

**YÜKSEK DAYANIMLI BETON ÜRETİMİNDE DİZAYN PARAMETRESİ
OLARAK LİFSEL KATKILARIN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar Seden ACUN

502980108011

101059

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erol GÜRDAL
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nihat Toydemir
Doç. Dr. Fevziye Aköz (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı yürüten, tezin meydana gelmesinde önerileri ile yol gösteren gerek konu seçimimde ve deney sisteminin düzenlenmesindeki katkısı, gerekse tüm çalışmam boyunca yardımları ve gösterdiği anlayış için Hocam Prof. Dr. Erol Gürdal'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, çalışmam boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen Beksa satış müdürü Mehmet Yerlikaya'ya, literatür araştırmamda yardımcı olan İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi kütüphane çalışanlarına, Doç. Dr. Mustafa Karagüler'e, Yrd. Doç. Dr. Leyla Tanaçan'a, destek ve teşviki için Yüksek Mimar Mustafa Özgünler'e ve Yüksek Mimar Buket Önem'e teşekkür ederim.

İ.T.Ü Malzeme Laboratuvarında, deneysel çalışmalarımın her safhasında yardımlarını esirgemeyen İbrahim Öztürk'e ve tüm hayatım boyunca yardım ve desteğini gördüğüm, babam Elk.Müh.R. Vecdi Acun'a ve annem Şükran Acun'a teşekkürlerimi sunarım.

Haziran,2000

Seden ACUN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Lifler Hakkında Genel Bilgi	2
1.1.1. Liflerin Tanımı	2
1.1.2. Lif Çeşitleri	3
1.1.3. Liflerin Özellikleri	4
1.1.4. Liflerin Yapıda Kullanımları	9
1.2. Betona Yüksek Mukavemet Kazandıran Lifler	10
2. ÇELİK TEL TAKVİYELİ BETONLAR	12
2.1. Normal Betonda Çelik Lifler	12
2.1.1. Çelik Tel Takviyeli Betonda Kullanılan Çelik Lifler	12
2.1.1.1. Çelik Tellerin Yapısı	14
2.1.1.2. Çelik Tellerin Birleştirilmesi	14
2.1.1.3. Çelik tellerin Paslanma Direnci	14
2.1.1.4. Çelik Liflerin Sınıflandırılması ve Özellikleri	15
2.1.1.5. Çelik Lif Takviyeli Betonun Teknik Özellikleri	16
2.1.2. Betonda Kullanılan Çelik Liflerin Karışım Usulleri	17
2.1.2.1. Karıştırma Yöntemleri	17
2.1.2.2. Kontrol Kuralları	18
2.1.2.3. Çelik Lif Takviyeli Betonun Döküm Esasları	20
Hazırlık	20
2.1.3. Çelik Lif Takviyeli Betonda Uygulanan Testler	20
2.1.3.1. İşlenebilirlik (Workability) Testleri	20
2.1.3.2. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler	21
2.1.4. Çelik Lif Takviyeli Betonun Mekanik Özellikleri	23
2.1.4.1. Çelik Lif Takviyeli Betonun Basınç Altında Davranışı	24
2.1.4.2. Çelik Lif Takviyeli Betonun Çekme Gerilmesi Altında Davranışı	26
2.1.4.3. Çelik Lif Takviyeli Betonun Eğilme Altında Davranışı	30
2.1.4.4. Çelik Lif Takviyeli Betonun Darbe Etkisi Altında Davranışı	31

