişimi

5.2. Cam Lif Katkılı Betonların Donma-Çözülme Tesirleri Altında Davranışı

5.2.1. Giriş

Betonlar çeşitli doğa tesirlerine maruz kalmaktadır. Bunların içinde en etkilisi donma çözülmedir. Zira, malzeme boşluklarına dolan su (-) sıcaklıklardaki hava şartlarında donarak hacimce genleşme ve iç gerilmeler meydana getirir, sonuçta betonda fiziksel bozukluklar, basınç dayanımında azalmalar olur.

Bir betonda don olayı önce betondaki iri boşluklarda başlar. Zira suyun donma derecesi boşluk boyutları küçüldükçe azalmaktadır. Büyük boşluklarda başlayan donma olayı küçük boşluklara doğru gelişir ve bunun sonunda da kılcal boşluklardaki su donmaya başlar. Jel boşlukları çok küçük olduğundan buralarda buz kristalleri oluşmaz. Bu kapiler kanalcıklarda suyun donabilmesi için sıcaklık derecesinin -78°C 'nin altına düşmesi gerekir. Bu donma ve çözülme olaylarının tekrarlanması ve donan suyun hacmini donma sıcaklığına bağlı olarak %9'lara kadar varan artışlar ve bunun sonucunda da iç gerilmelerin olması betonu yıpratır.

Betonun, içinde oluşan buzun basınç dayanımından parçalanarak zarar görmemesi gerekir. Donma olayı sonunda buzda meydana gelen basınç gerilmesi, buzun zati basınç dayanımına erişir ve bundan büyük değerlere ulaşırsa, buz parçalanarak su haline dönüşür ve donma olayının zararlı etkisi ortadan kalkar. Bunun için, betonun alacağı mukavemetin buzun mukavemetinden fazla olması gerekir (Postacioğlu, 1987). Burada en büyük etken; beton yapımında uygulanan yöntem ve teknikler ile kullanılan malzemeler olup özellikle çimentonun niteliği, içerisine katkı maddesi katılıp katılmadığı, katıldı ise miktarı ne kadardır. Donma-çözülme olayının etki derecesine bağlı olarak seçilecek malzemelerin cins ve miktarları büyük önem arz etmektedir (Oymael, 1995).

Araştırmanın amacı, içerisine belli oranlarda cam lifler katılmış betonların donma-çözülmeye karşı davranışını ortaya koymaktır. Bu düşünceden hareketle cam lifler

katılarak hazırlanmış 10cm'lik küp beton numunelerin TS 3449'a göre donma-çözülme zorlamaları altında davranışları incelenmiştir.

5.2.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Cam liflerin betonda kullanımı konusunda yapılan çalışmalar arasında, donma-çözülme dayanımına olan etkilerinin hiç araştırılmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu tür liflerle üretilecek betonların, bu olaydan nasıl etkileneceğini görmek açısından bu çalışma araştırmacılara bir fikir verecektir.

Beton karışım dizaynında su miktarları DYK agregası esas alınarak yapılmıştır. Deneyde beton karışımına %0, 0.2, 0.4 ve %0.6 oranlarında cam lifler katılarak numuneler hazırlanmıştır.

Hazırlanan numuneler 10 cm'lik küp numuneler halinde dökülmüştür. Bu numuneler su içinde (+22°C) sıcaklıkta 28 gün kür süresini doldurduktan sonra donma-çözülme deneyine tabi tutulmuştur.

Deneylerde numuneler önce değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde 110°C'de kurutulur. Etüvden çıkartılıp uygun bir desikatöre (kap) konularak oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0.1 g hassasiyetle tartılarak (W_0) bulunur. Bu şekilde kurutulmuş olan deney numuneleri normal atmosfer şartlarında suya doygun hale getirilir ve soğuk hava dolabına konulur.

Soğutma hızı yaklaşık 4 saat zarfında -20°C'ye düşecek şekilde ayarlanır. Soğuk hava dolabı sıcaklığının -20°C'a düştüğü gözlemlendikten sonra, yaklaşık 2 saat bu sıcaklıkta bekletilen deney numuneleri bu süre sonunda soğuk hava dolabından çıkarılarak içinde 20°C sıcaklıktaki su içine, tamamen su altında kalacak şekilde daldırılır ve en az 3 saat bekletilerek buzların tamamen erimesi sağlanır. Sonra tekrar soğuk hava dolabına konulur ve -20°C'a kadar soğutulur.

Bu şekilde donma-çözülme işlemi 25 kez tekrarlanan deney numuneleri sonunda 110°C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup desikatörde soğutulduktan sonra 0.1 g duyarlıkta tartılır (W_n).

Deneyin birinci kısmında ağırlık kaybına yönelik dayanıklılık faktörünün (AF_w) bulunmasına esas olan bir çalışma yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bulunan donma-çözülme sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir.

5.2.3. Tartışma

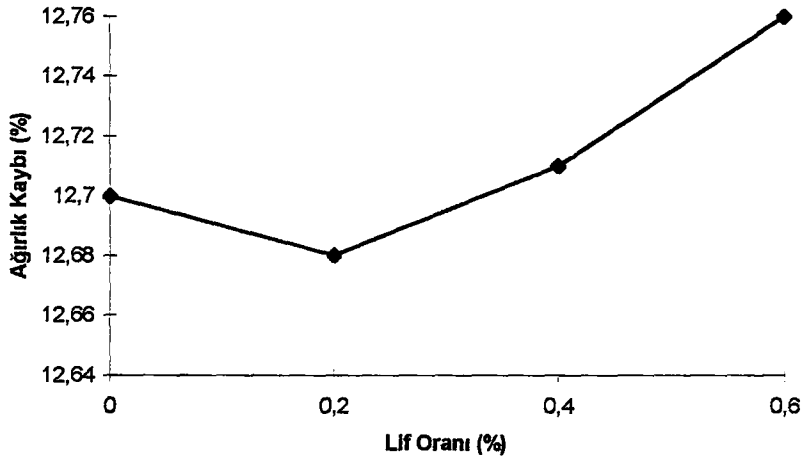
Donma etkisinin incelenmesi, bu tür araştırmalarda pek görülmeyen bir incelemedir. Yapılan deneyler sonucunda 25. donma-çözülme periyoduna ulaşana kadar numunelerde fazla bir değişiklik görülmediği fakat 25. donma-çözülme çevrim sonra numunelerde kopmalar başlamıştır.

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 görülmüştür.

Ama %0.2 lif oranında az da olsa donma-çözülme miktarının azaldığı görülmektedir. Şekil 5.2’de lif oranlarına bağlı olarak donma-çözülme miktarlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 5.2. Lif Katkılı Betonların Donma-Çözülme Deney Sonuçları

Numune No	Lif Oranı (%)	Kuru Ağırlık (kg)	Son Ağırlık (kg)	Ağırlık Kayıpları (%)
K	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



Şekil 5.2. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Donma-Çözülme Miktarlarının Değişimi

Bu sonuçlardan hareketle donma-çözülme olayının ön planda olduğu durumlarda % 0.2'den daha fazla lif kullanılmamasının uygun olacağı yapılan deneyler neticesinde belirlenmiştir.

Donma-çözülme deneyi 1 yıllık numuneler üzerinde de yapılmıştır. Toprak altında bırakılan beton borulardan alınan parçalar ile açıkta bırakılan borulardan alınan parçalar üzerinde donma-çözülme deneyleri yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.3'de verilen deney sonuçlarından da görüldüğü gibi her iki durumda da ağırlık kayıpları yönünden fazla bir fark yoktur. 28 günlük borularla karşılaştırıldığında; 1 yıllık boruların durabilitelerinde artış olduğu, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'de verilen deney sonuçlarından izlenebilir.

Tablo 5.3. 1 Yıllık Beton Parçaların Donma-Çözülme Deney Sonuçları

	Numune	Lif Oranı	Kuru Ağırlık	Son Ağırlık	Ağırlık Kayıpları
	No	(%)	(kg)	(kg)	(%)
Toprak	K	0	2460	2215	9.96
Altında	L2	0.2	2455	2214	9.82
Bekletilmiş	L4	0.4	2430	2190	9.88
Numuneler	L6	0.6	2440	2193	10.12
Açıktaki	K	0	2440	2205	9.63
Bekletilmiş	L2	0.2	2410	2182	9.46
Numuneler	L4	0.4	2415	2176	9.90
	L6	0.6	2425	2183	9.98

5.3. Sürtünme Yolu İle Aşınma Kaybı

5.3.1. Giriş

Beton yapılar kullanım yerlerine bağlı olarak önemli ölçüde aşınmaya maruz kalmaktadır. Bu aşınma; sürtünme, korozyon, darbe ve yorulma gibi etkilerin beton yüzeyinde ayrı ayrı veya birlikte oluşmaları sonucu zamanla meydana gelir (Postacıoğlu, 1987). Yollarda, hava meydanlarında ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan betonlar önemli derecede aşınma etkisi altında bulunmaktadır. Bu tür inşaatlarda betonun yeterli bir aşınma mukavemetine sahip olması halinde fazla aşınma sonunda beton tabakasının kalınlığı azalarak yapı elemanı işlevini göremez bir hal alır.

Betonun mekanik kuvvetleri arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Bundan dolayı beton, yapılarda daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılarak kullanılır. Bununla beraber bazı yapı çeşitleri vardır ki, buralarda beton, basınç yanında çekme, eğilme, çarpma ve aşınma gibi zorlamaların etkileri altındadır.

Betonda aşınma dayanımını arttırmak için metal agregaları ve çelik tozu gibi maddelerin kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada betonlara belli oranlarda cam lifi

katılarak aşınma dayanımı araştırılmıştır. Betonda aşınma kaybı farklı etkiler sonucunda meydana geldiği için genelde aşınma dayanımını belirleyen tek bir deney yöntemi yoktur. Ancak beton basınç dayanımı ile aşınma dayanımı arasında genel bir ilişki kurulabilmektedir.

Aşınma kaybının bulunuşu aşağıda belirtilen iki yöntemden biri ile yapılabilir.

Bunlar;

1. Böhme yöntemi,
2. Los Angles (Bilyeli Tambur) aşındırma yöntemi.

Bu çalışmada aşınma kaybının bulunuşu Böhme yöntemi ile yapılmıştır. Böhme yöntemi TS 699' a göre yapılmıştır.

5.3.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Betonda cam lifler kullanılarak sürtünme dayanımının tespiti ile ilgili herhangi bir çalışmanın yapılmadığı yapılan araştırmalar neticesinde görülmüştür. Bu nedenle bir deneysel çalışma yapılarak betona belli oranlarda cam lifler katılarak sürtünme yolu ile aşınma dayanımı araştırılmıştır.

Beton numunelere belirli oranlarda cam lifler katılarak elde edilen numuneler üzerinde Böhme metodu ile ve TS 2824' e uygun olarak aşınma kayıpları belirlenmiştir. Sonuçlar beton basınç dayanımları ve katkı yüzdeleri ile ilişkili olarak yorumlanmıştır.

Böhme metodu ile sertleşmiş betonlarda sürtünme yolu ile aşınma kaybı deneyi TS 699' a uygun olarak yapılmış olup, elde edilen sonuçlar TS 2824 esasına göre Tablo 5.3' de verilmiştir. Beton karışımlarından elde edilen 100 mm. boyutundaki kübik numuneler %90 bağıl nemde bir gün bekletildikten sonra 23°C sıcaklıktaki suda deney gününe kadar bekletilmiştir. Numuneler 28 günlük iken kesilerek 70 mm.'lik küpler haline getirilip deneye hazır duruma getirilmiştir.

Böhme aleti yaklaşık 750 mm. çapında bir disk, dakikada 30 devir dönmesini sağlayan bir motor, devir sayısını gösteren numaratör ve her 22 devir tamamlandığında motoru otomatik olarak durduran bir mekanizmaya sahiptir (Albayrak, 1985). Böhme aşındırma deneyi; numunelerin kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen azalmanın ölçülmesi suretiyle yapılır. Bu çalışmada sürtünme yolu ile aşınma kaybının bulunmasında, hacim azalmasının ölçülmesi tercih edilmiş ve sonuçlar buna göre değerlendirilmiştir. Bu amaçla hazırlanan 28 günlük numuneler yarı yüksekliklerine kadar 23⁰C'deki su içine batırılarak 1 saat bekletildikten sonra su seviyesi numunelerin üst yüzünden 20 cm. yukarıya çıkarılmış ve 24 saat süre ile bu konumda bırakılmışlardır. Bu süre sonunda beton numune Arşimed terazisinde tartılarak (A_{sa}) değeri bulunmuştur. Hemen sonra, numune yüzeyi havlu ile kurulanıp havada tartılarak (A_{dky}) değeri bulunmuştur. Bütün tartımlar 0.1 g. duyarlılıkta yapılmıştır. Numune hacimleri;

$$H_0 = A_{dky} - A_{sa}$$

olarak hesaplandıktan sonra, numuneler oda sıcaklığında %50 bağıl nemli ortamda 48 saat süre ile bekletilerek havada kurutulmuşlardır. Böhme cihazının sürtünme şeridine 20 g. standart zımpara tozu serpildikten sonra numune yerleştirilmiş ve çelik manivela aracılığı ile yükleme koluna 6 kg. yüklenerek disk harekete geçirilmiştir. Toplam 352 devir sonunda numune orta sertlikte bir kıl fırça ile temizlenmiş ve yine 0.1 g. duyarlılıkta tartılarak son hacmi (H_s) bulunmuştur. Sürtünme yolu ile aşınma kaybı (AK), yüzey alanı (A) olan bir numune için:

$$AK = \frac{(H_0 - H_s)}{A} \times 50 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$$

olarak hesaplanmıştır.

AK : Ağırlık kaybı cm^3/cm^2

H_0 : Aşınma öncesi numune hacmi (cm^3), ($A_{dky} - A_{sa}$)

A_{sa} : Su emme deneyine tabi tutulmuş numunelerin Arşimed terazisinde ağırlığı (g.)

A_{dky} : Arşimed terazinde ağırlığı bulunan numunelerin DYK halde havada ağırlığı (g.)

H_s : Aşınma peryotları sonunda numune hacmi (cm^3)

A : Numunenin aşınma yüzeyi alanı (50cm^2)

Deney sonuçları her beton karışımından 6 numunenin ortalaması alınarak bulunmuştur.

Bulunan sonuçların ortalaması Tablo 5.4’de verilmiştir.

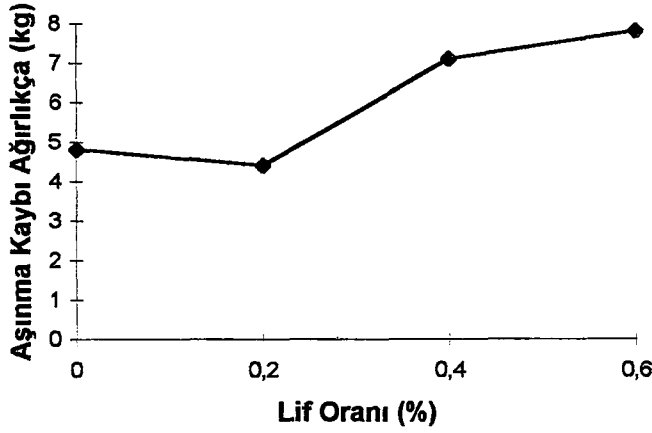
5.3.3. Tartışma

TS 2824’e göre sürtünme yolu ile aşınma kaybı değeri 50 cm^2 ’de ortalama 13 cm^3 ’den fazla ise beton aşınmaya karşı mukavemetsiz kabul edilir (TS 2824, 1989). Bu değerlendirmeye göre Tablo 5.4’deki (AK) sonuçlar deneylerde kullanılan bütün beton karışımlarının aşınmaya karşı dayanıklı olduklarını göstermektedir.

%0,2 lif katkılı numunelerin aşınma kaybı azalırken diğer lif oranlarında aşınma kaybı artmaktadır. Lif oranlarına bağlı olarak aşınma kaybının değişimi Şekil 5.3’de görülmektedir.

Tablo 5.4. Cam Lif Katkılı Betonlarda Sürtünme Yolu İle Aşınma Kaybı

Numune No	Lif Oranı (%)	A (cm^2)	H_0 (cm^3)	H_s (cm^3)	AK ($\text{cm}^3/50\text{ cm}^2$)	Kontrol (%)
K	0	49.2	271.2	266.5	4.8	100
L2	0.2	49.2	268.1	263.8	4.4	92
L4	0.4	49.3	267.3	260.3	7.1	148
L6	0.6	49.3	268.2	260.5	7.8	163



Şekil 5.3. Cam Lifin Betonlarda Sürtünme Yolu İle Aşınma Kaybına Etkisi

Sonuç olarak cam lifi betonlarda katkı maddesi olarak kullanıldığında sürtünme yolu ile aşınma kaybı %0.2 lif oranına kadar azalmakta diğer lif oranlarında ise artmaktadır. Yani netice olarak cam lifin beton borularda da kullanılması aşınma yönünden problem teşkil etmeyecektir.

5.4. Eksenel Çekme Dayanımı

5.4.1. Giriş

Betonun basınç dayanımına nazaran çok düşük eğilme ve dolayısıyla çekme dayanımına sahip olması, araştırmacıları bu konuda betonu iyileştirme yoluna itmiştir. Büyük betonarme kütlelerde bu eksik dayanım, betona çelik donatılar atılarak giderilmekle beraber, kalınlığı boyuna göre çok küçük olan elemanlarda bu mümkün olmamaktadır. Bu nedenle beton endüstrisinde, lifli beton üretimi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Son zamanlarda beton teknolojisine; çelik, cam ve bazı plastik lifleri içeren bir beton takviye sınıfı girmiştir. Bu yeni malzemenin üretiminde geçen 20 yılda epeyce büyük araştırmalar ve gelişmeler olmuştur. Bu alanda ilk olarak asbest lifleri kullanılmıştır. Asbest elyafının çimento matriksi içindeki depolanması, ince duvarlı enine

kesit üzerine eşit ölçülerde yayılmış demir aksamının depolanması gibi kavranılabilir. Bu asbest çimentosundan oluşan inşaat malzemesi 1900 yıllarında Avusturya'da Ludwig Hatschek tarafından bulunmuştur. En önemli uygulamaları, öncelikle 1950 ile 1980 yılları arasında yüksek inşaatları örtme ve dış duvar kaplamalarında olmuştur.

Daha sonra asbestin uygun olmayan kullanımlarda kanser yapıcı ince tozlar taşıdığı ortaya çıkınca, Elyaf Çimento endüstrisi, 70'li senelerden beri büyük harcamalar yaparak asbestli elyaf çimentonun yerini alabilecek maddeleri araştırmıştır.

Bu alanda kullanımı en çok araştırılmış olan lifler; demir, cam, polipropilen ve karbon lifleridir. Bu takviye malzemelerinin betonun çekme gerilmesini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Bu çalışmada ise cam liflerinin betonun çekme dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

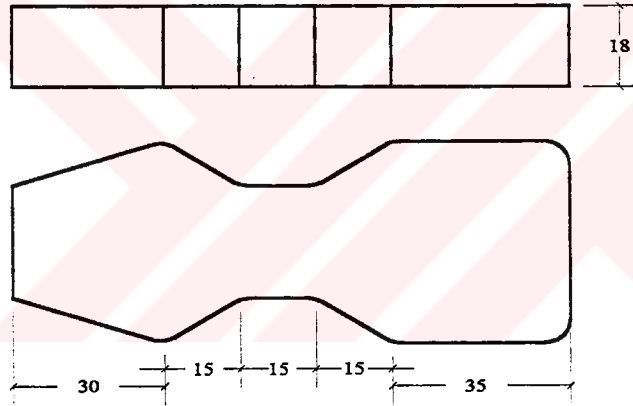
Çekme gerilmesinin, dolayısıyla eğilme dayanımının yüksek olması veya iyileştirilmesi için, tahmin edileceği gibi elemanın içerisinde çekme gerilmesini taşıyacak takviyelerin olması gerekmektedir. Bu lifler, beton içerisine uygun olarak karıştırıldıkları zaman kırılgan olan beton ile iyi bir aderans sağlayıp betonun eğilme dayanımını arttırmaktadır. Betona sünek bir yapı kazandırmakta ve betonun kırılgan yapısını iyileştirmektedir.