2.1.4.5. Çelik Lif Takviyeli Betonun Aşınma ve Kayma Direnci, Isı ve Elektrik İletkenlik Özellikleri	32
2.1.5. Çelik Lif Takviyeli Betonun Mekanik Özelliklerini Etkileyen Faktörler	32
2.1.5.1. Isıl İşlem Uygulamalarının Lifli Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi	33
2.1.6. Çelik Tel Takviyeli Beton Uygulamaları	35
2.1.6.1. Çelik Tel Takviyeli Beton Endüstriyel döşemeler	35
2.1.6.2. Çelik Lif Takviyeli Beton Kaplamalar	35
2.1.6.3. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Prefabrike Yapılarda Kullanılması	39
2.1.6.4. Güvenlik Yapılarında Kullanımı	40
2.1.6.5. Çelik Lif Takviyeli Betonda Derz Açıklıkları	40
2.1.7. Çelik Lif Takviyeli Betonların Yarar ve Sakıncaları	40
2.1.7.1. Çelik Lif Takviyeli Normal Betonun Ekonomik Yararları	40
2.1.7.2. Çelik Lif Takviyeli Normal Betonun Teknik Yararları	41
2.1.7.3. Çelik Lif Takviyeli Püskürtme Betonun Ekonomik Yararları	41
2.1.7.4. Çelik Lif Takviyeli Püskürtme Betonun Teknik Yararları	41
2.2. Püskürtme Betonda (Shotcrete) Çelik Lifler	41
2.2.1. Shotcrete Teknolojisi	42
2.2.2. Nerede ve Neden Ç.T.T.B/Ç.T.T.S Kullanılır	43
2.2.3. Çelik Lif Takviyeli Shotcrete ile Çelik Hasır Karşılaştırılması	45
2.2.4. Çelik Lif Takviyeli Shotcrete Uygulamaları	46
2.2.4.1. Tünelde Çelik Lifli Püskürtme Beton Üretiminde Uyulması Gerekenler	46
2.2.5. Çelik Lif Takviyeli Püskürtme Betonun Mekanik Özellikleri	47
2.3. Hafif Ve Yarı Hafif Betonlarda Çelik Lifler	48
2.3.1. Çelik Lifli Hafif ve Yarı Hafif Beton Üretimi	48
2.3.2. Çelik Lifli Hafif ve Yarı Hafif Betonların Yapıda Kullanımı	49
2.3.3. Çelik Lifli Hafif ve Yarı Hafif Betonların Deney Sonuçları	49
3. POLİMER LİF TAKVİYELİ BETONLAR	53
3.1. Polimer Lif Takviyeli Betonda Kullanılan Lifler	53
3.1.1. Polimer Liflerin Yapısı ve Özellikleri	53
3.1.2. Polimer Lifli Betonların Teknik Özellikleri	53
3.1.3. Polipropilen Lifli Betonun Teknik Özellikleri	57
3.2. Betonlarda Kullanılan Polimer Liflerin Karışım Usulleri	57
3.3 Polimer Lifli Taze Betonda Uygulanabilen Testler	58
3.3.1. İşlenebilirlik Testleri	58
3.4. Polimer Lifli Betonun Mekanik Özellikleri	58
3.4.1. Polimer Lif Takviyeli Betonun Basınç Altında Davranışı	60
3.4.2. Polimer Lif Takviyeli Betonun Çekme Gerilmesi Altında Davranışı	62
3.4.3. Polimer Lif Takviyeli Betonun Eğilme Altında Davranışı	62
3.4.4. Polimer Lif Takviyeli Betonun Aşınma ve Kayma Direnci, Isı ve Elektrik İletkenlik Özellikleri	63
3.5. Çelik Liflerle Polimer Liflerin Farkları	63