5.4.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Eksenel çekme dayanımı için önceden belirlenmiş karışım oranları alınarak karışım hazırlanmıştır. TS 3114 esasına göre hazırlanan beton hamuru çekme deneyi kalıbına yerleştirilerek sarsma tablasında sarsıldıktan ve üzeri düzeltildikten sonra $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki kür odasında %90 bağıl nemde koruma altına alınır. Burada bir tam gün bekletildikten sonra $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de değişmez sıcaklıktaki su tankına alınır. Numuneler 28 gün suda bekletildikten sonra sudan çıkarılır ve 2 gün oda şartlarında kurutulduktan sonra deneye tabi tutulur.

Numuneler çekme makinasının çeneleri arasına yerleştirilir ve arada boşluk kalmayacak şekilde ayarlandıktan sonra çekme işlemine başlanır. Dakikada 100 kg'lık çekme kuvveti uygulayan makinarya, numunedeki boy değişimini gözlemek için Kumparatör bağlanır ve 10 kg'da bir boy değişimi okunarak kaydedilir. Makina nihai çekme dayanımına ulaştığı an durur ve böylelikle numunenin taşıyacağı maksimum çekme kuvveti (Ç_k) hesaplanır. Çekme deneyinde kullanılan kalıbın ebatları Şekil 5.4'de verilmiştir.

Hazırlanan numuneler 28 gün sonra deneye tabi tutulmuş ve bulunan çekme dayanımları hesaplanarak Tablo 5.5'de verilmiştir. Bu değer $\sigma_{\text{çg}} = \text{Ç}_k / A$ formülünde yerine yazılarak kesitin taşıdığı maksimum çekme gerilmesi bulunmuş olur.



Şekil 5.4. Eksenel Çekme Deneyi İçin Kullanılan Kalıbın Ebatları (mm)

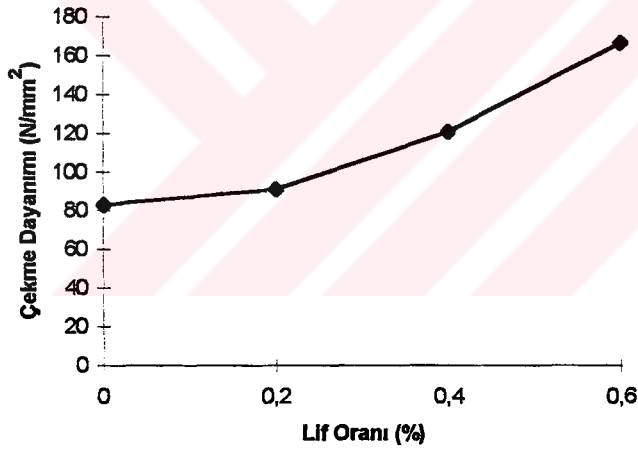
Tablo 5.5. Cam Lifli Beton Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları

Numune No	Lif Muhtevası (%)	Çekme Kuvveti (28 Günlük) (kg)			Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol (%)
K	-	820	860	800	1.78	100
L2	0.2	1090	780	860	1.91	110
L4	0.4	1400	1200	1020	2.27	146
L6	0.6	1350	1840	1800	4.00	201

5.4.3. Tartışma

Eksenel çekme gerilmesi, eğilme mukavemeti kadar önemli olmasa da, numunenin göstereceği özellikler hakkında bilgi elde etmek için önemlidir. Eksenel çekme gerilmesinde de eğilmede olduğu gibi, lif oranı arttıkça çekme gerilmesi ve deplasman artmaktadır. Lif oranının artmasıyla Tablo 5.5’de görüldüğü gibi %100’lere varan bir artış sağlanmıştır. Lif oranlarına bağlı olarak eksenel çekme gerilmesinin değişimi Şekil 5.5’de verilmiştir. Ayrıca lif oranlarına bağlı olarak numunelerdeki uzama miktarlarının değişimi de Şekil 5.6’da görülmektedir.

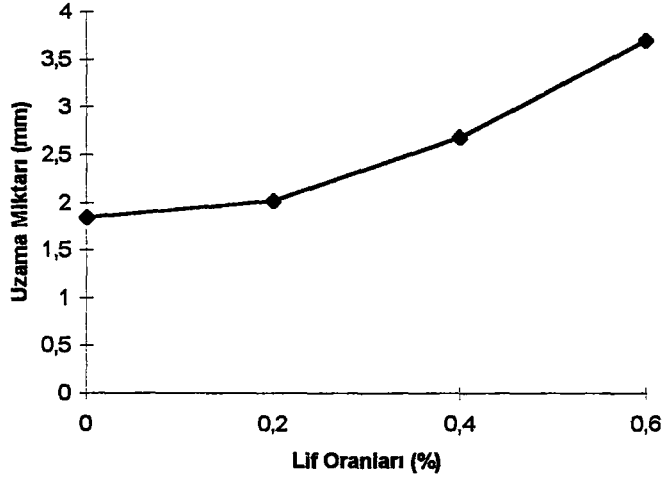
Çekme deneyi altında numunelerde meydana gelen uzamalar ölçülmüş ve bulunan sonuçlar Tablo 5.6’da gösterilmiştir. Tablodaki değerlerden de görüldüğü gibi lif oranı arttıkça numunelerdeki uzamalar da büyük bir oranda artmaktadır.



Şekil 5.5. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Eksenel Çekme Dayanımlarının Değişimi

Tablo 5.6. Çekme Deneyi Altında Uzama Miktarları

Numune No	Lif Muhtevası (%)	Uzama Miktarı (mm)
K	-	1.84
L2	0.2	2.02
L4	0.4	2.68
L6	0.6	3.7



Şekil 5.6. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Numunelerde Meydana Gelen Uzama Miktarlarının Değişimi

Sonuç olarak cam lif katkılı betonlarda lif oranının çekme dayanımı üzerinde çok önemli katkısının olduğu görülmüştür. Beton borularda kullanılmasının çok önemli avantajlar sağlayacağı ve faydalı olacağı tespit edilmiştir.

5.5. Cam lifli malzemelerin çekme dayanımı için alternatif bir çözüm

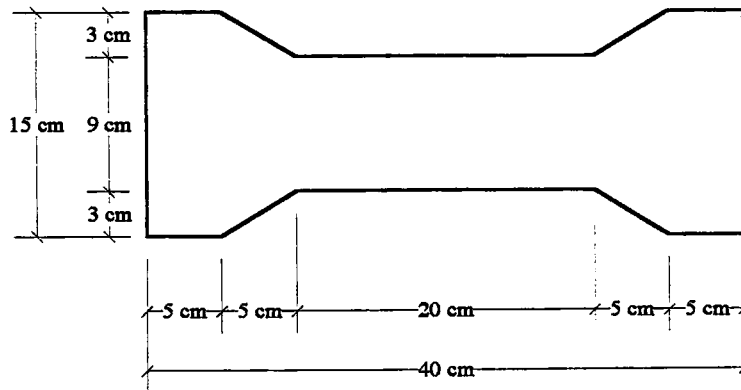
5.5.1. Giriş

Bundan önceki eksenel çekme dayanımı deneyinde kullanılan deney kalıbının ebatları çok küçük olduğu için, deneyde kullanılan bütün agregaların kullanılması mümkün olmamıştır. Eksenel çekme deneyinde sadece 1 nolu agregaya kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu da sonuçların karşılaştırılması açısından doğru olmamaktadır. Bunun için cam lifli beton numunelerinin çekme dayanımını bulmak için alternatif bir çözüm geliştirilmiştir.

5.5.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

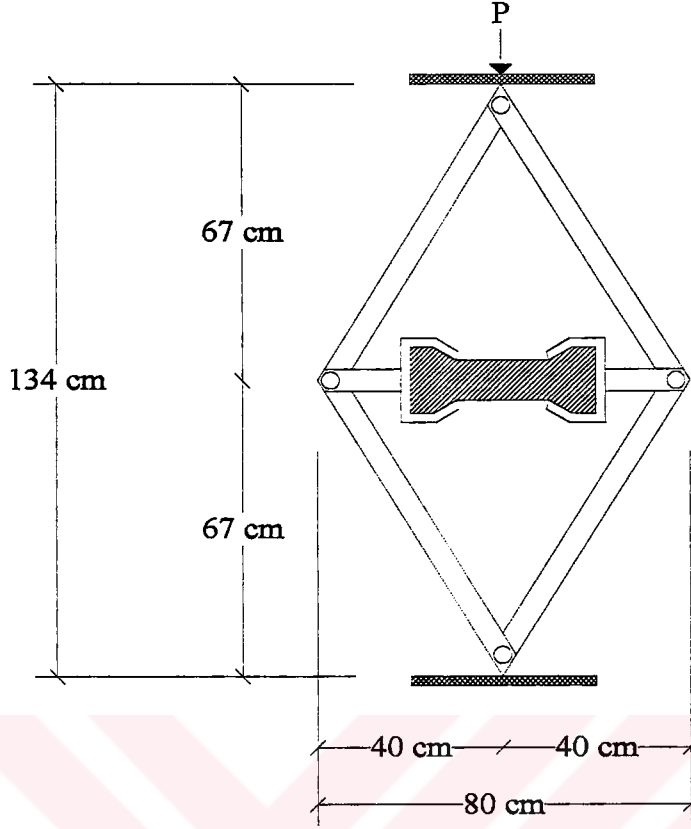
Çekme dayanımı için TS 3114 esasına göre hazırlanan beton hamuru Şekil 5.7’de ölçüleri verilen kalıplara yerleştirilerek sarsma tablasında sarsıldıktan ve üzeri düzeltildikten sonra 23 ± 2 °C’deki kür odasında %90 bağıl nemde koruma altına alınır. Burada bir tam gün bekletildikten sonra 23 ± 2 °C’de değişmez sıcaklıkta su tankına alınır. Numuneler 28 gün suda bekletildikten sonra sudan çıkarılır ve 2 gün oda şartlarında kurutulduktan sonra deneye tabi tutulur.

Numuneler Şekil 5.7’de görüldüğü gibi özel olarak hazırlanmış deney setine yerleştirilir ve arada boşluk kalmayacak şekilde ayarlandıktan sonra basınç presi altında yük verilerek çekme işlemine başlanır. Yükleme esnasında her numunenin yapmış olduğu uzama kumparatörlerle ayrı ayrı ölçülür ve bu değişimler ölçülerek kaydedilir. Makine nihai çekme kuvvetine ulaştığı an (numune yük almayıp koptuğu an) durur ve böylelikle numunenin taşıyacağı maksimum çekme kuvveti hesaplanır (σ_k) hesaplanır. Bu değer $\sigma_{\text{eg}} = \sigma_k / A$ formülünde yerine yazılarak kesitin taşıdığı maksimum çekme gerilmesi bulunmuş olur. Şekil 5.7’de eksenel çekme deneyinde kullanılan kalıbın ebatları ve şekli verilmiştir. Diğer deneylerde kullanılan karışım oranlarının aynı miktarları bu deney için de kullanılmıştır. Bu şekilde yapılan deney tekniğinin eksenel çekme deneyinden farkı çekme olayının direkt olmayışıdır. Bu deneyde çekme olayı basınç etkisi altında gerçekleşmektedir. Deneyin yapılışı ve deney aleti Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Kalıbın derinliği 10 cm'dir.

Şekil 5.7. Eksenel Çekme Deneyi İçin Kullanılan Kalıbın Ebatları



Şekil 5.8. Eksenel Çekme Deneyi İçin Özel Olarak Yapılmış Deney Aleti

Yapılan deneyler neticesinde basınç presi altında meydana gelen yüklerden faydalanarak çekme yükleri bulunmuştur. Daha sonra bu değerler kesit alanına bölünerek çekme dayanımları hesaplanmıştır. Bulunan dayanımlar ve uzama miktarları Tablo 5.7’de verilmiştir.

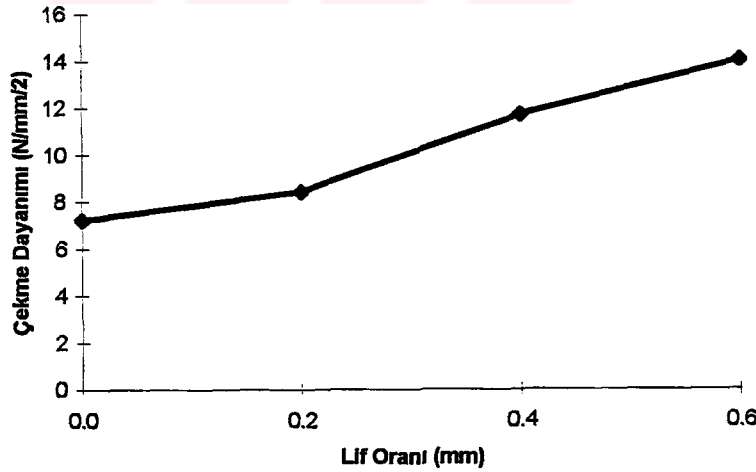
Tablo 5.7. Basınç Etkisi Altında Betonda Meydana Gelen Çekme Dayanımı
Deney Sonuçları (28 Günlük)

Lif Oranı (%)	Kopma Yükleri (kg)			Ortalama Yük (kg)	Çekme Yükleri (kg)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama Miktarları (mm)	Artış Oranı (%)
-	2400	2500	2300	2400	1442	7.21	1.84	-
0.2	2700	2800	2900	2800	1682	8.41	2.02	16.64
0.4	4000	3900	3800	3900	2343	11.72	2.68	62.55
0.6	4600	4680	4700	4660	2808	14.04	3.70	94.74

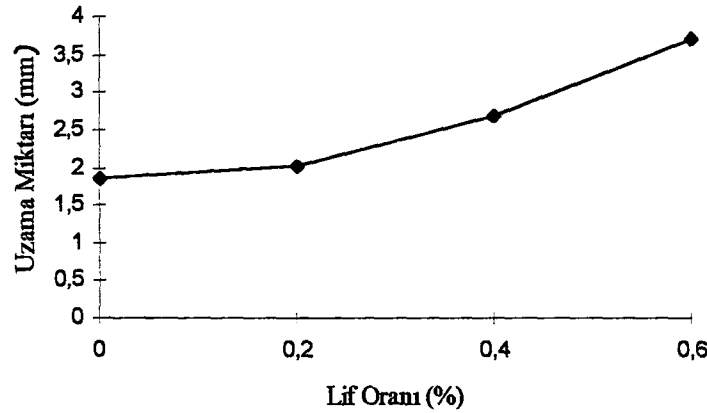
5.5.3. Tartışma

Eksenel çekme gerilmesi numunenin göstereceği özellikler hakkında bilgi elde etmek için önemlidir. Eksenel çekme gerilmesinde lif oranı arttıkça çekme gerilmesi ve deplasman artmaktadır. Tablo 5.6’da da görüldüğü gibi lif oranı %0.6’ya çıkarıldığında çekme gerilmesi %94.74 oranında artmaktadır. Lif oranlarına bağlı olarak çekme dayanımlarının değişimi Şekil 5.9’da görülmektedir.

Lifli beton numunelerde lif oranı arttıkça numunelerdeki uzama miktarı da artmaktadır. Çünkü lifler beton içerisinde bir nevi donatı görevi yaptığı için numunelerdeki kopma dayanımını da arttırmaktadır. Basit olarak lif oranlarına bağlı olarak uzama miktarlarının değişimi Şekil 5.10’da gösterilmektedir. Sonuç olarak çekme dayanımının çok önemli olduğu yerlerde cam liflerinin kullanılması iyi sonuçlar vereceğinden kullanılmasının çok uygun olacağı tespit edilmiştir.



Şekil 5.9. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Çekme Dayanımının Değişimi



Şekil 5.10. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Uzama Miktarlarının Değişimi

5.6. Eğilme Dayanımı

5.6.1.Giriş

Eğilme dayanımı, cam lifli malzemenin araştırılmasında en önemli özelliktir. Çünkü betonun kullanımı, basınç gerilmelerine nazaran çok küçük çekme gerilmesine sahip olması nedeni ile sınırlandırılır. Bu eksik sertlik nispeten düşük çekme kırılma gerilmesinin bir sonucudur. Bu nedenle takviye sağlanmazsa, çekme kırılması gevrek ve ani bir şekilde olabilir.

Betonun bu eksik dayanımı, genellikle çekme gerilmesini taşımak için betona yerleştirilen çelik çubuklar ile veya ön germeli elemanların teşkili ile giderilmeye çalışılır. Hiçbiri betonun sahip olduğu özellikleri değiştirmez, fakat betonun veya çeliğin tek başına kullanımının imkansız veya ekonomik olmayacağı durumlarda kullanılacak kompozit malzemeler bunu mümkün kılabilir.

Bu araştırmada kullanılan cam lifi, beton içerisinde homojen yayılmış donatı aksamı gibi çalışıp, beton içerisinde üç boyutlu bir mikro donatı vazifesi görmüştür, ve betonun eğilme dayanımını önemli ölçüde arttırmıştır.

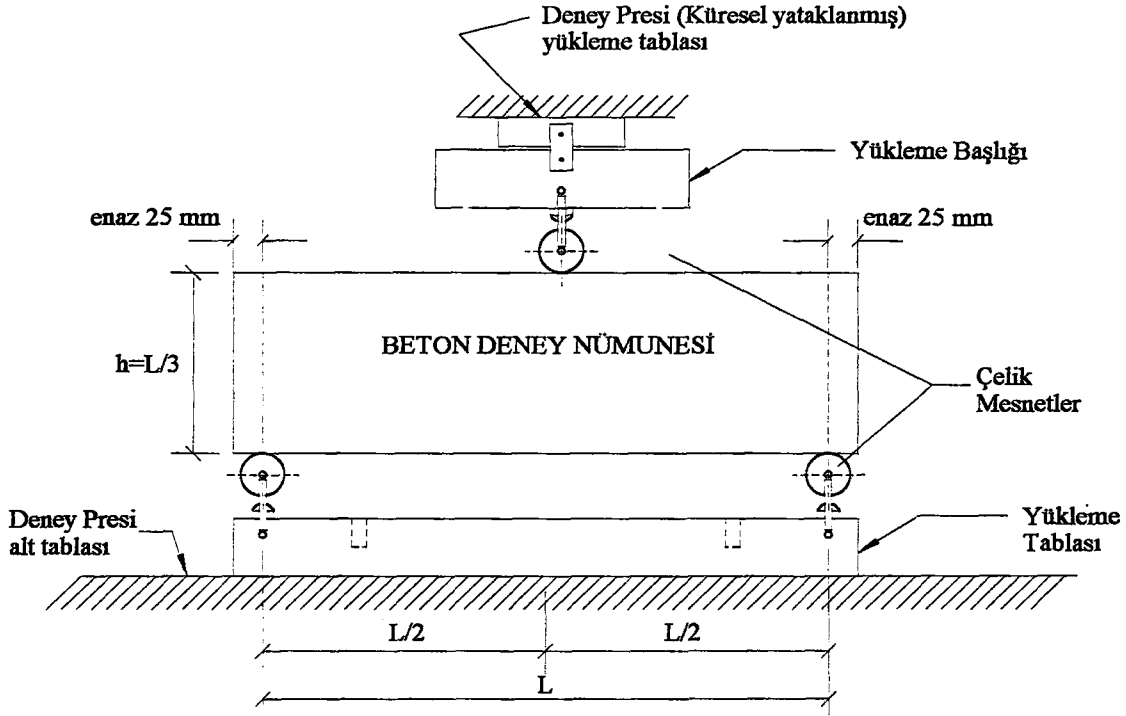
Bu araştırmada eğilme dayanımı iki mesnetli ve tek mesnetli olmak üzere iki durumda yapılmıştır. Her iki durum içinde eğilme dayanımları bulunmuş ve karşılaştırılmıştır.