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	65
4.1. Kullanılan Malzemeler	65
4.1.1. Agregaların Özellikleri	65
4.1.2. Çimento Bağlayıcısının Özellikleri	66
4.1.3. Çelik Liflerin Özellikleri	68
4.1.4. Polipropilen Liflerin Özellikleri	69
4.1.5. Katılan Akışkanlaştırıcının Özellikleri	71
4.2. Beton Bileşimleri, Kabul Edilen Esaslar Ve Numuneler İle İlgili Açıklamalar	72
4.2.1. Beton Bileşim Hesapları	73
4.2.2. Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme ve Kür Koşulları	75
4.2.3. Beton Numunelerinin Boyut ve Sayıları	78
4.2.4. Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler	78
4.2.4.1. Taze Beton Deneyleri	78
4.2.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	79
4.2.5. Deney Numunelerinin Kodlanması	81
5. DENEY SONUÇLARI	82
5.1. Taze Betonda Deney Sonuçları	82
5.2. Sertleşmiş Betonda Deney Sonuçları	83
5.2.1. Normal Beton Silindir Numunelerde Yapılan Deneyler	83
5.2.1.1. NBSN(Normal Beton Silindir Numune)'de Basınç Mukavemet Hesapları	83
5.2.1.2. NBSN'de Elastiklik Modülü Tayini	85
5.2.2. Normal Beton Kiriş Numunelerde Yapılan Deneyler	86
5.2.2.1. NBKN (Normal Beton Kiriş Numune)'de Eğilmede Çekme Mukavemeti Deneyi Hesapları	87
5.2.2.2. NBKN'de Elastiklik Modülü Tayini	87
5.2.2.3. NBKN'nin Kırılan Parçaları Üzerinde Basınç Mukavemet Hesapları	89
5.2.3. Çelik Lif Takviyeli Beton (Hacimce %0,5-%1-%1,5 oranlarında) Silindir Numunelerde Karşılaştırmalı Yapılan Deney Sonuçları	89
5.2.3.1. ÇLTBSN'de (Çelik Lif Takviyeli Beton Silindir Numune) Basınç Mukavemet Hesapları	90
5.2.3.2. ÇLTBSN'de Elastiklik Modülü Tayini	92
5.2.4. Çelik Lif Takviyeli Beton (Hacimce %0,5-%1-%1,5 oranlarında) Kiriş Numunelerde Karşılaştırmalı Yapılan Deney Sonuçları	95
5.2.4.1. ÇLBKN (Çelik Lifli Beton Kiriş Numune)'de Eğilmede Çekme Mukavemeti Hesapları	95
5.2.4.2. ÇLBKN'de Elastiklik Modülü Tayini	97
5.2.4.3. ÇLBKN'nin Kırılan Parçaları Üzerinde Basınç Mukavemet Hesapları	102
5.2.5. Polipropilen Lifi Takviyeli Beton (Hacimce %0,06-%0,08-%0,09) Silindir Numunelerde Karşılaştırmalı Yapılan Deney Sonuçları	103
5.2.5.1. PLBSN'de (Polipropilen Lif Takviyeli Beton Silindir Numune) Basınç Mukavemet Hesapları	103

5.2.5.2. PLBSN'de Elastiklik Modülü Tayini	105
5.2.6. Polipropilen Lifi Takviyeli Beton (Hacimce %0,06-%0,08-%0,09) Kiriş Numunelerde Karşılaştırmalı Yapılan Deney Sonuçları	109
5.2.6.1. PLBKN (Polipropilen Lifli Beton Kiriş Numune)'de Eğilmede Çekme Mukavemeti Hesapları	109
5.2.6.2. PLBKN'de Elastiklik Modülü Tayini	109
5.2.6.3. PLBKN'nin Kırılan Parçaları Üzerinde Basınç Mukavemet Hesapları	115
5.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	117
5.3.1. Çelik Lifli Betonların Özellikleri ile İlgili Bulunan Sonuçlar	117
5.3.1.1. Çelik Lif Oranı ile E-Modülü İlişkisi	117
5.3.1.2. Çelik Lif Oranı ile Basınç ve Eğilmede Çekme Dayanımı İlişkisi	118
5.3.2. Polipropilen Lifli Betonların Özellikleri ile İlgili Bulunan Sonuçlar	119
5.3.2.1. Polipropilen Lif Oranı ile E-Modülü İlişkisi	119
5.3.2.2. Polipropilen Lif Oranı ile Basınç ve Eğilmede Çekme Dayanımı İlişkisi	120
5.3.3. NB ile Lifli Betonların Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	121
6. SONUÇLAR	124
KAYNAKLAR	126
EKLER	130
ÖZGEÇMİŞ	154

KISALTMALAR

FRC	:Fiber Reinforced Concrete (Çelik Lif Takviyeli Beton)
NB	:Normal Beton
ÇLB	:Çelik Lifli Beton
PLB	:Polipropilen Lifli Beton
CO	:Concrete (Beton)
FCO	:Fiber Concrete (Lifli Beton)
HCO	:High Strength Concrete (Yüksek Dayanımlı Beton)
FHCO	:Fiber High Strength Concrete (Lifli Yüksek Dayanımlı Beton)
ÇTTB	:Çelik Tel Takviyeli Beton
ÇTTS	:Çelik Tel Takviyeli Shotcrete (Püskürtme Beton)
PKÇ	:Portland Kompoze Çimento
NBSN	:Normal Beton Silindir Numune
NBKN	:Normal Beton Kiriş Numune
ÇLTBSN	:Çelik Lif Takviyeli Beton Silindir Numune
ÇLTBKN	:Çelik Lif Takviyeli Beton Kiriş Numune
PLBSN	:Polipropilen Lifli Beton Silindir Numune
PLBKN	:Polipropilen Lifli Beton Kiriş Numune

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Polimer liflerin fiziksel özellikleri.....	9
Tablo 2.1. Betona ilave edilebilen maksimum tel miktarı, kg/m ³	19
Tablo 2.2. Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı.....	19
Tablo 2.3. Çekme deneylerinde kullanılan karışımların özellikleri.....	27
Tablo 2.4. Çekme deneylerinde kullanılan numunelerin mekanik özellikleri.....	28
Tablo 3.1. Hacim oranı % 0,1'den az olan polimer lifli taze betonun vebe testi ve çökme konisi testi değerlerinin karşılaştırılması	54
Tablo 3.2. Hacim oranı % 1'den az olan polimer lifli taze betonun vebe testi ve çökme konisi testi değerlerinin karşılaştırılması	56
Tablo 4.1. Kullanılan agregaların özellikleri.....	66
Tablo 4.2. Beton serilerinin kodlanması.....	81
Tablo 5.1. 1m ³ betondaki gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri....	83
Tablo 5.2. Normal beton numunede basınç mukavemet deney sonuçları.....	84
Tablo 5.3. Normal beton numunede eğilmede çekme mukavemeti deney sonuçları.....	87
Tablo 5.4. Normal beton kiriş numunelerin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemeti deney sonuçları.....	89
Tablo 5.5. Farklı oranlardaki çelik lifli beton numunelerin karşılaştırmalı basınç mukavemeti deney sonuçları	91
Tablo 5.6. Farklı oranlardaki çelik lifli beton numunelerin karşılaştırmalı eğilmede çekme mukavemeti deney sonuçları.....	96
Tablo 5.7. Farklı oranlardaki çelik lifli beton beton kiriş numunelerin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemeti deney sonuçları	103
Tablo 5.8. Farklı oranlardaki polipropilen lifli beton numunelerin karşılaştırmalı basınç mukavemeti deney sonuçları	104
Tablo 5.9. Farklı oranlardaki polipropilen lifli beton numunelerin karşılaştırmalı eğilmede çekme mukavemeti deney sonuçları.....	109
Tablo 5.10. Farklı oranlardaki polipropilen lifli beton beton kiriş numunelerin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemeti deney sonuçları	116
Tablo A.1. Çelik lifli betonların karışım oranları	129
Tablo A.2. Normal betonların karışım oranları	130
Tablo A.3. Plastik kıvam lifli betonların karışım oranlarına göre çökme ve vebe değerleri	132
Tablo A.4. Plastik kıvam normal betonların karışım oranlarına göre çökme ve vebe değerleri	134
Tablo B.1. Normal beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri	136