5.6.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

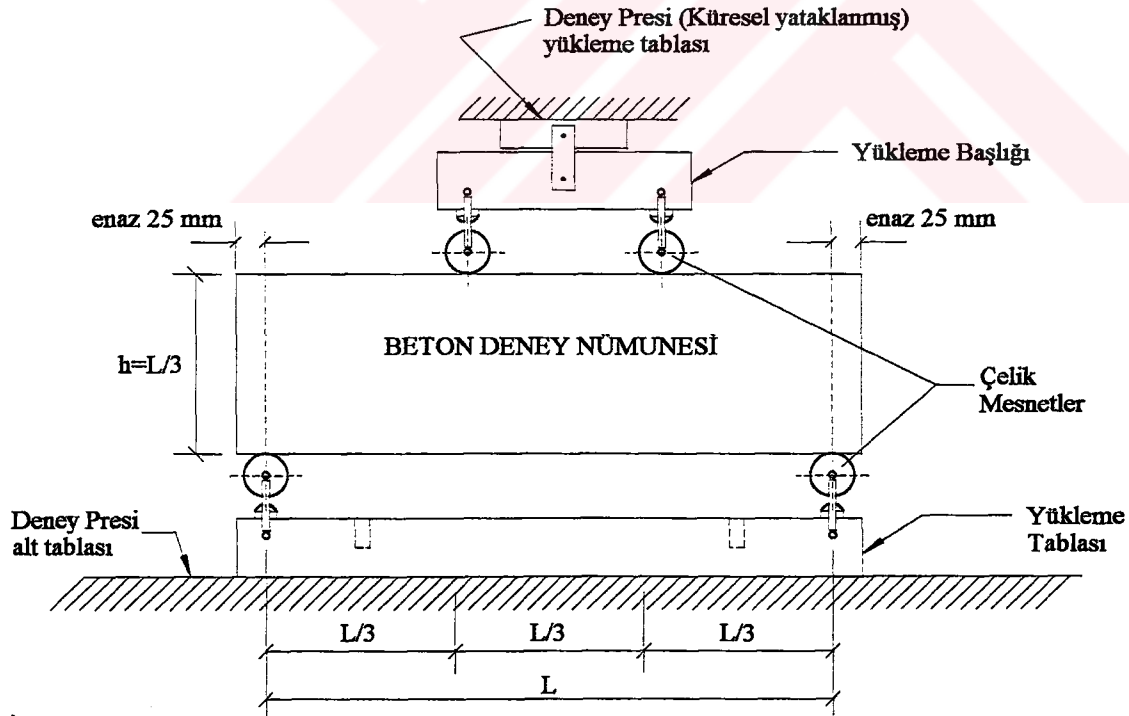
Deneyde kullanılacak numuneler TS 2940'a göre alınmış ve TS 3068'e göre hazırlanmış ve bakımı yapılmıştır. Eğilme dayanımında lif oranına bağlı olarak sürekli bir artış gözlendiği için lif oranı %0.6'ya kadar arttırılmıştır. Hazırlanan beton harcı 10x10x50 cm ebadındaki prizmatik kalıplara yerleştirilmış ve sarsma tablasında, numunede boşluk kalmayacak şekilde sarsılmış ve sıkıştırılmıştır.

Daha sonra bu numuneler su tankına konulmak üzere $23\pm2^{\circ}\text{C}$ 'deki kr odasında %90 bağlı nem altında bekletilmıştir. Burada tam bir gün bekletildikten sonra, $23\pm2^{\circ}\text{C}$ 'de değişmez sıcaklıktaki su tankına alınır. Numuneler 28 gün suda bekletildikten sonra sudan çıkarılır ve 2 gün oda şartlarında korumaya bırakılır. İki gün sonunda numuneler, TS 3285'e ve ASTM (C-190) standardına uygun olarak deneye tabii tutulur.

Numuneler şekil 5.11 ve şekil 5.12'de tek ve üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kirişin yükleme başlığı ve yükleme tablası durumu görülmektedir. Yükleme tablası ve yükleme başlığındaki mesnet silindirleri, deney uygulanacak numunenin boyuna uygun yataklara oturtulur. Numunenin kalıp içerisinde iken üste gelen yüzünün, deney sırasında uygulanacak yüklerin yönüne paralel olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 5.11. Eğilme Deneyinde Tek Noktadan Yüklenmiş Basit Kirişin Yükleme Başlığı ve Yükleme Tablası Durumu



Şekil 5.12. Eğilme Deneyinde Üçte Bir Noktalarından Yüklenmiş Basit Kirişin Yükleme Başlığı ve Yükleme Tablası Durumu

Deney esnasında deney numunesi ekseninin yatay olması sağlanmalı, yükleme yönü, numunenin yükleme uygulanan yüzeyine dik olmalıdır. Mesnetler arasındaki mesafelerin birbirine eşit olmasına dikkat edilir ve numunenin ortasından yükleme yapılabilmesi için silindir şeklinde bir demir parçası yerleştirilir.

Aletin presi demire tam oturacak şekilde indirilir ve numunenin orta noktasının yaptığı uzamayı hesaplamak için alete 0.001 mm hassasiyetinde bir kumparatör bağlanır. Bütün bu şartlar sağlandıktan sonra aletin yükleme hızı 75 kg/dakika'ya ayarlanır ve deneye başlanır. Basınç presi makinası, beton numunesinin taşıyabileceği maksimum kuvvete (Pk) ulaştığı anda yüklemeye otomatik olarak son vermektedir.

Bu arada yükleme yapıldığı esnada her 25 kg'da bir numunenin yaptığı uzama Kumparatör'den okunarak kaydedilir ve nihai basınç kuvveti (Pk) tespit edildikten sonra numunenin Eğilme Dayanımı (σ_e) aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\sigma_e = \frac{3}{2} \frac{P_k}{(bh^2)}$$

TS 3285'e göre bulunan deney sonuçları Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.8. Tek Noktadan Yüklenmiş Numunelerin Eğilme Dayanımı

Deney Sonuçları

Numune No	Kırılma Yükleri (kN)			Ortalama Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Artış Oranı (%)
	1	2	3			
K	5.41	5.53	5.35	5.43	1.63	-
L2	7.11	7.03	6.86	7.00	2.10	28.91
L4	7.50	7.95	7.46	7.64	2.29	40.70
L6	7.88	8.82	8.45	8.38	2.52	54.32

Tablo 5.9. Üçte Bir Noktalarından Yüklenmiş Numunelerin Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Numune No	Kırılma Yükleri (kN)			Ortalama Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Artış Oranı (%)
	1	2	3			
K	6.64	6.50	6.60	6.58	1.98	-
L2	8.10	7.76	7.94	7.93	2.38	20.52
L4	8.99	9.25	9.16	9.13	2.74	38.75
L6	10.86	10.75	11.50	11.04	3.32	67.78

5.6.3. Tartışma

Eğilme dayanımı, lif katkılı betonların iyileşen en önemli özelliklerinden biridir. Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'daki değerlerden, kontrol numunelerinde, eğilmede çekme gerilmesinin 1.98 N/mm², %0.6 cam lif katkılı numunelerde bu değerin 3.32 N/mm²'ye yükseldiği görülmektedir. Bu demektir ki cam lif ilave edilmiş numunelerinin çekme dayanımı, yaklaşık olarak üçte bir noktalarında yüklenmiş kirişlerde %67.78 oranında artmaktadır. Tek noktadan yüklenmiş kirişlerde ise bu oran %54.32'ye düşmektedir. Sonuç olarak cam lifi katılmış kirişlerin eğilme dayanımında üçte bir noktadan yüklenmiş kirişlerin eğilme dayanımı, tek noktadan yüklenmiş kirişlerin dayanımından daha iyi sonuç vermektedir.

Bu artışlar, küçümsenmeyecek derecede önemli artışlardır. Bu özelliklerden dolayı, bu tür malzemelerin; donatı kullanılmayacak kadar küçük ebatlara sahip elamanlarda kullanılması mümkündür. Ayrıca büyük kütle betonlarda, örneğin çekme dayanımının önem kazandığı kirişlerde, maliyet gözardı edilmeden, cam liflerin kullanılmasının uygun olacağı söylenebilir.

Ayrıca lif oranı arttıkça deplasman yapma kabiliyeti de artmakta dolayısıyla numunenin sünekliği artmakta, buda daha fazla enerji absorbe edeceği anlamına geldiği için depreme dayanıklı yapı tasarımı için de dikkate alınabilecek bir malzeme olabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak lif katkılı numunelerde yapılan eğilme çekme deneylerinde üçte bir noktalarından yüklenmiş numunelerin eğilme dayanımlarının tek noktadan yüklenmiş numunelerin eğilme dayanımlarına nazaran daha iyi sonuç verdiği deneylerle tespit edilmiştir. Bunun için cam lif katkılı numunelerin eğilme dayanımı üzerindeki etkileri küçümsenmeyecek derecede önemlidir.

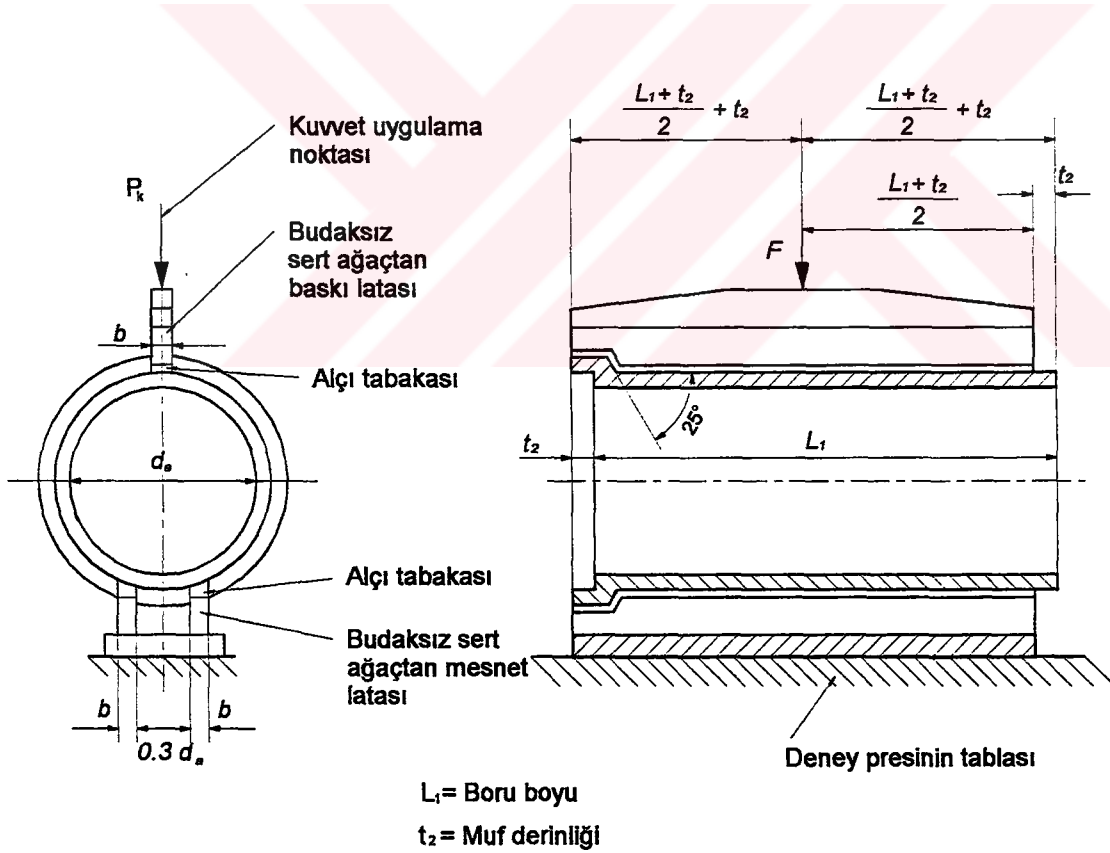


6. CAM LİFLİ BETON BORULAR ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI

6.1. Tepe Basınç Yüğü

6.1.1. Giriş

Tepe basınç yüğü deneyi, tüm boru boyu veya kesilmiş boru parçaları üzerinde uygulanır. Deney yapılacak üç deney numunesi boru 24 saat süreyle içi su dolu ve çevresi de ıslak tutularak suya doymun duruma getirilir. Bu şekilde hazırlanmış deney numunesi, basınç presinin tablası üzerine yerleştirilmiş bulunan mesnet lataları üzerine yerleştirilir. Basınç presine yerleştirilmiş deney numunesi Şekil 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.1. Basınç Presine Yerleştirilmiş Deney Numunesi

Mesnet ve kuvvet uygulama latalarının “b” genişlikleri ve mesnet araları TS 821’ de verilen değerlere uygun olmalıdır. Baskı ve mesnet latalarının genişlikleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

6.1.2 Deney yöntemi ve sonuçlar

Borunun latalara (yastık kirişleri ve baskı kirişine) tam olarak intibak edebilmesi ve tepe yükünün boru boyunca ünüform olarak yayılabilmesi için, mesnet lataları üzerine ve baskı latesının geleceği yere boru üzerine 2 - 3 cm kalınlıkta ve bir şerit şeklinde alçı hamuru serilir. Alçı tırnakla çizilmeyecek kadar sertleştikten sonra kuvvet uygulanmaya başlanır.

Boru numuneleri üzerinde tepe basıncı yükü deneyi uygulandığında bulunacak kırılma yükleri daire kesitli beton borular için TS 821’de verilen değerlerden az olmamalıdır. Beton borularda tepe basınç yükü deneyindeki min. kırılma yükleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Baskı ve Mesnet Lataları Genişlikleri

Grup No	Anma Çapı (mm)	Lata Genişliği (b) (mm)
1	450 ye kadar	35
2	500-1000	95
3	1100-1500	165
4	1750 ve daha büyük	200

Tablo 6.2. Beton Borularda Tepe Basınç Yüğü Deneyindeki Min. Kırılma Yüğüleri

Kesit Biçimi	Boru Anma Çapı (mm)	Borunun Her (m) Uzunluğu İçin Minimum Kırılma Yüğü (kN/m)	
		Normal cidarlı (kN/m)	Kalın cidarlı (kN/m)
Daire	100	24	-
	150	26	-
	200	27	-
	250	28	-
	300	30	50
	350	31	55
	400	32	63
	450	33	70
	500	35	80
	600	38	98
	700	41	111
	800	43	125

Deneylerde yükün hesaplanmasında borunun yararlı uzunluğu alınır. Verilmemiş çaplar için kırılma yüğü değerleri enterpolasyonla bulunur.

Beton boru imalatında, kullanılacak beton karışımları TS 802'ye göre hazırlanmıştır. Karışımında kullanılan malzemelerin % olarak miktarları Tablo 6.3'de verilmiştir.

Tablo 6. 3. Beton Boru İmalatında Kullanılan Malzeme Karışım Oranları (%)

Malzemenin Adı	Karışımındaki Miktarı (%)
1 Nolu Agregası	24.1
2 Nolu Agregası	31.9
3 Nolu Agregası	16.3
Çimento	19.9
Su	7.8
Cam Lifi	0-0.2-0.4-0.6

Boru yapımında TS 500 ve TS 3830, kalite kontrolü için TS 2940, TS 3068, TS 3351 ve taşıma yerleştirme, işleme ve kür işleminde TS 1247, TS 1248'deki kurallara uyulmuştur.

Değişik çaplardaki beton borularda yapılan deneyler neticesinde bulunan, 28 günlük tepe basınç yükü değerleri Tablo 6.4'de, 1 yıllık sonuçlar da Tablo 6.5'de verilmiştir. Ayrıca yapılan deneylerin doğruluk derecesini belirlemek için her boru için ayrı ayrı standart sapma değerleri % olarak bulunmuştur.

Lif oranlarının artışı ile tepe basınç yükünde meydana gelen 28 günlük değişimler de Tablo 6.4'de verilmiştir. Tepe basıncı deneyi yapılırken beton borularda her 500 kg' da bir meydana gelen yatay ve düşey deplasmanlar strengeler yardımı ile ölçülmüştür.

Tablo 6.4. Değişik Çaplardaki Beton Borular İçin Tepe Basınç Yükü Deney Sonuçları

Kesit Biçimi	Boru Çapı (cm)	Lif Oranı (%)	Cidar Kalınlığı (cm)	Boru Boyu (cm)	Yük Alan Kısımın Boyu (cm)	Kırılma Yüğü (28 günlük)			Orta- lama Yüğü (kg)	Tepe Basıncı Yüğü (kN/m)	Artış Oranı (%)	Stan- dard Sapma (%)
						(kg)						
						1	2	3				
Daire	20	-	3.0	150	115	3800	3600	3700	3700	32.17	-	1.00
		0.2				4100	4300	4200	4200	36.52	13.52	1.00
		0.4				4400	4450	4350	4400	38.26	18.93	0.50
		0.6				4600	4500	4700	4600	40.00	24.34	1.00
	30	-	4.0	150	115	4500	4700	4600	4600	40.00	-	1.00
		0.2				5100	5200	5000	5100	44.35	10.88	1.00
		0.4				5300	5400	5500	5400	46.96	17.40	1.00
		0.6				5450	5600	5600	5550	48.26	20.65	0.87
	40	-	4.5	150	115	5600	5400	5500	5500	47.83	-	1.00
		0.2				5900	5950	6150	6000	52.17	9.07	1.32
		0.4				6200	6250	6450	6300	54.78	14.53	1.32
		0.6				6700	6650	6750	6700	58.26	21.81	0.50
	50	-	5.0	150	115	6900	7000	7100	7000	60.87	-	1.00
		0.2				7550	7600	7650	7600	66.09	8.58	0.50
		0.4				8100	8000	8200	8100	70.43	15.71	1.00
		0.6				8700	8650	8700	8700	75.65	24.28	1.06
	60	-	6.0	150	115	9000	9050	9100	9050	78.70	-	1.00
		0.2				9650	9600	9700	9650	83.91	6.62	0.50
		0.4				10100	10050	10150	10100	87.83	11.60	0.50
		0.6				10900	11000	11100	11000	95.65	21.54	1.00

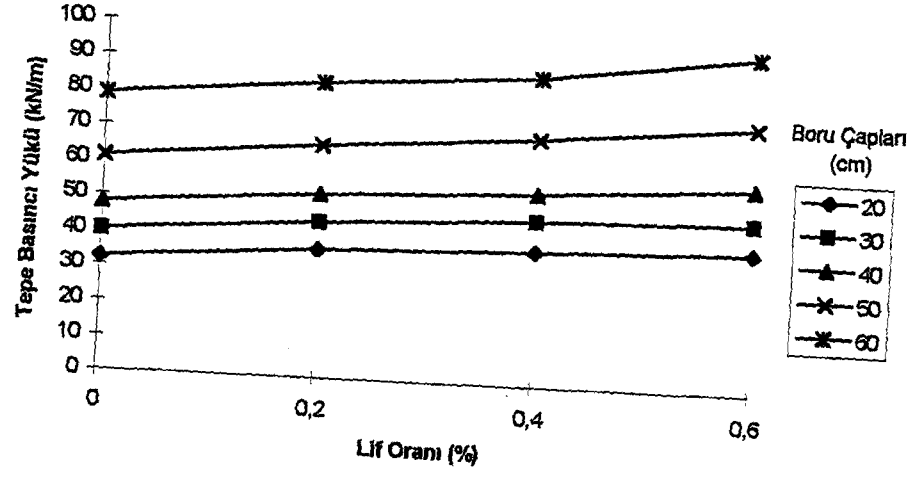
Tablo 6.5. Değişik Çaplardaki Beton Borular İçin Tepe Basınç Yüğü Deney Sonuçları

Kesit Biçimi	Boru Çapı	Lif Oranı	Cidar Kalınlığı	Boru Boyu	Yük Alan Kısmın Boyu	Kırılma Yüğü (1 Yıllık)			Ortalama Yüğü	Tepe Basıncı Yüğü	Artış Oranı	Standart Sapma
						(kg)						
						1	2	3				
Daire	20	-	3.0	150	115	4500	4800	4500	4700	40.87	-	1.00
		0.2				4900	5000	5100	5000	43.45	6.31	1.00
		0.4				5200	5400	5600	5600	48.70	19.16	0.50
		0.6				5600	6000	5800	5800	50.44	23.40	1.00
	30	-	4.0	150	115	6100	6100	6400	6200	53.91	-	1.00
		0.2				6800	7000	6900	6900	60.00	11.30	1.00
		0.4				7400	7600	7500	7500	65.22	21.00	1.00
		0.6				8000	7900	7800	7900	68.70	27.40	0.87

Aynı şartlarda hazırlanmış beton borular bir yıl süre ile asidik ortama maruz bırakılarak tepe basınç yüklerindeki değişimler kaydedilmiştir. Bu işlem 20' lik ve 30' luk borulara uygulanmıştır. Bir yıllık beton borular üzerinde bulunan deney neticeleri Tablo 6.5' de verilmiştir.

6.1.3. Tartışma

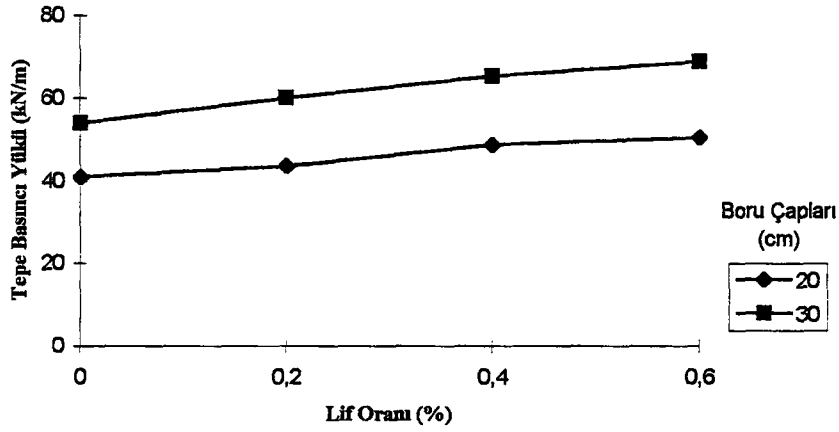
Beton boru numuneleri üzerinde yapılan tepe basınç yüğü deney sonuçlarının TS 821'de verilen değerlerden az olmadığı görülmüştür. Lifsiz olarak dökülen beton borular ile lifli dökülen beton borular karşılaştırıldığında lifli boruların kırılma yüklerinin lifsiz boruların kırılma yüklerinden daha fazla olduğu Tablo 6.4'de görülmektedir. Lif oranı ve boru çapı arttıkça Şekil 6.2 'de de görüldüğü gibi tepe basınç yükleri de artmaktadır.



Şekil 6.2. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Tepe Basıncı Yüklerinin değişimi

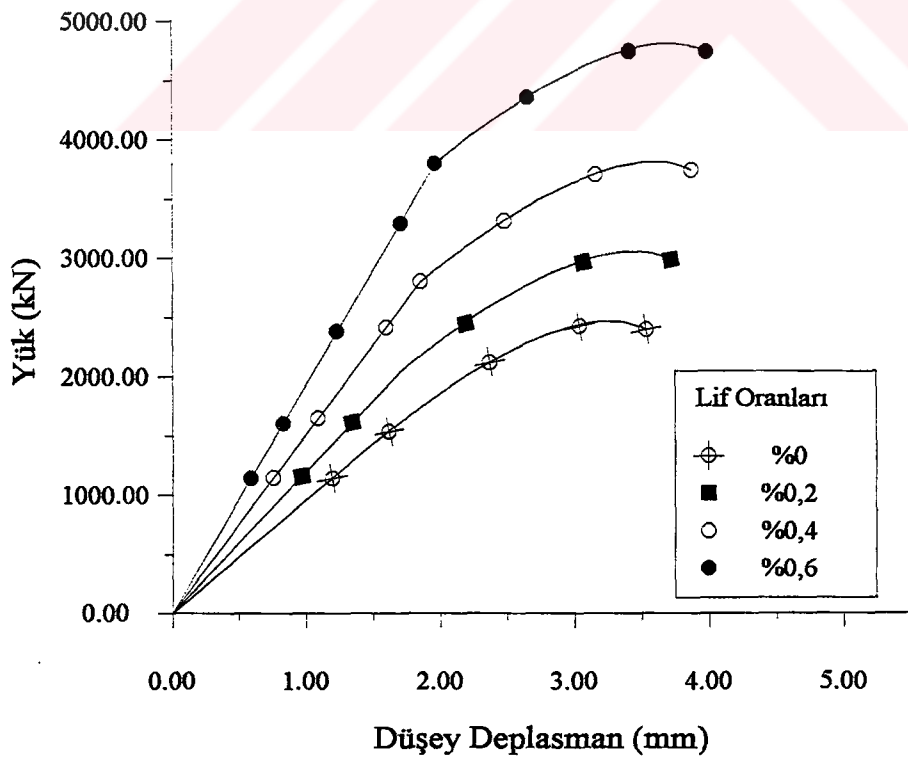
Yine aynı şartlarda dökülmüş beton borular, bir yıl toprak altında bekletilerek ve içerisinden pis su ve yağmur suyu geçirilerek tepe basınç yükleri bulunmuştur.

Tablo 6.5’de bulunan sonuçlardan da görüldüğü gibi bir yıl sonunda içerisine cam lifi katılmış boruların dayanımında çok önemli bir artışın olduğu görülmüştür. Bir yıl sonunda beton borularda lif oranlarına bağlı olarak tepe basıncı yükü değişimi Şekil 6.3’de görülmektedir.



Şekil 6.3. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Tepe Basınç Yüklerinin Değişimi (1 Yıllık)

Tepe basınç yükü deneyi yapılırken beton borularda meydana gelen düşey deplasmanlar strengelerle ölçülmüştür. Bulunan bu değerlere bağlı olarak yük-deplasman eğrileri Şekil 6.4'de görülmektedir.



Şekil 6.4. Yük-Deplasman Eğrileri

Şekil 6.4’de görüldüğü gibi lif oranının artması beton boruların daha fazla deplasman yapmasını sağlamaktadır. Buda beton boruların kırılma enerjisini arttırmıştır.

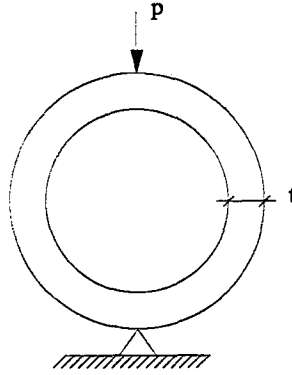
Sonuç olarak %0, 0.2, 0.4 ve %0.6 oranlarında cam lifi katılarak üretilen boruların tepe basınç yüklerinde %25’lere varan bir artışın olduğunu ve TS 821’de verilen kırılma yüklerinin çok üstünde bir kırılma yüküne ulaşıldığı görülmüştür.

Lifli beton boruların uzun süre toprak altında kalmasına rağmen tabiat şartlarından ve asidik ortamdan etkilenmediği ve daha çok dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum cam lif katkılı beton boruların basınçsız pis su ve yağmur suyu inşaatlarında kullanılmasının çok uygun olacağını göstermiştir.

Cam lifin beton boruların tepe basıncında sağladığı %25’lik artıştan dolayı boruların cidar kalınlığında azaltmaya gidilebileceğini ve daha düşük maliyetlerde beton boruların üretilebileceğini göstermiştir.

6.1.4. Cam lifli beton borularda tepe basınç yükünün teorik olarak hesabı

Aşağıdaki yükleme şekline göre yük ile moment arasında bir bağıntı yazılabilir.

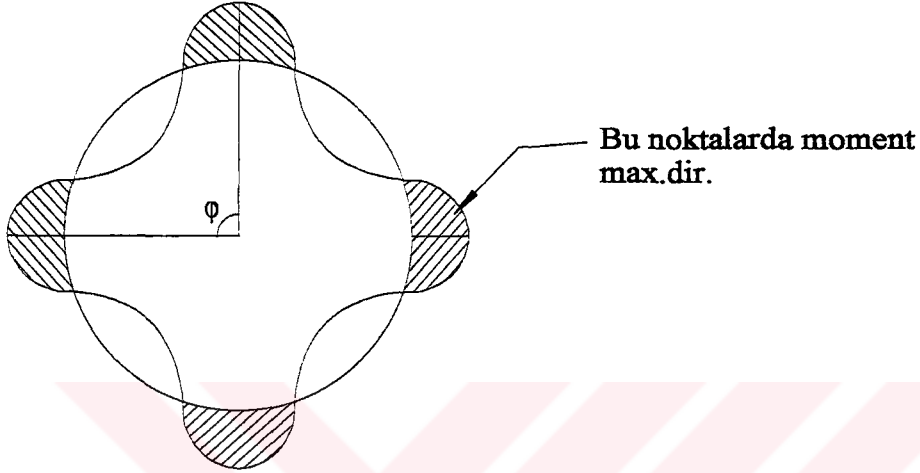


$$M \times \phi = -P \times \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \times \left(\phi \times \sin \phi + \frac{\cos \phi}{2} - 1\right)$$

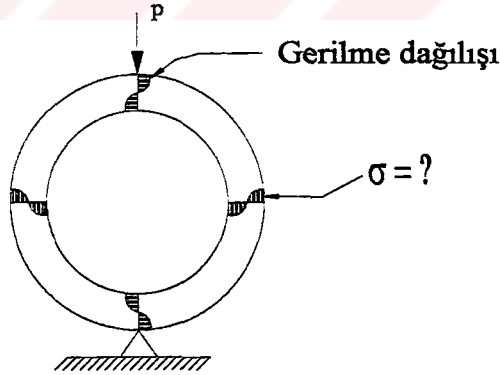
$$M = -P \times \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \times \left(\frac{\pi}{2} - 1\right)$$

$$M = 0.00143 \times P \times \varphi^2$$

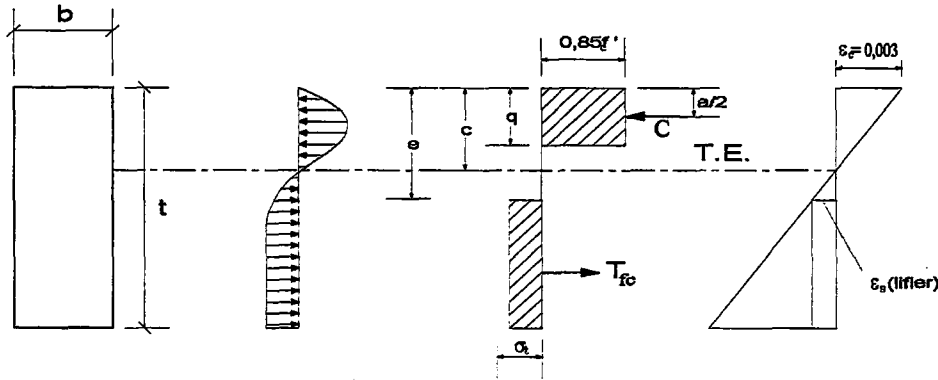
Burada $\varphi = 90^\circ$ alınmıştır (A. Çakıroğlu, 1983). Boruda meydana gelen moment diyagramını aşağıdaki şekilde çizebiliriz.



P yükü altında boruda meydana gelen gerilme dağılışı aşağıdaki şekilde gösterebiliriz.



Şekilde verilen gerilme dağılışıdan faydalanarak ayrıca lif oranına , boru çapına, cidar kalınlığına, betonun basınç dayanımına ve lifli betonun çekme gerilmesine bağlı olarak moment değeri hesaplanabilir.



T_{fc} = Lifli Betonun Çekme Kuvveti,

σ_t = Lifli Betonun Çekme Gerilmesi.

$$\frac{Pe}{P} = \frac{0.41 \times 0.82 \times 1 \times \tau_d \times d_f}{\sigma_f \times d_f}$$

Pe = Liflerin Efektif Hacim Yüzdesi,

P = Liflerin Hacim Bakımından Yüzdesi,

0.41 = Liflerin Gelişigüzel Dağılımında Efektif Oran,

0.42 = Bağ Verimi Faktörü,

1 = Lif Uzunluğu,

τ_d = Lif ve Matris Arasındaki Dinamik Bağ Gerilmesi,

$$d_f = \text{Lifin Çapı},$$

σ_f = Çekme Esnasında Liflerde Oluşan Çekme Gerilmesi.

$$P_e \times \sigma_f = (0.41 \times 0.82 \times \tau_d) \times \frac{1}{d_f} \times P$$

$P_e \times \sigma_f =$ Birim kesit alanında efektif olan liflerin bağ gerilmesi tarafından meydana getirilen ve birim alana etki eden kuvvettir.

$$\sigma_t = 0.00772 \times \frac{1}{d_f} \times F_{be} \quad (F_{be} \times \sigma_t = \sigma_f)$$

$$M_t = \sigma_t x b x(t-e) x \left(\frac{t}{2} + \frac{e}{2} - \frac{a}{2} \right)$$

f_c = Betonun Basınç Dayanımı,

C = Basınç Kuvveti,

T_{fc} = Lifli Betonun Çekme Kuvveti.

$$T_{fc} = \sigma_t \times b \times (t - e)$$

$$M = -P \times \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \times \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) = \frac{0.57}{400} \times P \times \phi^2 = 0.00143 \times P \times \phi^2$$

$$M = 0.00143 \times P \times \phi^2$$

Her iki durumdaki moment değerleri eşitlenip P yükü çekilirse,

$$0.00143 \times P \times \phi^2 = \sigma_t \times b \times (t - e) \times \left(\frac{t}{2} + \frac{e}{2} - \frac{a}{2}\right)$$

$$P = \frac{\sigma_t \times b}{0.00143 \times \phi^2} \times (t - e) \times \left(\frac{t}{2} + \frac{e}{2} - \frac{a}{2}\right)$$

ϕ = Boru Çapı (mm),

b = Birim Boy

σ_t = Lifli Betonun Çekme Gerilmesi (Mpa=N/mm²),

t = Cidar Kalınlığı (mm).

Yukarıdaki C , e ve a değerlerini aşağıdaki formüllerle hesaplayabiliriz.

$$C = \frac{195790 + \sigma_t \times b \times t}{0.85 \times f_c \times b \times (0.75) + \sigma_t \times b \times (1.98)}$$

$$a = 0.75 \times C$$

$$e = 1.98 \times C$$

Bu formüller kullanılarak hesaplanan P tepe basınç yükü değerleri Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6. Deneysel Tepe Basınç Yüklerinin Formülle Bulunan Yüklerle Karşılaştırılması

Boru Çapı (cm)	Lif Oranı (%)	Cidar Kalınlığı (cm)	Boru Boyu (cm)	P (Deneysel Yük) (kN)	P (Formülle Bulunan Yük) (kN)
20	-	3.0	150	32.17	32.30
	0.2			36.52	37.67
	0.4			38.26	52.50
	0.6			40.00	62.88
30	-	4.0	150	40.00	40.24
	0.2			44.35	46.93
	0.4			46.96	65.40
	0.6			48.26	78.35
40	-	4.5	150	47.83	31.68
	0.2			52.17	36.95
	0.4			54.78	51.50
	0.6			58.26	61.69
50	-	5.0	150	60.87	53.70
	0.2			66.09	62.64
	0.4			70.43	87.30
	0.6			75.65	104.58
60	-	6.0	150	78.70	58.52
	0.2			83.91	68.28
	0.4			87.83	95.14
	0.6			95.65	113.98

6.2. Sızdırmazlık

6.2.1. Giriş

Beton borularda sızdırmazlık deneyi tüm boru üzerinde ve 0.5 barlık bir iç basınç altında yapılmaktadır. Deney düzeneği, boruları düşey veya yatay konumda denemeye uygun 0.05 N/mm^2 basınç uygulayabilecek şekilde hazırlanmıştır. Basınç ölçme aleti, göstergeli veya piyezometre borusu şeklinde, 0.001 N/mm^2 duyarlıkta yapılmıştır. Boru ucundaki tıkaçlar, su sızmasını önleyecek biçimde ve niteliktedir. Su sağlama donanımı, gerekli su miktarlarını ve akışını sağlayacak kapasitede hazırlanmıştır. 0.5 barlık bir basınç altında yapılan sızdırmazlık deneyinde ıslatılan boru iç yüzeyinin her m^2 'si için boru anma çapına karşılık gelen ilave su miktarları beton borular için Tablo 6.6'da verilmiştir (TS 821, 1993).

Tablo 6.7. Beton Borulara Ait Her m² İç Yüzey Başına İzin Verilen İlave Su Miktarı

Kesit Şekli	Boru Çapı (mm)	Islak İç Yüzeyinin Her m ² 'si İçin Kabul Edilen İlave Su Miktarları (litre)
	100-250	0.08
Daire Kesitli	300-600	0.08
	700-1000	0.07
	1100-1500	0.05

6.2.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Sızdırmazlık deneyi, deneye alınmış boruların tamamı üzerinde yapılmıştır. Deney numunesi olarak hazırlanan borular 24 saat suyla dolu olarak tutulmuş ve aynı zamanda boruların dış yüzeylerinin de ıslak olması sağlanmıştır. Daha sonra beton borular düşey konumda tutularak, sızdırmazlık cihazına bağlanmıştır. Deney sırasında borunun muflu kısmı aşağıya gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Borulara yavaşça su doldurulmuş ve bu aşamada havanın tamamen dışarı çıkması sağlanmıştır. Boru tamamen su ile doldurulduktan sonra boru içindeki en düşük basınç 0.05 N/mm² olacak şekilde basınç uygulanmıştır. Basınç uygulandıktan 5 dakika sonra su kayıpları nedeniyle düşebilecek deney basıncı, su eklenerek belirtilen değere yeniden ayarlanmış ve deney süresi başlamıştır. Deney süresi TS 821'de belirtildiği gibi 15 dakika olarak alınmıştır. 15 dakikanın sonunda, meydana gelen basınç düşmesi su eklenerek dengelenmiş ve bu işlem için eklenen su miktarı litre cinsinden belirlenerek kaydedilmiştir. Bütün bu işlemler daha önceden hazırlanmış ve 28 gün bekletilmiş; lifsiz, %0, 0.2, 0.4 ve %0.6 oranlarında lif katkılı borular üzerinde yapılmıştır. Sızdırmazlık deneyi sadece 200'lük borular üzerinde ve üçer adet yapılmıştır.

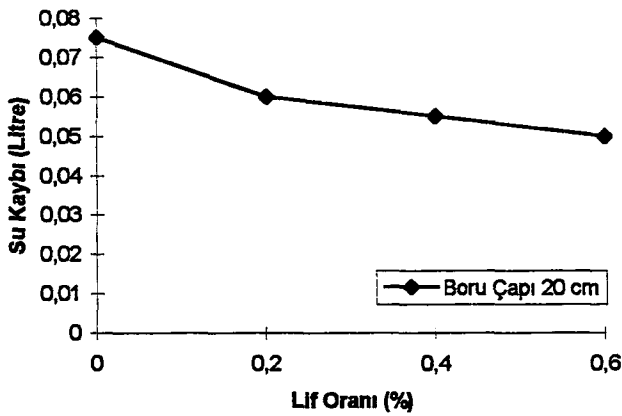
Beton borularda meydana gelen su kaybını litre cinsinden bulmak için, deney esnasında bulunan su kaybı miktarı borunun ıslak iç yüzey alanına bölünmüş ve elde edilen üç değerın ortalaması alınmıştır. Tablo 6.8'de beton borulara ait su kaybı miktarları her lif oranı için ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 6.8. Lif Katkılı Beton Borulara Ait Sızdırmazlık Deney Sonuçları

Boru Çapı (mm)	Lif Oranı (%)	1 m ² 'lik İç Yüzeye İlave Edilen Su Miktarı (litre)			Ortalama İlave Edilen Su Miktarı (litre)	İlave Edilen Sudaki Azalma Miktarı (%)
		1	2	3		
200	-	0.08	0.070	0.075	0.075	-
	0.2	0.065	0.060	0.055	0.060	20
	0.4	0.060	0.055	0.050	0.055	26.7
	0.6	0.045	0.055	0.050	0.050	33.3

6.2.3. Tartışma

TS 821'e göre beton borularda ıslak iç yüzeyinin her m²'si için kabul edilen ilave su miktarı 200'lük borular için 0.08 litreden fazla olmamalıdır. Yapılan sızdırmazlık deneyi bu çerçevede değerlendirildiğinde, lif katkılı beton boruların sızdırmazlığı, lif katkısız beton borulara göre %33.3 oranında bir avantaj sağlamıştır. Tablo 6.8'de de görüldüğü gibi lif oranı arttıkça borulardaki su kaybında azalma olmaktadır. Şekil 6.5'de lif oranlarına bağlı olarak beton borularda meydana gelen su kayıplarının değişimi görülmektedir.



Şekil 6.5. Beton Borularda Lif Oranlarına Bağlı Olarak Meydana Gelen İlave Su Miktarlarının Değişimi

Sonuç olarak cam lif katkılı beton boruların basınçsız pis su ve yağmur suyu inşaatlarında kullanılmasının çok uygun olacağı belirlenmiştir. Çünkü cam lifler beton boruların imalat hatasından doğabilecek boşlukları doldurup sızdırmazlığı azaltacaktır. Dolayısıyla pis suların çevreye zarar vermesini asgari dereceye indirecektir.

6.3. Su Emme

6.3.1. Giriş

Beton borularda su emme deneyi, deney için hazırlanmış 28 günlük numuneler üzerinde belli parçalar alınarak yapılır. Bulunan deney sonuçlarının TS 821'e uygun olup olmadığı kontrol edilir. Daha önceden hazırlanmış lifsiz ve lifli beton borulardan üçer deney numunesi alınarak su emme deneyine hazır duruma getirilir.