Tablo B.2.	Normal beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastiklik modülü değerleri.....	137
Tablo B.3.	Hacimce % 0,5 çelik lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri.....	138
Tablo B.4.	Hacimce % 0,5 çelik lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastiklik modülü değerleri	139
Tablo B.5.	Hacimce % 1 çelik lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri.....	140
Tablo B.6.	Hacimce % 1 çelik lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastiklik modülü değerleri	141
Tablo B.7.	Hacimce % 1,5 çelik lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri.....	143
Tablo B.8.	Hacimce % 1,5 çelik lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastiklik modülü değerleri	144
Tablo B.9.	Hacimce % 0,06 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri.....	146
Tablo B.10.	Hacimce % 0,06 polipropilen lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastiklik modülü değerleri	147
Tablo B.11.	Hacimce % 0,08 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri.....	148
Tablo B.12.	Hacimce % 0,08 polipropilen lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastiklik modülü değerleri	149
Tablo B.13.	Hacimce % 0,09 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri.....	150
Tablo B.14.	Hacimce % 0,09 polipropilen lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastiklik modülü değerleri	151

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Çelik tel tipleri.....	16
Şekil 2.2. Numuneler üzerinde görülen tipik çatlak görüntüleri.....	28
Şekil 2.3. Çatlak gerilmesi üzerine çelik liflerin etkileri.....	29
Şekil 2.4. CO, FCO, HCO, FHCO numunelerinin karşılaştırmalı test sonuçları.....	29
Şekil 3.1. Çeşitli lif tipleri için çökme değerlerinin karşılaştırılması	55
Şekil 3.2. Naylon 6 ve polipropilen liflerin çökme değerlerinin karşılaştırılması	55
Şekil 3.3. Farklı hacimlerdeki lif miktarlarının basınç dayanımları	60
Şekil 3.4. Normal beton ve iki tip polimer lifli betonun (0,9 kg/m ³ oranında) basınç dayanımlarının karşılaştırılması	61
Şekil 3.5. Farklı 6 tipte polimer liflerin (0,9 kg/m ³ oranında) basınç dayanımlarının karşılaştırılması	61
Şekil 3.6. Polimer lifli betonlarda görülen tipik bir yük-sehim grafiği.....	62
Şekil 4.1. Yıkanmış agregaların kurumaya bırakılması	66
Şekil 4.2. Karışımda kullanılan çelik teller	68
Şekil 4.3. Çelik lifli beton karışımı	69
Şekil 4.4. Karışımda kullanılan polipropilen lifler	70
Şekil 4.5. Polipropilen lifli beton karışımı	71
Şekil 4.6. Beton agregasının granülometrik bileşimi	73
Şekil 4.7. Betonlarda yerleştirme işlemi.....	74
Şekil 4.8. Sarsma tablasında betonların yerleştirme işlemi.....	76
Şekil 4.9. Sarsma işleminden sonraki betonun yerleşimi.....	76
Şekil 4.10. Betonlarda kür uygulaması	77
Şekil 4.11. Betonların 15 günlük kürden sonraki durumu	78
Şekil 5.1. İşlenebilirlikte kullanılan çökme konisi.....	82
Şekil 5.2. Normal betonda basınç mukavemet tayini deney düzeneği.....	84
Şekil 5.3. Normal betonda e-modülü tayini deney düzeneği.....	85
Şekil 5.4. Normal beton silindir numunede gerilme -deformasyon eğrisi	86
Şekil 5.5. Normal beton kiriş numunede yük-sehim değişim grafiği	88
Şekil 5.6. Normal beton kiriş numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği.....	88
Şekil 5.7. Çelik lifli beton numunede basınç mukavemet tayini deney düzeneği	90
Şekil 5.8. Çelik lifli beton numunenin basınç mukavemet tayini deneyinden sonraki görünüşü	91
Şekil 5.9. Hacimce % 0,5 oranında çelik lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi	92