6.3.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Su emme deneyi için numune borulardan yaklaşık olarak 10cmx10cm boyutunda birer deney numunesi parçası kesilir. Bu deney parçaları $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki bir etüvde değişmez kütleye gelene kadar kurutulup tartılarak kuru kütle bulunur. Kurutmada, 4 saatlik bir kurutma sonunda %0,1 kadar bir kütle azalmasına ulaşılması halinde, değişmez kütleye erişildiği kabul edilir (a_k).

Bu şekilde kurutulmuş deney parçaları içilebilir su içine batırılıp 5 saat süre ile kaynatılarak su emdirilmesi sağlanır. Kaynatılmış deney parçaları içinde bulundukları su ile birlikte, oda sıcaklığına gelene kadar soğutulduktan sonra sudan çıkarılarak tartılır (a_s). Ancak tartı işleminden önce ıslatılarak sıkılmış bir bez veya sünger yardımı ile damlamakta olan su damlaları silinerek numune yüzeyi kurulanır.

Su emme miktarı aşağıdaki formül ile bulunur.

$$S = \frac{a_s - a_k}{a_k} 100\%$$

S = Su Emme (kütlece) %

a_s = Su Emdirilmiş Kütle

a_k = Kuru Kütle

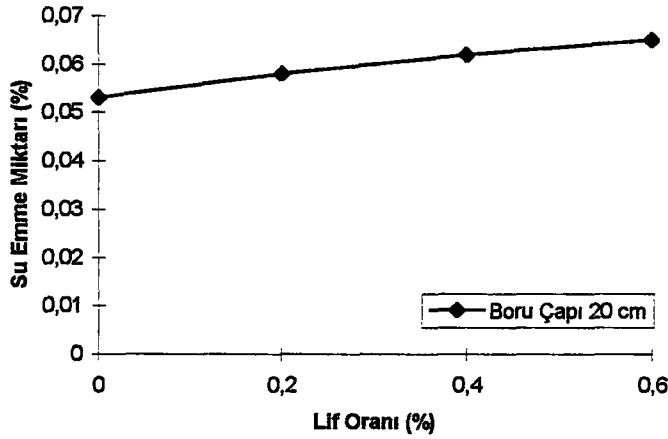
Bulunan sonuçların kuru kütleye göre su emme miktarı %8 den fazla olmamalıdır. Lif oranlarına bağlı olarak bulunan su emme değerleri Tablo 6.9'da verilmektedir.

6.3.3. Tartışma

Lifli beton borular üzerinde yapılan su emme deney sonuçları Tablo 6.9'da da görüldüğü gibi lif oranı arttıkça su emme oranı da artmaktadır. Ancak su emmedeki bu artış TS 821'de verilen değerlere uygundur. Ağırlıkça %8 olması gereken miktar lifin en fazla olduğu değerde bile %6.5 olmaktadır. Bu nedenden dolayı beton boruların yapımında cam lif kullanılmasının herhangi bir sakıncası yoktur. Lif oranlarına bağlı olarak su emme miktarlarının değişimi Şekil 6.6'da görülmektedir.

Tablo 6.9. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Su Emme Deneyi Sonuçları

Lif Oranı (%)	Kuru Ağırlık (kg)	Suya Doygun Ağırlık (kg)	Su Emme Oranı (%)
-	2338	2464	0.053
0.2	2329	2466	0.058
0.4	2288	2430	0.062
0.6	2275	2424	0.065



Şekil 6.6. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Su Emme Miktarlarının Değişimi

6.4. Biçim ve Görünüş Muayenesi

6.4.1. Giriş

Beton boruların biçim ve görünüş muayeneleri gözle ve elle kontrol edilir. Biçim ve görünüşü uygun olmayan boruların imalattan sonra kontrol edilmesi mümkündür. Muflu beton borularda kırılma ve çatlama nedeniyle tolerans değerlerinin zorlanmaması için muf ağzının aşağıya gelecek şekilde imalatı yapılmalıdır.

6.4.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Beton boruların biçim ve görünüş muayenesi yukarıda da belirtildiği gibi gözle ve elle kontrol edilir. Boruları iç ve dış yüzeyleri düzgün, pürüzsüz, köşe ve kenarları düzgün kıraksız ve çapaksız olmalıdır. Ancak bu standartta belirtilen özellikleri olumsuz yönde etkilememek kaydıyla yükseklik veya derinliği 2 mm'yi geçmeyen yüzeydeki gözeneklerin çapak ve çentiklerin gelişigüzel dağılmış örümcek ağına benzeyen yüzeydeki çatlakların genişliği 0.2 mm'yi aşmıyorsa beton boruların biçim ve görünüşü uygun kabul edilir. Ancak yüzeyden derinliği 12mm'yi geçen gözenekleri ihtiva eden boruların

standarda uygun olmadığı kabul edilir. Biçim ve görünüş bakımından daire kesitli boruların Tablo 6.10’da verilen değerlere uygun olması gerekmektedir.

Tablo 6.10. Beton Borularda Kabul Edilen Tolerans Değerleri

Boru Çapı (mm)	Kabul Edilebilir Tolerans (mm)	Boru alın Yüzünün Düzgünlüğü (mm)	En Küçük Cidar Kalınlığı (mm)	En Küçük Muf Derinliği (mm)
100	± 2	3	22	60
200	± 3	4	26	60
300	± 4	5	40	80
400	± 4	6	45	80
500	± 5	6	50	90
600	± 6	8	60	90
700	± 6	8	70	90

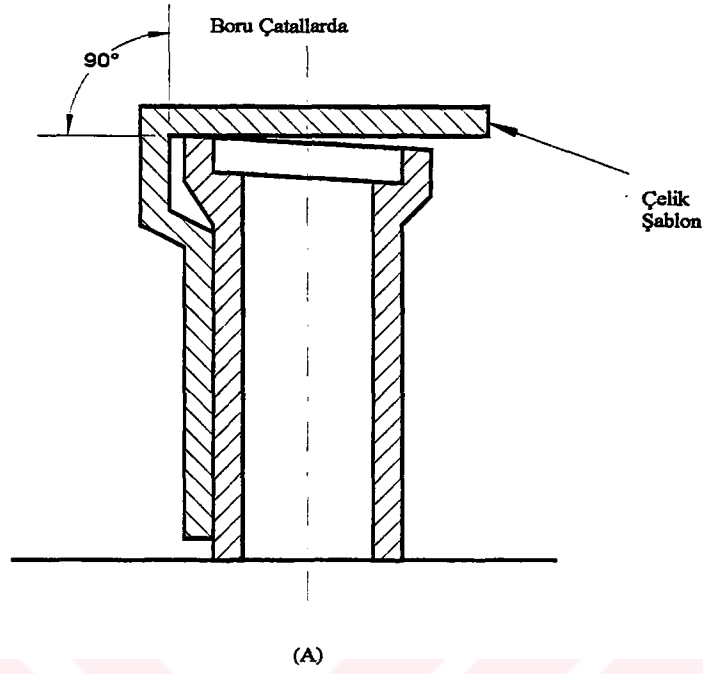
6.4.3. Tartışma

TS 821’e göre beton boruların biçim ve görünüş muayeneleri yapılmıştır. Lifli olarak dökülen beton boruların biçim ve görünüşlerinin daha uygun olduğu gözlenmiştir. Beton boruların iç ve dış yüzeyleri daha düzgün, pürüzsüz, köşe ve kenarları düzgün kırksız ve çapaksız olmuştur. Lifli boruların yüzeyindeki gözeneklerin yüksekliği ve derinliği 2 mm’nin altında olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak cam lif katkılı beton boruların biçim ve görünüşlerinin daha uygun olduğu ve beton boru imalatında kullanılmasının faydalı olacağı gözlenmiştir.

6.5. Alın Yüzünün Düzgünlüğünün Muayenesi

6.5.1. Giriş

Beton borularda alın yüzünün düzgünlüğünün muayenesi tüm boru üzerinde direk olarak yapılmaktadır. Numune boru eksenleri düşey durumda olacak şekilde uygun bir yere yerleştirilir. Şekil 6.7’de alın yüzünün düzgünlüğünün nasıl yapıldığı görülmektedir.



Şekil 6.7. Beton Borularda Alın Yüzünün Düzgünlüğünün Muayenesinde Kullanılan Çelik Şablonun Şekli

Daha sonra kolları yeterli uzunlukta ve uygun biçimli özel bir metal şablon, bir kenarı boru dış yüzüne ve doğrultusuna paralel bir durumda uygulanır. Bu şekilde uygulanan şablon boru çevresinde dolaştırılarak, alın yüzeyinin gönyeden en çok ayrıldığı noktadaki ayrılma ölçülür.

Yapılan ölçümlerin TS 821’de verilen değerlere uygun olup olmadığı kontrol edilir. Tablo 6.11’de beton borulardaki alın yüzünün düzgünlüğü ile ilgili tolerans değerleri verilmiştir.

Tablo 6.11. Beton Borularda Alın Yüzünün Düzgünlüğündeki Tolerans Değerleri

Boru Çapı (mm)	Boru Çapında Kabul Edilebilen Tolerans Değerleri (mm)	Boru Alın yüzünün Düzgünlüğündeki Tolerans Değerleri (mm)
100	± 2	3
200	± 3	4
300	± 4	5
400	± 4	6
500	± 5	6
600	± 6	8

6.5.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Daha önceden hazırlanmış beton borular 28 gün kürde bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuştur. Her lif oranından üç adet boru numunesi hazırlanmıştır. Bu borular üzerinde TS 821'de belirtilen kurallara uygun olarak alın yüzünün düzgünlüğünün muayenesi yapılmıştır. Bütün borularda ölçülen sapma değerleri Tablo 6.11'de verilmiştir.

Tablo 6.12'de görüldüğü gibi lif katkılı boruların alın yüzlerindeki düzgünlüğün daha iyi olduğu görülmüştür.

6.5.3. Tartışma

TS 821'e göre Beton boruların alın yüzlerinin düzgünlüğünün muayenesi yapılmıştır. Lif katkılı beton boruların daha düzgün olduğu ve standartta verilen değerlere uygun olduğu gözlenmiştir. Bu da lif katkılı beton boruların boru imalatında kullanılmasının uygun olacağını göstermektedir.

Tablo 6.12. Lifli Beton Borularda Alın Yüzünün Düzgünlüğünün Deney Sonuçları

Kesit Biçimi	Boru Çapı (mm)	Lif Oranı (%)	Cidar Kalınlığı (cm)	Boru Boyu (cm)	Boru Alın Yüzündeki Sapma (mm)			Ortalama Sapma (mm)
Daire	20	-	3.0	150	3.0	3.5	2.5	3.0
		0.2			3.0	2.9	2.8	2.9
		0.4			2.2	2.4	2.6	2.4
		0.6			2.0	2.1	1.9	2.0
	30	-	4.0	150	4.0	4.0	3.7	3.9
		0.2			3.9	3.8	3.7	3.8
		0.4			3.0	3.2	3.4	3.2
		0.6			2.9	2.8	3.0	2.9
	40	-	4.5	150	4.2	4.5	4.5	4.4
		0.2			3.8	3.9	4.0	3.9
		0.4			3.6	3.5	3.7	3.6
		0.6			3.4	3.3	3.5	3.4

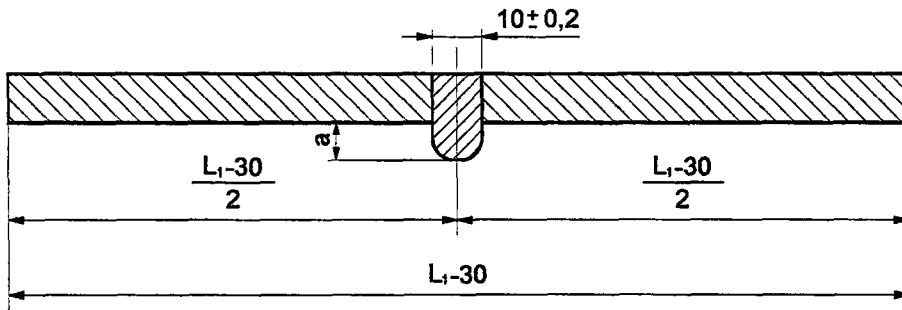
6.6. Boru İç Yüzünün Düzgünlüğünün Muayenesi

6.6.1. Giriş

Beton borularda suyun akışını uygun bir şekilde sağlamak için boru iç yüzünün düzgün ve pürüzsüz olması gerekir. Düzgün olmayan borularda suyun akışında azalmalar olur, birikmelere yol açar ve zamanla tıkanmalara sebep olur. Burada beton borulara %0, 0.2, 0.4 ve %0.6 oranlarında cam lifi katılarak boru iç yüzünün düzgünlüğü kontrol edilmiştir. Bu muayene Şekil 6.8’de şematik olarak gösterilen bir çelik mastar kullanılarak yapılmıştır. Mastarın uzunluğu, boru boyundan 30 mm kadar kısa olmalı ve tam ortasında boru anma boyunun %0,35’i kadar bir çıkıntı bulunmalıdır (TS 821, 1993).

6.6.2. Deney yöntemi ve sonuçlar

Hazırlanmış beton boru numunesinin çevresi üzerinde yaklaşık olarak eşit aralıklarla dört nokta işaretlenerek bu noktalarda, uzun kenarı numune eksenine ve geniş yüzü ise değdiği noktadaki çap doğrultusuna paralel olarak tutulan mastar, çıkıntılı kısmı numuneye dokunacak şekilde numune iç yüzüne değdirilir.



$L_1 = \text{Anma boyu}$
 $a = 0,0035 L_1$

Şekil 6.8. Boru İç Yüzünün Düzgünlük Muayenesi İçin Kullanılan Çelik Mastar

Bu şekilde numunenin iç çevresini yaklaşık olarak dört eşit parçaya bölerek yapılan muayenede, hiç bir yerde mastarın her iki ucu da numunenin iç yüzüne aynı anda değmemelidir. Muayenede, mastarın her iki ucunda numunenin iç yüzüne değdiği yerde %0.5 veya daha büyük bir eğrilik bulunduğu anlaşılır. Borular doğru eksenli ve uzunlukları boyunca kesitleri aynı olacak şekilde yapılmış olmalıdır. TS 821’de açıklanan deney uygulandığında boru iç yüzeyinde bulunacak eğrilik, boru boyunun %0.5’inden büyük olmamalıdır.

Hazırlanmış beton borular üzerinde yapılan deneylerde lif katkılı beton boruların iç yüzeylerinin daha düzgün olduğu ve bütün değerlerin %0.5’in altında olduğu gözlenmiştir. Tablo 6.13’de boru iç yüzeyinde meydana gelen eğrilik miktarları % olarak verilmiştir.

Tablo 6.13. Cam Lifli Beton Borularda Boru İç Yüzeyinde Ölçülen Eğrilik Değerlerinin Deney Sonuçları

Boru Çapı (mm)	Boru Boyu (cm)	Lif Oranı (%)	Boru İç Yüzeyindeki Eğrilik (cm)
200	150	-	0.50
		0.2	0.45
		0.4	0.30
		0.6	0.10
300		-	0.32
		0.2	0.25
		0.4	0.18
		0.6	0.08
400		-	0.30
		0.2	0.29
		0.4	0.20
		0.6	0.15
500		-	0.30
		0.2	0.28
		0.4	0.20
		0.6	0.13
600		-	0.27
		0.2	0.26
		0.4	0.18
		0.6	0.08

6.6.3. Tartışma

TS 821'e göre yapılan boru iç yüzünün düzgünlüğü muayenesinde lifli boruların lifsiz borulara nazaran daha düzgün olduğu tespit edilmiştir. Bu durum imalat sırasında dökülen beton boruların taşınması esnasında sarsıntıdan kaynaklanmaktadır. Çünkü lifler beton içerisinde bir nevi donatı görevi gördüğünden sağa sola deplasmanları azaltmaktadır. Bu da boruların daha düzgün ve pürüzsüz olmasını sağlamaktadır. Boru imalatında cam liflerin kullanılmasının yararlı olacağı bu deneyle de doğrulanmıştır.



7. CAM LİFLİ BETON BORULARDA GERİLME ANALİZİ ve DEPLASMAN HESABI

Cam lifli beton boruların gerilme analizleri sonlu elemanlar metodu ile yapılmıştır. Gerilme analizleri ve deplasmanlar hesaplanırken Sap 90 programı kullanılmıştır. Hesaplarda elastisite modülü TS 500’de verilen formülden faydalanılarak hesaplanmıştır.

Sonlu elemanlarla çözümde kullanılan elastisite modülünün formülü aşağıda verilmiştir. Deneylerde küp numunelerinin basınç dayanımları bulunduğundan bulunan bu değerler 0.85 ile çarpılarak silindir basınç dayanımları hesaplanmıştır.

$$E_{cj} = 10270 \cdot \sqrt{f_{cj}} + 140000$$

E_{cj} = Elastisite Modülü

f_{cj} = Betonun Karakteristik Silindir Basınç Dayanımı (28 günlük)

Lif oranlarına bağlı olarak elastisite modülünün değişimi Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Elastisite Modüllerinin Değeri

Lif oranı (%)	Küp Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Silindir Basınç dayanımı (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)
0	415.7	353.345	3.3x10 ⁵
0.2	368.3	313.055	3.2x10 ⁵
0.4	356.7	303.195	3.2x10 ⁵
0.6	320.0	272.000	3.1x10 ⁵

Tablo 7.1’de de görüldüğü gibi lif oranı arttıkça elastisite modülü de azalmaktadır. Poisson oranı da TS 500’de beton için 0.20 olarak alınmıştır. Sap 90 ile yapılan gerilme analiz sonuçları her lif oranı ve her boru için ayrı ayrı bulunmuştur. Bulunan değerler deney sonuçları ile karşılaştırılarak Tablo 7.2’de verilmiştir. Sap 90 ile bulunan deplasman sonuçları her lif oranı ve her boru için ayrı ayrı bulunmuştur. Bulunan değerler Tablo 7.3’de verilmiştir. Yükleme durumuna göre max basınç gerilmesinin 23 ve 63 nolu düğüm noktalarında ve max çekme gerilmesinin ise 343 ile 383 nolu düğüm noktalarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Sonlu elemanlara ayrılmış beton borularda meydana gelen gerilmeler ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 7.3’de gösterilmiştir. Yataydaki max deplasmanlar 163 ve 203 nolu düğüm noktalarında, düşeydeki max deplasmanlar ise 23 ve 63 nolu düğüm noktalarında meydana gelmektedir.

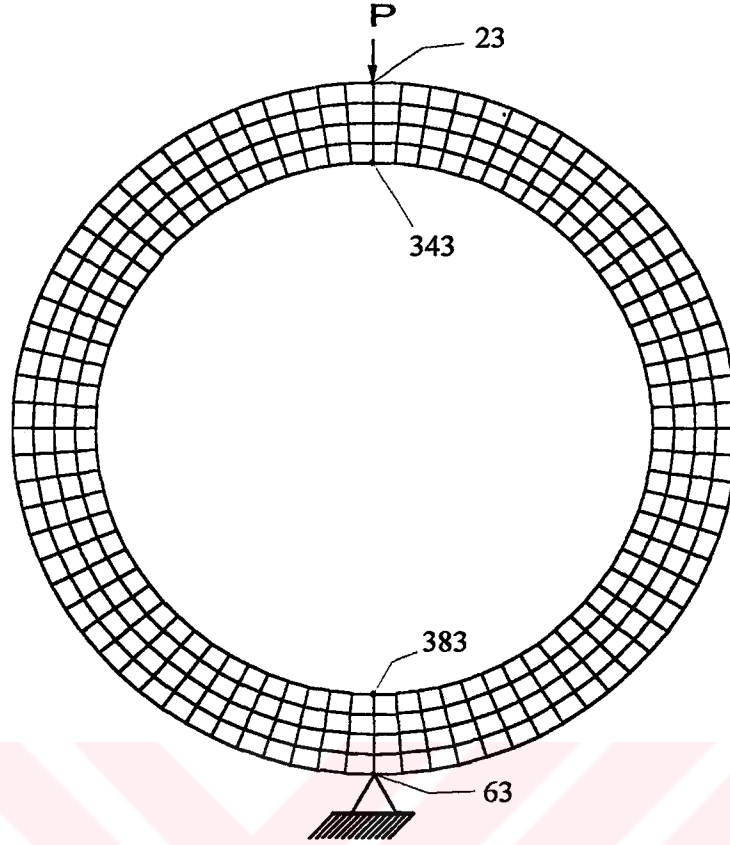
Tablo 7.2. Cam Lifli Beton Boruların Sap 90 İle Max. Çekme ve Max. Basınç Gerilmelerinin Çözüm Sonuçları

Boru Çapı (mm)	Lif Oranı (%)	Teorik Max. Basınç Gerilmesi (kN/m ²)	Teorik Max. Çekme Gerilmesi (kN/m ²)	Deneysel Çekme Gerilmesi (kN/m ²)
200	0	0.779×10^4	0.774×10^4	0.721×10^4
	0.2	0.884×10^4	0.878×10^4	0.841×10^4
	0.4	0.926×10^4	0.920×10^4	0.117×10^5
	0.6	0.969×10^4	0.962×10^4	0.140×10^5
300	0	0.785×10^4	0.792×10^4	0.721×10^4
	0.2	0.871×10^4	0.878×10^4	0.841×10^4
	0.4	0.922×10^4	0.929×10^4	0.117×10^5
	0.6	0.948×10^4	0.955×10^4	0.140×10^5
400	0	0.943×10^4	0.962×10^4	0.721×10^4
	0.2	0.103×10^5	0.105×10^5	0.841×10^4
	0.4	0.108×10^5	0.110×10^5	0.117×10^5
	0.6	0.115×10^5	0.117×10^5	0.140×10^5
500	0	0.118×10^5	0.121×10^5	0.721×10^4
	0.2	0.128×10^5	0.131×10^5	0.841×10^4
	0.4	0.136×10^5	0.140×10^5	0.117×10^5
	0.6	0.147×10^5	0.150×10^5	0.140×10^5
600	0	0.127×10^5	0.130×10^5	0.721×10^4
	0.2	0.135×10^5	0.139×10^5	0.841×10^4
	0.4	0.142×10^5	0.145×10^5	0.117×10^5
	0.6	0.154×10^5	0.158×10^5	0.140×10^5

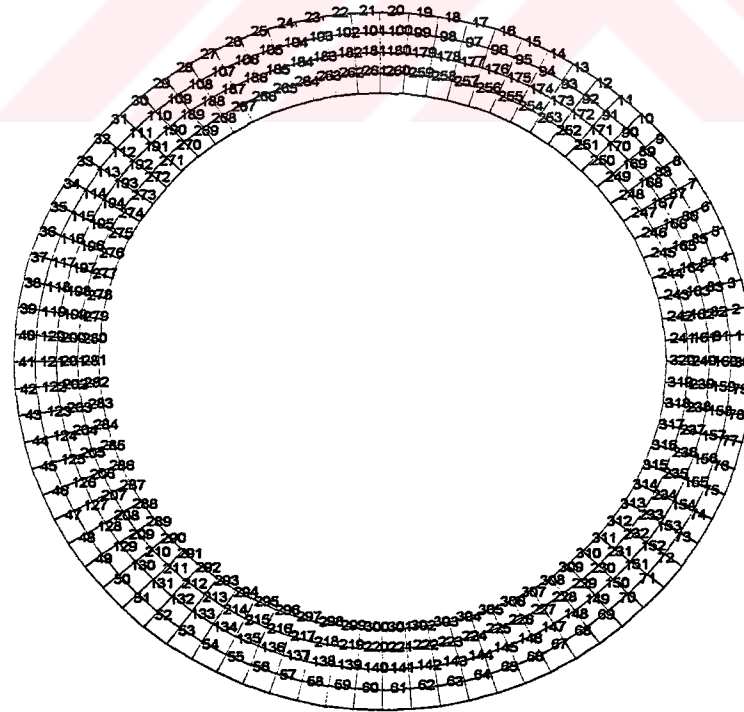
Beton borunun cidar kalınlığı dört parçaya bölünmüş ve meşlere ayrılmıştır. Sonlu elemanlara ayrılmış beton borunun yükleme durumu ve meşlenmiş hali Şekil 7.1'de, elemanlara ayrılmış durumu Şekil 7.2'de, düğüm noktalarına ayrılmış durumu Şekil 7.3'de, yük altında deforme olmuş hali Şekil 7.4'de, x-x yönündeki gerilme dağılışı Şekil 7.5'de, y-y yönündeki gerilme dağılışı Şekil 7.6'da, x-y yönündeki gerilme dağılışı Şekil 7.7'de, S1 asal gerilme dağılışı Şekil 7.8'de, S2 asal gerilme dağılışı Şekil 7.9'da ve S3 asal gerilme dağılışı Şekil 7.10'da görülmektedir. Gerilme grafikleri 200'lük borudaki 32.17 kN'luk yüke göre çizilmiştir (Tablo 6.4). Bütün düğüm noktalarında meydana gelen çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımı ile karşılaştırılmış ve sonuçta uygulanan yük altında numunelerde kırılmanın olduğu hesaplanmıştır. $\sigma_t > f_{ctk}$ olduğunda sistem bu yük altında kırılabilir.

Tablo 7.3. Cam Lifli Beton Boruların Sap 90 İle Max. Yatay ve Max. Düşey Deplasmanlarının Çözüm Sonuçları

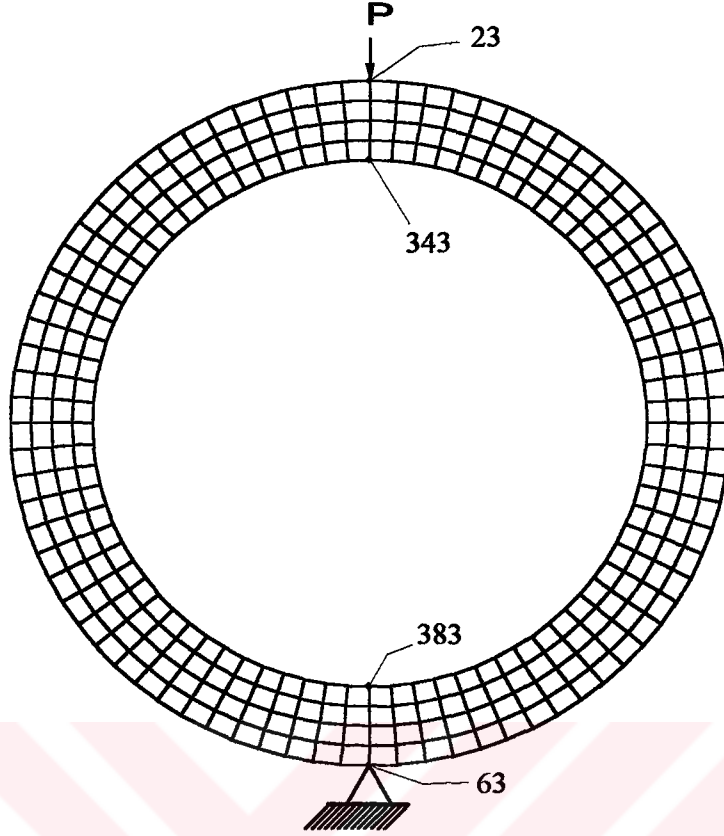
Boru Çapı (mm)	Lif Oranı (%)	Max Yatay Deplasman (mm)	Max Düşey Deplasman (mm)
200	0	0.4543×10^{-4}	0.5373×10^{-4}
	0.2	0.5157×10^{-4}	0.6099×10^{-4}
	0.4	0.5403×10^{-4}	0.6390×10^{-4}
	0.6	0.5648×10^{-4}	0.6681×10^{-4}
300	0	0.7606×10^{-4}	0.8852×10^{-4}
	0.2	0.8433×10^{-4}	0.9815×10^{-4}
	0.4	0.8929×10^{-4}	0.1039×10^{-3}
	0.6	0.9176×10^{-4}	0.1068×10^{-3}
400	0	0.1404×10^{-3}	0.1605×10^{-3}
	0.2	0.1531×10^{-3}	0.1751×10^{-3}
	0.4	0.1608×10^{-3}	0.1838×10^{-3}
	0.6	0.1710×10^{-3}	0.1955×10^{-3}
500	0	0.2419×10^{-3}	0.2740×10^{-3}
	0.2	0.2627×10^{-3}	0.2975×10^{-3}
	0.4	0.2799×10^{-3}	0.3170×10^{-3}
	0.6	0.3007×10^{-3}	0.3405×10^{-3}
600	0	0.3128×10^{-3}	0.3542×10^{-3}
	0.2	0.3335×10^{-3}	0.3777×10^{-3}
	0.4	0.3491×10^{-3}	0.3953×10^{-3}
	0.6	0.3802×10^{-3}	0.4305×10^{-3}



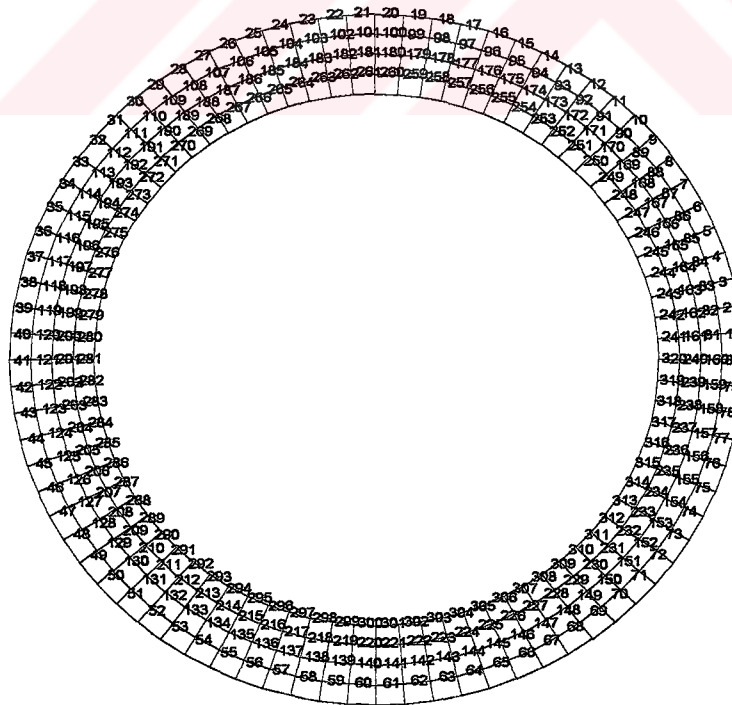
Şekil 7.1. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Yükleme Durumu



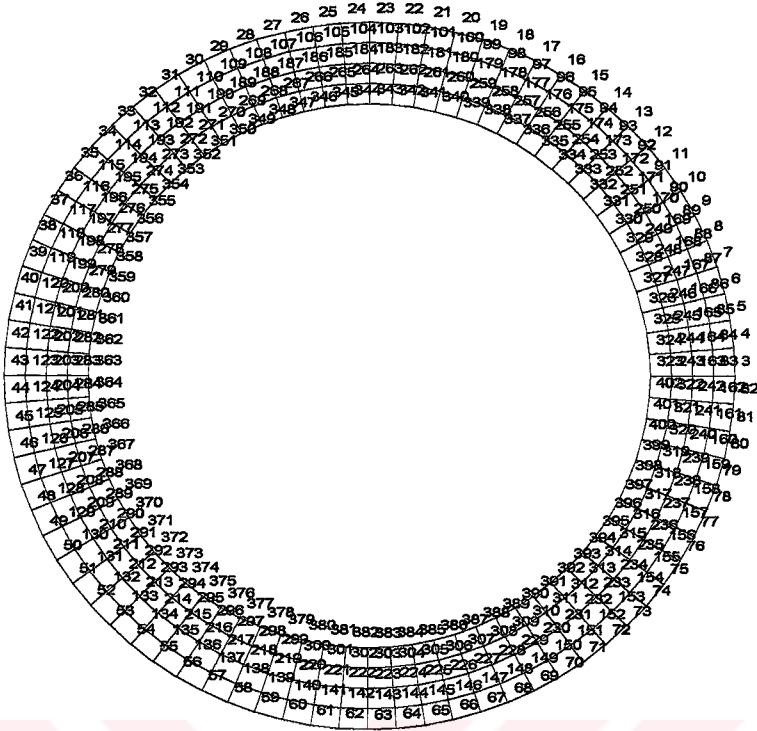
Şekil 7.2. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Elemanlara Ayrılmış Durumu



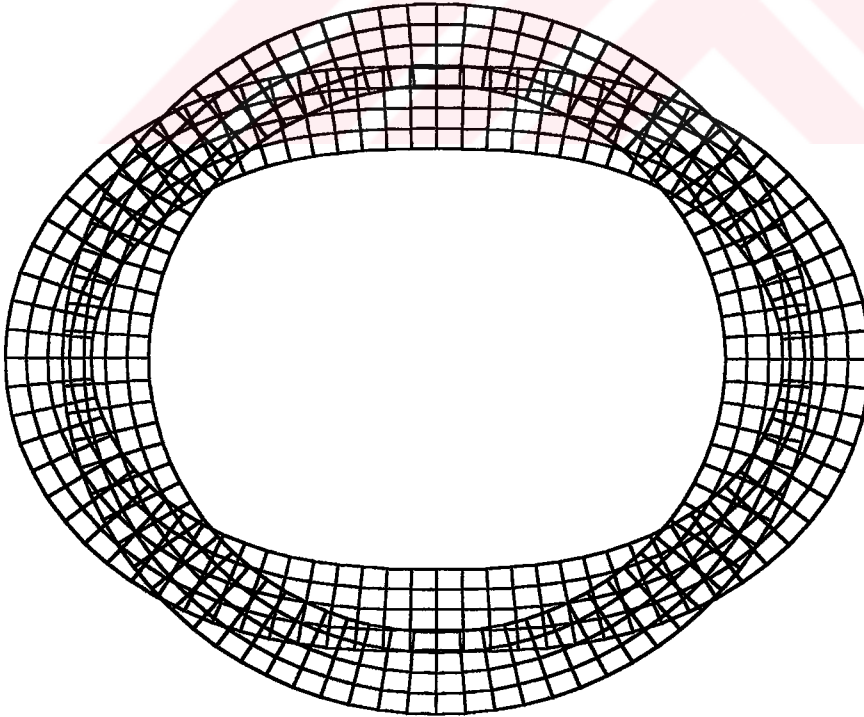
Şekil 7.1. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Yükleme Durumu



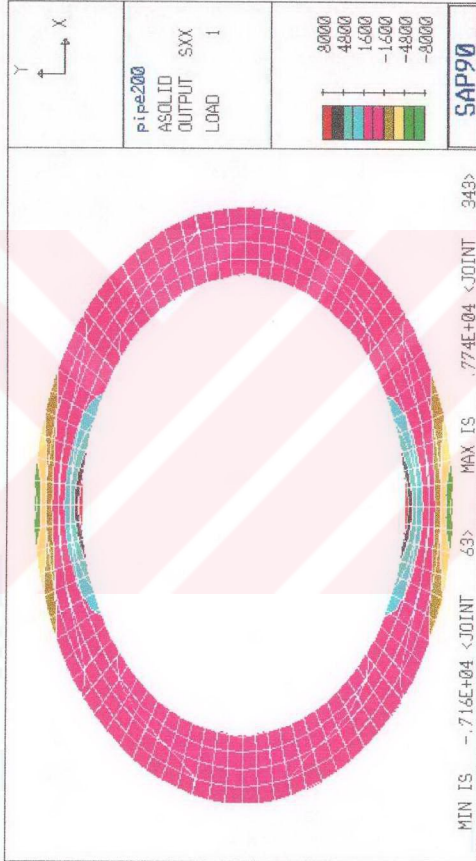
Şekil 7.2. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Elemanlara Ayrılmış Durumu



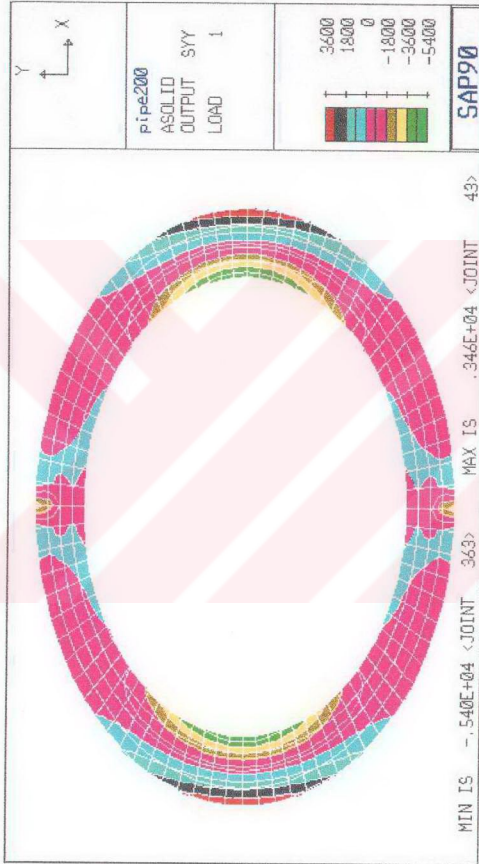
Şekil 7.3. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Düğüm Noktalarına Ayrılmış Durumu



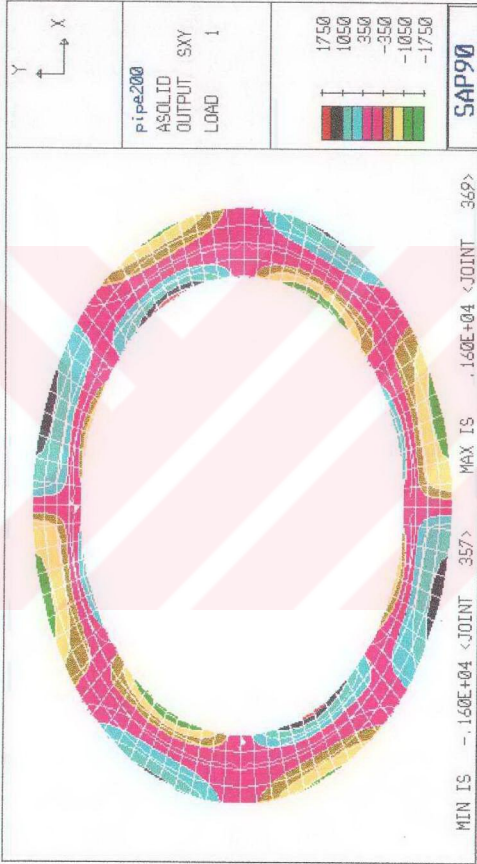
Şekil 7.4. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun Yük Altında Deforme Olmuş Hali



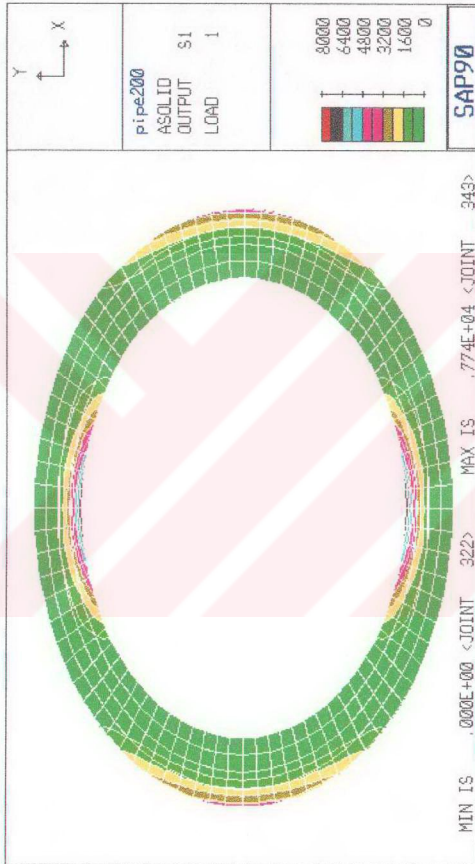
Şekil 7.5. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun σ_{xx} Gerilme Dağılışı



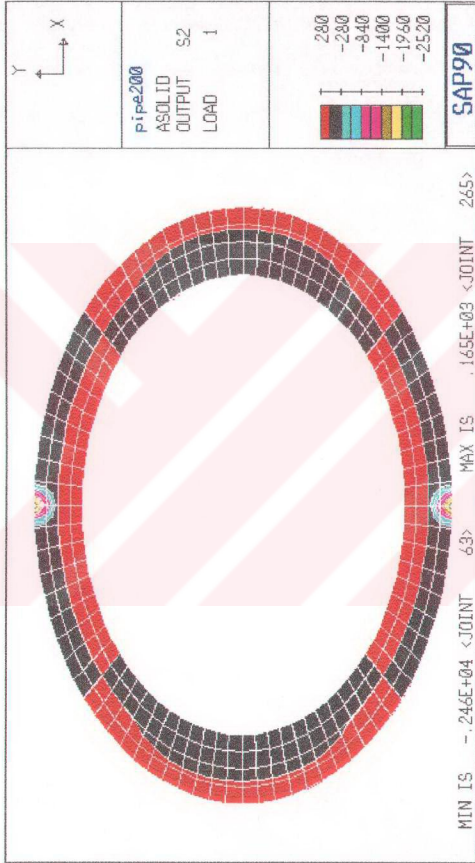
Şekil 7.6. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun σ_{yy} Gerilme Dağılışı



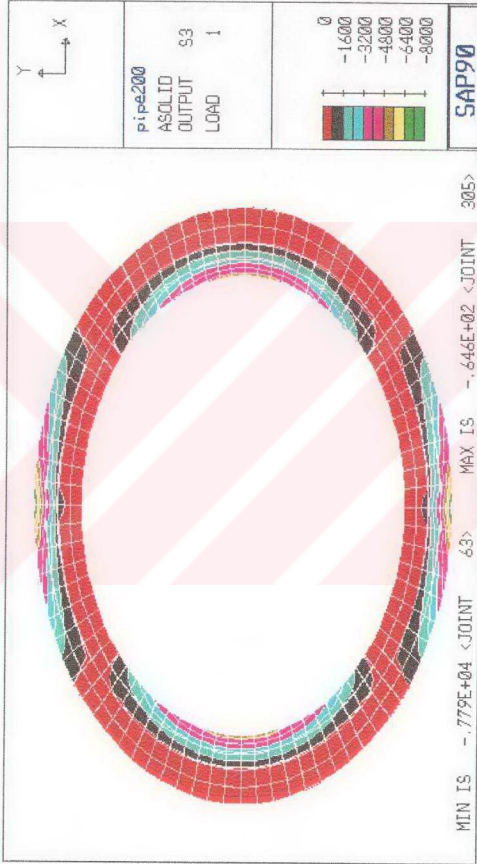
Şekil 7.7. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun τ_{xy} Gerilme Dağılışı



Şekil 7.8. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun S1 Asal Gerilme Dağılışı



Şekil 7.9. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun S2 Asal Gerilme Dağılışı



Şekil 7.10. Sonlu Elemanlara Ayrılmış Beton Borunun S3 Asal Gerilme Dağılışı

8. EKONOMİK ANALİZ

Ülkemizde üretilen cam liflerin ve buna benzer liflerin büyük bir kısmı tam amacında kullanılmamaktadır. Bu çalışmada cam liflerinin beton boru üretiminde kullanılabilirliği ile ilgili teknik etüt ve sonuçları deneylerle daha önceki bölümlerde açıklanmıştı. Bunun yanında bu kullanılabilirliğin ekonomik yönden de incelenmesi gereklidir. Ekonomik etüt yapılırken her lif oranı için ayrı ayrı hesap çıkarılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Buhar kürlü beton boruların bünyesine giren beton, çimento, kum-çakıl miktarları Tablo 8.1’de verilmiştir.