Şekil 5.10.	Hacimce % 1 oranında çelik lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi	93
Şekil 5.11.	Hacimce % 1,5 oranında çelik lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi	94
Şekil 5.12.	Çelik lifli beton numunede eğilmede çekme mukavemeti deney düzeneği	96
Şekil 5.13.	Çelik lifli beton numunede e-modülü tayini deney düzeneği	97
Şekil 5.14.	Hacimce % 0,5 oranında çelik lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği.....	98
Şekil 5.15.	Hacimce % 0,5 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği	98
Şekil 5.16.	Hacimce % 1 oranında çelik lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği.....	99
Şekil 5.17.	Hacimce % 1 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği	100
Şekil 5.18.	Hacimce % 1,5 oranında çelik lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği.....	101
Şekil 5.19.	Hacimce % 1,5 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği.....	101
Şekil 5.20.	Çelik lifli beton kiriş numunenin kırılan parçaları üzerinde basınç muk. tayini deney düzeneği	102
Şekil 5.21.	Beton silindir numunelerin basınç deneyinden çıkmış görüntüleri.....	104
Şekil 5.22.	Polipropilen lifli beton numunenin basınç mukavemet tayini deneyinden sonraki görünüşü.....	105
Şekil 5.23.	Hacimce % 0.06 oranında polipropilen lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi	106
Şekil 5.24.	Hacimce % 0.08 oranında polipropilen lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi	107
Şekil 5.25.	Hacimce % 0.09 oranında polipropilen lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi	107
Şekil 5.26.	Hacimce % 0,06 oranında polipropilen lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği	108
Şekil 5.27.	Hacimce % 0,06 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği	110
Şekil 5.28.	Hacimce % 0,08 oranında polipropilen lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği	111
Şekil 5.29.	Hacimce % 0,08 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği	112
Şekil 5.30.	Hacimce % 0,09 oranında polipropilen lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği	113
Şekil 5.31.	Hacimce % 0,09 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği	114
Şekil 5.32.	Polipropilen lifli beton kiriş numunenin kırılan parçaları üzerinde basınç muk. tayini deney düzeneği.....	115
Şekil 5.33.	Çelik lifli beton silindir numunelerde e-modülü ilişkisi.....	117
Şekil 5.34.	Çelik lifli beton kiriş numunelerde e-modülü ilişkisi.....	118
Şekil 5.35.	Çelik lifli beton numunelerde basınç mukavemeti değişimleri.....	118
Şekil 5.36.	Çelik lifli beton numunelerde eğilmede çekme mukavemeti değişimleri.....	119

Şekil 5.37.	Polipropilen lifli beton silindir numunelerde e-modülü ilişkisi	119
Şekil 5.38.	Polipropilen lifli beton kiriş numunelerde e-modülü ilişkisi	120
Şekil 5.39.	Polipropilen lifli beton numunelerde basınç mukavemeti değişimleri.....	120
Şekil 5.40.	Polipropilen lifli beton numunelerde eğilmede çekme mukavemeti değişimleri.....	121
Şekil 5.41.	Normal beton ile lifli betonların silindir numunelerde e-modülü karşılaştırılması	121
Şekil 5.42.	Normal beton ile lifli betonların kiriş numunelerde e-modülü karşılaştırılması	122
Şekil 5.43.	Normal beton ile lifli betonların silindir numunelerde basınç mukavemet değerlerinin karşılaştırılması.....	122
Şekil 5.44.	Normal beton ile lifli betonların silindir numunelerde eğilmede çekme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması.....	123