Tablo 8.1’deki değerlerden faydalanarak her çaptaki beton borunun bir metresinin fiyatı hesaplanmıştır. Cam lifsiz olarak üretilmiş $\phi 200$, 300, 400, 500 ve $\phi 600$ buhar kürlü (Muflu) beton borularının birim fiyatları Tablo 8.2, 8.3, 8.4, 8.5 ve Tablo 8.6’da verilmiştir. Cam lifsiz beton boruların ve cam liflerinin birim fiyatları 1997 yılı birim fiyatlarına göre alınmıştır. Bütün lifli boruların bir metresinin fiyatını bulmak için aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$F = G \times L \times C + f \times 0.75$$

C = Cam lifin fiyatı (TL/kg) f = Beton borunun fiyatı
 F = Lifli beton borunun fiyatı G = Borunun toplam ağırlığı (kg) L = Lif miktarı (%)

Tablo 8.1. Buhar Kürlü Beton Boruların Bünyesine Giren Beton, Çimento, Kum-Çakıl Miktarları İle Dolgudan Düşülecek Boru Dış Hacmi

Boru İç Çapı	Et Kal.	Boru Boyu	Boru İç Hacmi	Boru Muf Boşluk hacmi	Dış gövde Hacmi	Muf Dış Hacmi	Muf Dış Hacmi	Beton Hacmi	Kum Çakıl Miktarı	Beton Hacmi	Kum Çakıl Miktarı	Çimento Miktarı
D	S1	L	V1	V2	V3	V4 (1)	V5 (2)	V				
mm	mm	mm	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³ /Ad.	m ³ /Ad.	m ³ /Ad.	m ³ /mt.	Ton/mt	m ³ /mt
150	28	1000	0.018	0.002	0.030	0.003	0.004	0.018	0.022	0.018	0.022	0.009
200	30	1500	0.047	0.003	0.075	0.006	0.006	0.036	0.044	0.024	0.029	0.012
250	30	1500	0.074	0.005	0.105	0.010	0.009	0.045	0.055	0.030	0.036	0.015
300	40	1500	0.106	0.009	0.157	0.016	0.016	0.073	0.089	0.049	0.059	0.024
350	42	1500	0.144	0.012	0.204	0.020	0.020	0.088	0.106	0.059	0.071	0.029
400	45	1500	0.188	0.017	0.259	0.028	0.025	0.106	0.128	0.070	0.085	0.035
450	48	1500	0.238	0.022	0.319	0.037	0.035	0.130	0.158	0.087	0.105	0.043
500	50	1500	0.294	0.026	0.385	0.044	0.041	0.149	0.180	0.099	0.120	0.050
600	60	1500	0.424	0.038	0.545	0.074	0.058	0.215	0.261	0.144	0.174	0.072

Tablo 8.2. ϕ 200 mm. Buhar K rl  (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı

POZ NO: 08.157061	ANALİZİN ADI : φ 200 mm. Buhar K�rl� (Muflu) Beton Boru Hazırlanması			�L�� BİRİMİ : Mt		
NOT: Boru bünyesine giren kum - çakıl ve çimentonun her türlü nakliyesi ve bu nakliyelere ait yükleme, boşaltma, istif bedeli hariç						
Poz No.	C�NS�	�l�� Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı	Bölüm Toplamı
03.601/�B-1	Fabrika amortisman bedeli	Sa	0.024			
	Malzeme					
04.003/c	Granülometrik �akıl	m ³	0.017			
04.006/c	Granülometrik kum	m ³	0.012			
04.008	�imento	Ton	0.012			
04.031	Su (Sulama suyu dahil)	m ³	0.013			
04.108	Benzin	Kg	0.110			
04.109	Mazot	Kg	0.200			
04.109	Mazot (Fuel Oil karşılığı)	Kg	2.000			
04.110	Kalıp ya�ı	Kg	0.040			
04.112	Elektrik	Kw/h	3.500			
04.616/A	Sızdırmazlık contası	Kg	0.070			
	���ilik					
01.403	Makinist	Sa	0.012			
01.404	Operatör	Sa	0.012			
01.409	Formen	Sa	0.006			
01.501	Düz i��i	Sa	0.022			
01.502	Erbab i��i	Sa	0.022			
01.507	Birinci sınıf usta	Sa	0.010			
01.507/1	Birinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.010			
01.508	�kinci sınıf usta	Sa	0.007			
01.508/1	�kinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.007			
					Toplam	
	Sızdırmazlık ve basınç deneyi karşılığı Boru bedelinin % 1'i φ 200 mm. buhar k�rl� (Muflu) Beton boru hazırlanmasının 1 mt. fiyatı				Toplam	451.700

$$F_2 = 90.3 \times 0.002 \times 350 + 451.700 \times 0.75 = 401.985 \text{ TL/m}$$

$$F_4 = 90.3 \times 0.004 \times 350 + 451.700 \times 0.75 = 465.195 \text{ TL/m}$$

$$F_6 = 90.3 \times 0.006 \times 350 + 451.700 \times 0.75 = 528.405 \text{ TL/m}$$

Tablo 8.3. ϕ 300 mm. Buhar K rl  (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı

POZ NO: 08.157061	ANALİZİN ADI : φ 300 mm. Buhar Kürlü (Muflu) Beton Boru Hazırlanması			ÖLÇÜ BİRİMİ : Mt		
NOT: Boru bünyesine giren kum - çakıl ve çimentonun her türlü nakliyesi ve bu nakliyelere ait yükleme, boşaltma, istif bedeli hariç						
Poz No.	CİNSİ	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı	Bölüm Toplamı
03.601/İB-1	Fabrika amortisman bedeli	Sa	0.024			
	Malzeme					
04.003/c	Granülometrik çakıl	m ³	0.017			
04.006/c	Granülometrik kum	m ³	0.012			
04.008	Çimento	Ton	0.012			
04.031	Su (Sulama suyu dahil)	m ³	0.013			
04.108	Benzin	Kg	0.110			
04.109	Mazot	Kg	0.200			
04.109	Mazot (Fuel Oil karşılığı)	Kg	2.000			
04.110	Kalıp yağı	Kg	0.040			
04.112	Elektrik	Kw/h	3.500			
04.616/A	Sızdırmazlık contası	Kg	0.070			
	İşçilik					
01.403	Makinist	Sa	0.012			
01.404	Operatör	Sa	0.012			
01.409	Formen	Sa	0.006			
01.501	Düz işçi	Sa	0.022			
01.502	Erbab işçi	Sa	0.022			
01.507	Birinci sınıf usta	Sa	0.010			
01.507/1	Birinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.010			
01.508	İkinci sınıf usta	Sa	0.007			
01.508/1	ikinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.007			
					Toplam	
	Sızdırmazlık ve basınç deneyi karşılığı Boru bedelinin % 1'i φ 300 mm. buhar kürlü (Muflu) Beton boru hazırlanmasının 1 mt. fiyatı				Toplam	764.409

$$F_2 = 183.3 \times 0.002 \times 350 + 764.409 \times 0.75 = 701.618 \text{ TL/m}$$

$$F_4 = 183.3 \times 0.004 \times 350 + 764.409 \times 0.75 = 829.927 \text{ TL/m}$$

$$F_6 = 183.3 \times 0.006 \times 350 + 764.409 \times 0.75 = 958.237 \text{ TL/m}$$

Tablo 8.4. ϕ 400 mm. Buhar K rl  (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı

POZ NO: 08.157061	ANALİZİN ADI : φ 400 mm. Buhar K�rl� (Muflu) Beton Boru Hazırlanması	�L�� BİRİMİ : Mt				
NOT: Boru bünyesine giren kum - çakıl ve çimentonun her türlü nakliyesi ve bu nakliyelere ait yükleme, boşaltma, istif bedeli hariç						
Poz No.	C�NS�	�l� Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı	Bölüm Toplamı
03.601/�B-1	Fabrika amortisman bedeli	Sa	0.024			
	Malzeme					
04.003/c	Gran�lomelik �akıl	m ³	0.017			
04.006/c	Gran�lomelik kum	m ³	0.012			
04.008	�imento	Ton	0.012			
04.031	Su (Sulama suyu dahil)	m ³	0.013			
04.108	Benzin	Kg	0.110			
04.109	Mazot	Kg	0.200			
04.109	Mazot (Fuel Oil karşılığı)	Kg	2.000			
04.110	Kalıp ya�ı	Kg	0.040			
04.112	Elektrik	Kw/h	3.500			
04.616/A	Sızdırmazlık contası	Kg	0.070			
	���ilik					
01.403	Makinist	Sa	0.012			
01.404	Operatör	Sa	0.012			
01.409	Formen	Sa	0.006			
01.501	Düz i��i	Sa	0.022			
01.502	Erbab i��i	Sa	0.022			
01.507	Birinci sınıf usta	Sa	0.010			
01.507/1	Birinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.010			
01.508	�kinci sınıf usta	Sa	0.007			
01.508/1	�kinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.007			
					Toplam	
	Sızdırmazlık ve basınç deneyi karşılığı Boru bedelinin % 1'i φ400 mm. buhar k�rl� (Muflu) Beton boru hazırlanmasının 1 mt. fiyatı				Toplam	1170.314

$$F_2 = 264.5 \times 0.002 \times 350 + 1170.314 \times 0.75 = 1062.886 \text{ TL/m}$$

$$F_4 = 264.5 \times 0.004 \times 350 + 1170.314 \times 0.75 = 1248.036 \text{ TL/m}$$

$$F_6 = 264.5 \times 0.006 \times 350 + 1170.314 \times 0.75 = 1433.186 \text{ TL/m}$$

Tablo 8.5. ϕ 500 mm. Buhar K rl  (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı

POZ NO: 08.157061	ANALİZİN ADI : φ 500 mm. Buhar Kürlü (Muflu) Beton Boru Hazırlanması			ÖLÇÜ BİRİMİ : Mt		
NOT: Boru bünyesine giren kum - çakıl ve çimentonun her türlü nakliyesi ve bu nakliyelere ait yükleme, boşaltma, istif bedeli hariç						
Poz No.	CİNSİ	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı	Bölüm Toplamı
03.601/İB-1	Fabrika amortisman bedeli	Sa	0.024			
	Malzeme					
04.003/c	Granülometrik çakıl	m ³	0.017			
04.006/c	Granülometrik kum	m ³	0.012			
04.008	Çimento	Ton	0.012			
04.031	Su (Sulama suyu dahil)	m ³	0.013			
04.108	Benzin	Kg	0.110			
04.109	Mazot	Kg	0.200			
04.109	Mazot (Fuel Oil karşılığı)	Kg	2.000			
04.110	Kalıp yağı	Kg	0.040			
04.112	Elektrik	Kw/h	3.500			
04.616/A	Sızdırmazlık contası	Kg	0.070			
	İşçilik					
01.403	Makinist	Sa	0.012			
01.404	Operatör	Sa	0.012			
01.409	Formen	Sa	0.006			
01.501	Düz işçi	Sa	0.022			
01.502	Erbab işçi	Sa	0.022			
01.507	Birinci sınıf usta	Sa	0.010			
01.507/1	Birinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.010			
01.508	İkinci sınıf usta	Sa	0.007			
01.508/1	ikinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.007			
					Toplam	
	Sızdırmazlık ve basınç deneyi karşılığı Boru bedelinin % 1'i φ500 mm. buhar kürlü (Muflu) Beton boru hazırlanmasının 1 mt. fiyatı				Toplam	1605.251

$$F_2 = 374 \times 0.002 \times 350 + 1605.251 \times 0.75 = 1465.738 \text{ TL/m}$$

$$F_4 = 374 \times 0.004 \times 350 + 1605.251 \times 0.75 = 1727.538 \text{ TL/m}$$

$$F_6 = 374 \times 0.006 \times 350 + 1605.251 \times 0.75 = 1989.338 \text{ TL/m}$$

Tablo 8.6. ϕ 600 mm. Buhar K rl  (Muflu) Beton Borunun Birim Fiyatı

POZ NO: 08.157061	ANALİZİN ADI : φ 600 mm. Buhar Kürlü (Muflu) Beton Boru Hazırlanması			ÖLÇÜ BİRİMİ : Mt		
NOT: Boru bünyesine giren kum - çakıl ve çimentonun her türlü nakliyesi ve bu nakliyelere ait yükleme, boşaltma, istif bedeli hariç						
Poz No.	CİNSİ	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı	Bölüm Toplamı
03.601/İB-1	Fabrika amortisman bedeli	Sa	0.024			
	Malzeme					
04.003/c	Granülometrik çakıl	m ³	0.017			
04.006/c	Granülometrik kum	m ³	0.012			
04.008	Çimento	Ton	0.012			
04.031	Su (Sulama suyu dahil)	m ³	0.013			
04.108	Benzin	Kg	0.110			
04.109	Mazot	Kg	0.200			
04.109	Mazot (Fuel Oil karşılığı)	Kg	2.000			
04.110	Kalıp yağı	Kg	0.040			
04.112	Elektrik	Kw/h	3.500			
04.616/A	Sızdırmazlık contası	Kg	0.070			
	İşçilik					
01.403	Makinist	Sa	0.012			
01.404	Operatör	Sa	0.012			
01.409	Formen	Sa	0.006			
01.501	Düz işçi	Sa	0.022			
01.502	Erbab işçi	Sa	0.022			
01.507	Birinci sınıf usta	Sa	0.010			
01.507/1	Birinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.010			
01.508	İkinci sınıf usta	Sa	0.007			
01.508/1	ikinci sınıf usta yardımcısı	Sa	0.007			
					Toplam	
	Sızdırmazlık ve basınç deneyi karşılığı Boru bedelinin % 1'i φ500 mm. buhar kürlü (Muflu) Beton boru hazırlanmasının 1 mt. fiyatı				Toplam	2049.909

$$F_2 = 541.8 \times 0.002 \times 350 + 2049.909 \times 0.75 = 1916.692 \text{ TL/m}$$

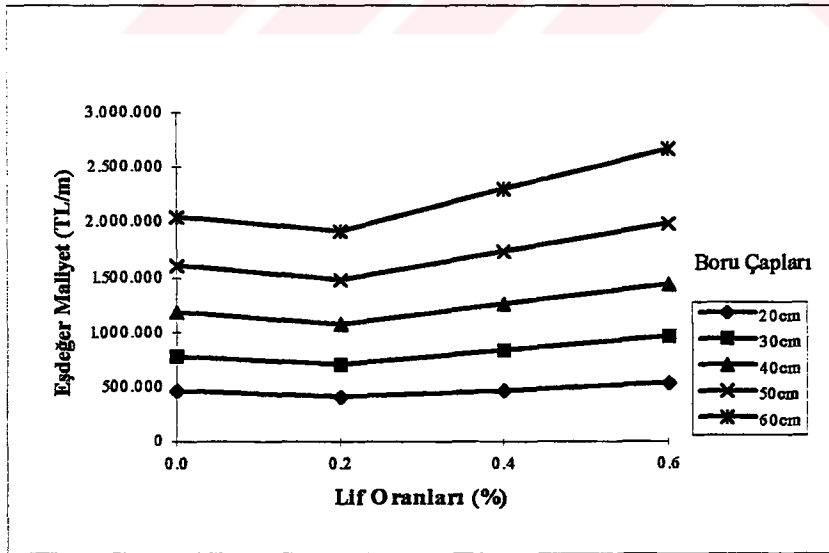
$$F_4 = 541.8 \times 0.004 \times 350 + 2049.909 \times 0.75 = 2295.952 \text{ TL/m}$$

$$F_6 = 541.8 \times 0.006 \times 350 + 2049.909 \times 0.75 = 2675.212 \text{ TL/m}$$

Cam lifli beton boruların analiz sonuçları Tablo 8.7’de verilmiştir. Tablo 8.7’de de görüldüğü gibi %0.2 lif oranına kadar beton boruların maliyetinde %11 civarında bir avantaj sağlanmıştır. %0.2’den sonraki lif oranlarında ise %30’lara varan bir maliyet artışı hesaplanmıştır. Bunun için %0.2 oranında lif kullanılmasının maliyet yönünden uygun olacağı ve %0.2 lif oranından sonra ise uygun olmayacağı hesaplanmıştır. Şekil 8.1’de lif oranlarına bağlı olarak eşdeğer maliyetin değişimi her boru için ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 8.7. Cam Lifli Beton Boruların Lifsiz Borularla Fiyatlarının Mukayesesi

Boru Çapı (cm)	Lif Oranı (%)	Cidar Kalınlığı (cm)	Kum + Çakıl + Çimento Miktarı (kg)	Lifsiz Boru Fiyatı (TL/ m)	Cidar Kalınlığı Azaltılmış Boru Fiyatı (TL/ m)	Lifli Boru Fiyatı (TL/ m)	Artış(+) Azalış(-) (%)
20	0.2	3.0	90.3	451.700	338.775	401.985	+11.00
	0.4					465.195	- 2.90
	0.6					528.405	- 16.80
30	0.2	4.0	183.3	764.409	573.31	701.618	+ 8.06
	0.4					829.927	- 8.42
	0.6					958.237	- 16.80
40	0.2	4.5	264.5	1170.314	877.74	1062.886	+ 9.15
	0.4					1248.036	- 6.70
	0.6					1433.186	- 22.60
50	0.2	5.0	374	1605.251	1203.94	1465.738	+ 8.65
	0.4					1727.538	- 7.70
	0.6					1989.338	-23.84
60	0.2	6.0	541.8	2049.909	1537.43	1916.692	+ 6.56
	0.4					2295.952	- 12.05
	0.6					2675.212	- 30.49



Şekil 8.1. Lif Oranlarına Bağlı Olarak Eşdeğer Maliyetlerin Değişimi

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Cam liflerin beton numuneler ve beton borular üzerindeki etkileri şöyle özetlenebilir:

Cam liflerin beton numuneler üzerindeki etkileri:

- Cam lif katkılı numunelerde boşluk oranının fazla olması, karışıma katılan liflerin fazla su emmesi ve daha az homojen olmasından dolayı, lif oranının artması ile basınç dayanımında azalma olmaktadır. Fakat bu azalma çok düşük değerlerdedir.

-Lif katkılı numunelerde boşluk oluşması ve bu liflerin aderanslarının iyi olmamasından dolayı numunelerin donma-çözülme olayından etkilendikleri, yüzeydeki çatlakların fazla geliştikleri fakat, numunelerde lif katkısından dolayı kopmaların olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte %0.2 lif oranında az da olsa donma-çözülme miktarının azaldığı görülmektedir. Fakat 1 yıl toprak altında ve açıkta bekletilmiş numunelerin durabilite yönünden etkilenmediği ve daha fazla dayanıma sahip olduğu deneylerle bulunmuştur.

-Cam lifi ilave edilmiş numunelerde sürtünme yolu ile aşınma kaybı %0.2 lif oranına kadar azalmakta diğer lif oranlarında ise artmaktadır. TS 2824'e göre sürtünme yoluyla aşınma kaybı değeri 50 cm^2 'de ortalama 13 cm^3 'den fazla olmaması gerekmektedir. Yapılan deneyler neticesinde %0.6 lif oranı için aşınma kaybı değeri 7.8 cm^3 olarak bulunmuştur. Bu da cam lifli olarak üretilmiş beton boruların aşınma kaybı yönünden her hangi bir sorun teşkil etmeyeceğini göstermektedir.

-Lif oranının artması ile beton numunelerinin eksenel çekme dayanımları %100 oranında artmaktadır. Yine lif oranına bağlı olarak numunelerin deplasman yapabilme özelliklerinde önemli ölçüde bir artış sağlanmıştır.

-Özel olarak hazırlanmış beton numuneler üzerinde yapılan basınç altında çekme deneyinde, lif oranı arttıkça çekme dayanımları ve kopma dayanımları artmaktadır. Cam lifler beton içerisinde bir nevi donatı görevi gördüklerinden lifli numunelerde kopmaların daha geç olduğu ve daha fazla deplasman yaptığı deneylerle bulunmuştur. Cam lifsiz olarak hazırlanmış deney numunelerinde çekme dayanımı 5.7 N/mm^2 iken %0.6 lif oranında bu değer 14.04 N/mm^2 'ye ulaşmaktadır.

-Eğilme deneyinde üçte bir ve tek noktadan yüklenmiş basit kirişlerin eğilme dayanımları lif oranlarına bağlı olarak artabilmektedir. Çünkü lif takviyesi, beton içerisinde üç boyutlu bir mikro donatı vazifesi görmesi nedeni ile, betonun zayıf olan eğilme dayanımında önemli iyileşmeler sağlamaktadır. Cam lifsiz olarak hazırlanmış numunelere göre; üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kirişlerde cam lifli eğilme dayanımı %67.78; tek noktadan yüklenmiş basit kirişlerde ise %54.32'lik bir artış sağlamaktadır.

-Cam lif takviyeli beton, asbestle imal edilmiş olan betonlara alternatif olarak düşünülebilir. Bunun başlıca sebeplerinden biri asbestli mamullerin uygun olmayan kullanımlarda, kanser yapıcı ince tozlar taşımasıdır. Fakat cam lifli çimento mamullerinde böyle bir durum söz konusu değildir.

-Lifli betonların sünekliği, lif takviyesine bağlı olarak iyileşmekte ve beton gevrek bir yapıdan az da olsa uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla betonun kırılma enerjisi artmaktadır.

-Lifli betonun kullanım amaçlarından biri de, betonda oluşan ve betonun doğal özelliği olarak kabul edilen plastik rötre çatlakları ile termik çatlakları önlemeyebilme özelliğidir. Cam lifler, betonun ilk zamanlardaki plastik rötre çatlaklarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı, anılan lifler betonun dayanıklılığını arttırmak, ana donatıyı korrozyona karşı korumak, plastik rötre ve termal çatlakları önlemek amacıyla kullanılabilir.

Cam liflerin beton borular üzerindeki etkileri:

-Belli oranlarda cam lifi katılarak üretilen beton borular üzerinde yapılan deneylerde tepe basınç yüklerinde % 25' lere ulaşan bir artışın olduğu ve TS 821' de verilen kırılma yüklerinin çok üstünde bir kırılma yüküne ulaşıldığı saptanmıştır. Cam liflerle üretilmiş beton boruların uzun süre toprak altında kalmasına rağmen tabiat şartlarından ve asidik ortamdan etkilenmediği ve daha çok dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum cam lif katkılı beton boruların basınçsız pis su ve yağmur suyu kanalizasyon inşaatlarında kullanılmasının uygun olabileceğini göstermektedir. Ayrıca beton boruların tepe basınç yüklerinin teorik olarak hesaplanması yapılmış ve deney sonuçları ile uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

-Beton boruların iç ve dış yüzeyleri lif kullanıldığında daha düzgün ve pürüzsüz olmaktadır. Cam lifli beton boruların köşe ve kenarları kırksız ve çapaksızdır. Yüzeydeki gözeneklerin yükseklikleri ve derinlikleri TS 821' de belirtilen değerlerin altında olduğu ve lifsiz borulara nazaran daha pürüzsüz ve düzgün olduğu yapılan deneylerle tespit edilmiştir.

-TS 821'e göre cam lifli beton boruların alın yüzlerinin düzgünlüğü lifsiz borulara göre daha düzgündür. Lifsiz dökülmüş borularda, ortalama sapma 3.0 mm iken bu değer %0.6 lif oranı için 2.0 mm'ye kadar düşmektedir. Çünkü lifler beton içerisinde bir nevi donatı vazifesi yaptıklarından imalat esnasında sarsıntılardan daha az etkilenmektedirler.

-Boru iç yüzünün düzgünlüğü muayenesinde lifli boruların lifsiz borulara nazaran daha düzgün olduğu yapılan ölçümler sonucu bulunmuştur. TS 821'e göre boru iç yüzeyinde bulunan eğrilik, boru boyunun %5'inden büyük olmaması gerekir. Cam lifi katılmış beton borularda bu değer %0.6 lif oranı için %0.08 değerine kadar düşebilmektedir.

-Cam lif katkılı beton boruların sızdırmazlığı, lif katkısız beton borulara göre %33.3 oranında bir avantaj sağlayabilmektedir. Çünkü cam lifler beton boruların imalatı sırasında doğabilecek boşlukları doldurup sızdırmazlığı azaltmaktadır. Dolayısıyla kanalizasyon inşaatlarında kullanıldığında pis suların çevreye zarar vermesini önlemiş olacaktır. Bu özellik gerek insan sağlığı ve gerekse çevrenin temizliği açısından oldukça önemlidir.

-Deney sonuçlarının değerlendirilmesinden elde edilen diğer bir noktada; aynı tepe basıncı için cam liflerle üretilmiş beton boruların cidar kalınlığının %25 oranında azaltılabilesidir. Daha küçük cidar kalınlığına sahip lifli beton boruların ağırlıkları liffsiz beton boruların ağırlıklarına göre daha hafif olacaktır. Bu özelliğinden dolayı taşınması ve yerine yerleştirilmesi daha kolay olmaktadır. Sonuç olarak, cam liflerin beton numuneler ve beton borular üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri tablo halinde aşağıdaki şekilde verilebilir.

Araştırılan Özellik	Olumlu	Olumsuz
BETON NUMUNELER ÜZERİNDE		
Basınç Dayanımı		✓
Donma-Çözülme Dayanımı	✓	
Aşınma	✓	
Eksenel Çekme	✓	
Endirekt Çekme	✓	
Eğilme Dayanımı	✓	
BETON BORULAR ÜZERİNDE		
Tepe Basınç Yüklü	✓	
Sızdırmazlık	✓	
Su Emme		✓
Biçim ve Görünüş Muayenesi	✓	
Alın Yüzünün Düzgünlüğünün Muayenesi	✓	
Boru İç Yüzünün Düzgünlüğünün Muayenesi	✓	

KAYNAKLAR

- ACI COMMITTEE 644. (1978), **"Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete"**. ACI Journal. July, 75-30.
- ARREA, M. AND INGRAFFEA, A.R., (1982), **"Mixed-Mode Crack Propagation in Mortar and Concrete"**, Report No. 81-13, Department of structural Engineering, Cornell University, Ithaca, New York.
- ARSLAN, A., ve ULUCAN, Z.Ç., (1997), **"Çelik Liflerin Erken Yaştaki Betonarme Kirişlerin Göçmesine Etkisi"**, İMO Teknik Dergi, 1507-1515, Yazı 110, Kısa Bildiri.
- ARSLAN, A., (1987), **"Çelik Lif Donatılı Normal Betonlarda Yavaş ve Hızlı Yükleme Durumlarında Gerilme-Gerinim Özellikleri"**, (Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı), Elazığ.
- BARR, B.I.G. AND HASSO, E.B.D., (1985), **"A Study of Toughness Indices"**, Magazine of Concrete Research, Vol. 37, No 132, pp. 162-174.
- BARR, B.I.G. AND LIU, K., (1982), **"Fracture of GRC Materials"**, Int Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 4, No 3, pp. 163-171.
- BAZANT, Z.P. AND PFEIFFER, P.A., (1985), **"Tests on Shear Fracture and Strain-Softening in Concrete"**, Proc. of Second Symposium on The Interaction of Non-nuclear Munitions with Structures, Florida.
- CAMSAR Sanayi Ara Malları Pazarlama A.Ş., (1992?), Cam Elyaf Atölye Bilgileri, **Katalog**, İstanbul.
- DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi, (1994), **"Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton"**, (Yayın No: MLZ-878), Ankara.
- CHIANG, W.T. AND MILLER, K.J., (1984), **"Fracture Behaviour and Stress Fields of Cracked Bend Specimens Subjected to Mixed Mode Loading"**, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 19, No. 4, pp. 621-632.
- ÇINAR, H., (1975), Tel Lifli Beton Üzerine Bir Araştırma (TÜBİTAK Yayın No:) **V. Bilim Kongresi**, Antalya.
- COLE, D.G., (1967), **"Some Mechanical Aspects of Compression Testing Machines, Magazine of Concrete Research"**, Vol: 19, No: 61, pp, 247-251.
- DAHLBLOM, O. AND GUSTAFSSON, P.J., **"(1995), Load Capacity of Ig flat bottom Pipes: Fracture Mechanics Analysis of Different Load Configurations"**, Report TVSM-7099 (in Swedish), Division of Structural

Mechanics, Lund University.

DENTOU, P.E., (1976), **"The Technology of Compression Machines"**, Concrete Journal, Vol 10, No 10, pp 23-26.

DSİ TEKNİK ARAŞTIRMA VE KALİTE KONTROL DAİRESİ (1994), **"Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton"**, Yayın No. MLZ-878, Ankara, s. 175.

EDGINGTON, J. HANNANT, D.J. AND WILLIAMS R.I.T., (1974), **"Steel Fibre Reinforced Concrete"**, BRE Current Paper CP69/74, pp 17.

EKİNCİ, C.E., (1995), **"Antalya Etibank Elktrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi"**, (Doktora Tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı), Elazığ.

ELVERY, R.H., AND HAROUN, W, (1968), **"A Direct Tensile Test for Concrete Under Long-or Short-Term Loading"**, Magazine of Concrete Research, Vol 20, No 63, pp 111-116.

ESEN, Y., (1986), **"Polivinil Alkol Katkılı Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması"**, (Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı).

FATTUHI, N.I., (1974), **"Properties of Steel Fibre Reinforced Cement-Based Matrices"**, MEng thesis, Civil Engineering Department, Sheffield University, p 357.

GAO, H., WANG, T.C., YUNG, C.S. AND ZHOU, A.H., (1979), **"An Investigation on the Brittle Fracture of K_I - K_{II} Combined Mode Cracks"**, ACTA Metallurgic Sinica, Vol. 15, pp. 380-391.

GUSTAFSSON, P.J. (1983), **"Beam Bending and Ring Bending Failure Loads of Unreinforced Concrete Pipes - Theoretical Methods of Calculation"**, Rapport TVBM-301+2 (in Swedish), Division of Building Materials, Lund University, 65.

GUSTAFSSON, P.J. (1985), **"Fracture Mechanics Studies of Non-Yielding Materials Like Concrete: Modelling of Tensile Fracture and Applied Strength Analysis"**, Report TVBM-1007, Division of Building Materials, Lund University, 422.

GUSTAFSSON, P.J. (1988), **"Comments and an Evaluation of a Test-Series in Connection with Revision of VAV P9"**, Repot TVBM-7044 (in Swedish), Division of Structural Mechanics, Lund University, 18.

HUGHES B.P. AND FATTUHI, N.I., (1977), **"Stress-Strain Curves for Fibre**

Reinforced Concrete in Compression", Cement and Concrete Research, Vol 7, No 2, pp 173-184.

HUGHES, B.P. and BAHRAMIAN, B., (1965), **"Cube Tests and the Uniaxial Compressive Strength of Concrete"**, Magazine of Concrete Research, Vol 17, No 53, pp 177-182.

HUGHES, B.P. AND CHAPMAN, G.P., (1965), **"Direct Tensile Test for Concrete Using Modern Adhesives"**, Rilem Bulletin, No 26, pp 77-80.

HUGHES, B.P. AND FATTUHI, N.I., (1977), **"Fibre Reinforced Concrete in Direction Tension"**, JBCSA Conference Fibre Reinforced Materials: desing and engineering applications, ICE, London, pp 127-133.

HUGHES, B.P. AND FATTUHI, N. I., (1977), **"Load-Deflection Curves for Fibre Reinforced Concrete Beams in Flexure"**, Magazine of Concrete Research, Vol. 29, No 101.

HUGHES, B.P. AND FATTUHI, N.I, (1976), **"Flexural Testing of Fibre-Reinforced Cement Paste Beams"**, Concrete, Vol 10, No 6, pp 23-25 and p 30.

INGWERSEN, J.B. AND THYGESEN, E., (1994), **"Private Communication"**, Unicon Beton, Roskilde, Denmark.

JOHNSTON, C.D. AND COLEMAN, R. A, (1973), **"Strength and Deformation of Steel Fibre Reinforced Mortar in Uniaxial Tension"**, Proc. Int. Symp. Publication SP-44, American Concrete Institute, Paper 10, pp 177-193.

JOHNSTON, C.D. AND SIDWELL, E.H., (1968), **"Testing Concrete in Tension and in Compression"**, Magazine of Concrete Research, Vol 20, No 65, pp 221-228.

JOHNSTON, C.D., (1982), **"Definition and Measurement of Flexural Foughness Parameters for Fiber Reinforced Concrete"**, Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP, Vol. 4, No. 2, pp, 53-60.

OLESEN, S.Ø. AND PEDERSEN, E.S. (1991) **"Testing of Ig-800 Flat bottom Pipes"**, Report 16702 (in Danish), DTI-Byggeteknisk Institut, Danmark, 40.

OYMAEL, S., (1995), **"Bitümlü Şist Külünün Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi"**, (Doktora Tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı), Elazığ.

PAKOTİPRAPHA, B. PAMA, R.P. AND LEE, S.L., **"Mechanical Properties of Cement Mortar with Randomly Orientated Short Steel Wires"**, Magazine of Concrete Research, Vol 26, No 86, pp, 3-15.

- PETERSSON, P.E., (1981) **"Crack growth and development of fracture zones in plain concrete and similar materials"**, Report TVBM-1006, Division of Building Materials, Lund University, 174.
- POSTACIOĞLU, B., (1986), **"Beton Bağlayıcı Maddeleri (Cilt: 1)"**, İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- POSTACIOĞLU, B., (1987), **"Beton: Agregalar, Beton (Cilt. II)"**, İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- POSTACIOĞLU, B., (1988), **"Yapı Malzemesinin Esasları"**, İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- RILEM, (1978), **"Testing and Test Methods of Fibre Cement Composites"**, Poceedings of RILEM Symposium 1978, The Construction Press, Lancaster.
- ROBİNS, P.J. ve CALDENWOD, R.W., **"Explosive Testing of Fiber Reinforced Concrete"**, Concrete, Ocak, 1978.
- ROBİNS, P.J. ve CALDERWOD, R.W. (1978), **"Explosive Testing of Fiber Reinforced Concrete"**, Concrete, s. 76-78.
- ROMUALDI, J.P. AND MANDEL, J.A., (1964), **"Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement"**, Journ. American Concrete Institute, Proc. Vol 61, No 6, pp 657-671.
- ROTS, J.G., NAUTA, P., KLUSTERS, G.M.A. AND BLAAWENDRAAD, J., **"Smeared Crack Approach and Fracture Localization in Concrete"**, Heron, vol. 30, No. 1, pp. 48.
- SHAH, S.P. AND RANGAN, B.V., (1971), **"Fibre Reinforced Concrete Properties"**, Journ. American Concrete Institute, Vol 68, No 2, pp 126-135.
- SIGVALDASON, O.T., (1966), **"The Influence of Testing Machine Characteristics Upon The Cube and Cylinder Strength of Concrete"**, Magazine of Concrete Research, Vol 18, No 57, pp, 197-205.
- SNYDER, M.J. AND LANKARD, D.R., (1972), **"Factors Affecting the Flexural Strength of Steel Fibrous Concrete"**, Journ. American Concrete Institute, Vol 69, No 2, pp 96-100.
- SUARİS, W. ve SHAH, S.P.; **"Test Methods for Impact Resistance of Fiber Reinforced Concrete"**, Fiber Reinforced Concrete, ACI Publication SP-81 (Ed. Hoff, G.C.), Detroit, 1985.
- SUARİS, W. ve SHAH, S.P.; (1985), **"Test Methods for Impact Resistance of Fiber**

Reinforced Concrete", Fiber Reinforced Concrete, ACI Publication SP-81 (Ed. Hoff, G.C.), Detroit, s. 247-266.

THOMAS, W.F. AND BARR, B.I.G., **"The Development of a Compact Shear Test Specimen"**, To be published.

THYGESEN, E. (1995) **"Design of FRC-Materials in Structures"**, Erhvervsforskerprojekt EF 330 (in Danish), Unicon Beton, Roskilde, Denmark, 168.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1972), **"TS 437 Asbestli Çimento Basıncsız Pis Su ve Yağmur Suyu Boruları İle Boru Özel Parçaları"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1978), **"TS 130 Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1979), **"TS 3284 Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Üçtebir Noktalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle)"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1979), **"TS 3323 Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1980), **"TS 3449 Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1980), **"TS 3526 Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1980), **"TS 706 Beton Agregaları"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1981), **"TS 3455 Betonda Geçirgenlik Katsayısı Tayin Metodu"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1981), **"TS 3502 Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1981), **"TS 3502 Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1983), **"TS 3830 Beton Boru Yapım Kuralları"**, Ankara.

TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1984), **"TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları"**, Ankara.

- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1990), **“TS 3114 Beton Basınç Mukavemeti Tayini”**, Ankara.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1990), **“TS 8360 Asbestli Çimento Sıhhi Tesisat Boruları-Binalarda Kullanılan”**, Ankara.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1991), **“TS 1902 Boru, Manşon ve Özel Parçalar-Asbestli Çimento, İç Basıncsız Çalışan-Kanalizasyon ve Drenaj Şebekeleri İçin”**, Ankara.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1992), **“TS 19 Çimento-Portland Çimentoları”**, Ankara.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü), (1993), **“TS 821 Beton ve Betonarme Borular-Özel Parçaları (Basıncsız Pis Su ve Yağmur Suyu İçin)”**, Ankara.
- VA-VERK, (1992), **“Statistical Data Concerning Municipal Water and Sewage Works”**, Rapport VAV S92 (in Swedish), Svenska Vatten- och Avloppsföreningen, Stockholm.
- VISALVANICH, K. AND NAAMAN, A.E., (1981), **“Fracture Methods in Cement Composites”**, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proc. of A.S.C.E., Vol. 107, No EM6, pp 1155-1171.
- WESTLY, J.W., (1966), **“Some Experiments on Concrete Cubes with Non-Plane Surfaces”**, Magazine of Concrete Research, Vol 18, No 54, pp 35-37.
- ULUCAN, Z.Ç., (1993), **“Mixed-Mode Fracture Performance of FRC under Impact Loading”**, Gazi Mağusa-North Cyprus October 25-27.