SEMBOL LİSTESİ

C	:1 m ³ yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı, (kg)
V_c	:1 m ³ yerleşmiş betondaki çimentonun mutlak hacmi, (dm ³)
P_{su}	:1 m ³ yerleşmiş betondaki suyun ağırlığı, (kg)
V_{su}	:1 m ³ yerleşmiş betondaki suyun hacmi, (dm ³)
δ_c	:Çimentonun özgül ağırlığı, (kg/dm ³)
δ_{su}	:Suyun özgül ağırlığı, (kg/dm ³)
V_{ag}	:Toplam agrega hacmi, (dm ³)
V_f	:Çelik lif hacmi.
V_p	:Polipropilen Lif hacmi
V_k	:Kimyasal katkının hacmi.
s/ç	:Etkin su / çimento oranı
V_h	:1 m ³ yerleşmiş betondaki hava hacmi, (dm ³)
α	:Malzeme katsayısı
k_{ideal}	:İdeal incelik modülü
σ_b	:Basınç gerilmesi (N/mm ²)
F	:Uygulanan basınç yükü (N)
A	:Basınç doğrultusuna dik olan kesitin alanı (mm ²)
σ_{eğç}	:Eğilmede çekme dayanımı (kgf/cm ²)
P	:Deney presinde kırılma anındaki en büyük yük (kgf)
L	:Yüklemeye tablası mesnetleri arasındaki açıklık (cm)
B	:Kırılma kesitinin ortalama genişliği (cm)
H	:Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği (cm)
A	:Deney yükü uygulama yönüne dik ve yüklemeye plakası boyutlarına bağlı ortalama kesit alanı (cm ²)'dir.
E	:Elastiklik modülü (kg/cm ²)
P	:Uygulanan yük (kgf)
L	:Mesnetler arası mesafe (cm)
ΔL	:Komparatörde okunan sehim değerleri (cm)
I	:Atalet momenti (cm ⁴)
B	:Numunenin genişliği (cm)
H	:Numunenin yüksekliği (cm)
xσ_n	:x'in standart sapması
yσ_n	:y'nin standart sapması
b	: Eğim (e-modülü)
a	:Sabit sayı
r	:Korelasyon katsayısı

YÜKSEK DAYANIMLI BETON ÜRETİMİNDE DİZAYN PARAMETRESİ OLARAK LİFSEL KATKILARIN İRDELENMESİ

ÖZET

Günümüzün başta gelen yapı malzemesi olan beton, yüzyılı aşkın bir süreden beri yapı alanında kullanımı yaygınlaşmış bir malzemedir. Gerek seri biçimde uygulama kolaylığı gerekse sağlamlığı açısından da kendine rakip olan malzemelerin en başında yer almaktadır. Fakat betonun birçok olumlu nitelikleri yanında bazı olumsuz nitelikleri de vardır. Beton bilindiği gibi yüksek basınç dayanımına sahip olmasına karşın, daha düşük bir çekme ve eğilme dayanımına sahiptir. Bu da betonun gevrek bir yapıya sahip olamasından ileri gelmektedir. Tüm dünyada bu soruna karşı bir çok çalışmalar yapılmaktadır. Amaç, gevrek yapıli olan betona sünek bir yapı kazandırıp zayıf olan bu özelliklerini iyileştirmektir. Teknolojinin de ilerlemesi ile, betonda çelik tellerin donatı olarak kullanılması yaygın bir hale gelmiştir. Bununla beraber diğer polimer bazlı lifler de yine aynı amaç için kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli uygulama alanlarına sahip olan bu tür betonlar için değişik özelliklere sahip çelik ve polimer lifler üretilmektedir. Bundaki amaç ise, mekanik dayanımları daha iyi olan bir malzeme üretmektir. Önce normal betonlarda ve sonra hafif ve yarı hafif betonlarda ve son olarak da püskürtme betonlarda çeşitli amaçlarla çelik tel kullanımı yaygınlaşmıştır. Yapılan araştırmalarda da, bu liflerin betona süneklik kattığı ve zayıf olan mekanik mukavemetlerini arttırdığı görülmüştür.

Bu çalışmada , yüksek dayanımlı beton üretimi için kullanılan çelik ve polipropilen liflerin etkileri araştırılmıştır. Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci, ikinci, üçüncü bölümlerde teorik çalışma, dördüncü, beşinci ve altıncı bölümlerde ise deneysel çalışmalar yer almaktadır. Şöyle ki,

Birinci Bölümde; Lif kavramı ile ilgili genel bilgiler verilerek tanımlar yapılmış, genel lif kavramından, esas amaç olan betonda kullanıldığında etkili olan çelik ve polipropilen liflere bir başlangıç oluşturulmuştur.

İkinci Bölümde; Araştırmanın konusu olan betonun çelik liflerle ilişkileri üzerine, çelik lif kavramından başlayıp, karışım ve kontrol kurallarından, betonun mukavemet özelliklerine etkilerinden, kullanım yerleri ile yarar ve sakıncalarından bahsedilmiştir. Bu bölüm, birincisi, normal betonda çelik lifler, ikincisi püskürtme betonda çelik lifler ve üçüncüsü hafif ve yarı hafif betonlarda çelik lifler olmak üzere üç ana başlık altında anlatılmaktadır. Ayrıca, bu konular üzerinde şimdiye kadar yapılmış bazı deney sonuçları da yer almaktadır.

Üçüncü Bölümde; Polimer lif takviyeli beton kavramından başlayıp, özellikleri, kullanım yerleri ve daha önce bu konuda yapılan bazı araştırmaların sonuçları da yer almaktadır. Ayrıca, betona katılan diğer bir lif olan çelik liflerle de karşılaştırmalı olarak bazı açıklamalar yapılmıştır.

Dördüncü Bölümde; Çelik ve polipropilen lifli beton üretimi üzerine yapılan deneysel çalışmalar yer almaktadır. Üretilen karışımlarda, (%52 kaba agrega, % 48 ince agrega), su-çimento oranı (0,46) ve kimyasal katkı oranı ise (çimento dozajının % 0,1'i) sabit tutularak sadece katılan lif oranları değiştirilmiştir. Çelik lifli beton karışımlara sırası ile hacimce % 0,5 - % 0,1 - % 1,5 oranlarında çelik teller ve polipropilen lifli beton karışımlara da sırası ile hacimce % 0,06 - % 0,08 - % 0,09 oranlarında polipropilen lifler katılmıştır.

Beşinci Bölümde; Deneylerden elde edilen sonuçlar verilmektedir. Her bir beton grubu için elde edilen taze beton deney sonuçları topluca verilmiş olup, sertleşmiş beton deney sonuçları her grup için kendi içinde ayrı ayrı tablo ve grafikler halinde verilmiştir. 100x200 mm'lik silindirik beton numunelerinde, basınç mukavemeti deneyleri ve basınç gerilmesi altında komparatörden okunan deformasyon değerlerine göre e-modülü tayini deneyleri ile 100x100x500 mm'lik prizmatik beton numunelerinde eğilmede çekme mukavemeti deneyleri ve eğilmede çekmede kırılan parçalar üzerinde basınç mukavemet tayini deneyi son olarak ta, çekme gerilmesi altında komparatörden okunan sehim değerlerine göre e-modülü tayini deneyleri yapılmıştır.

Altıncı bölümde; Çalışma kapsamınca üretilen tüm beton numuneler üzerinde yapılan mekanik deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda, katılan çelik liflerin betonun basınç mukavemetine çok etkili olmadığı ancak eğilmede çekme mukavemetini ve elastiklik modülünü iki kat artırdığı görülmüştür. Benzer biçimde katılan polipropilen liflerin de betonun eğilmede çekme mukavemetini ve elastiklik modülünü bir miktar artırdığı gözlemlenmiştir.

A RESEARCH ABOUT FIBER ADDITIONS AS A DESIGN PARAMETER FOR PRODUCTION OF THE HIGH STRENGTH CONCRETE

SUMMARY

The concrete, one of the most important materials of the building sector has a common use for more than a hundred years. It's on the top of the list that consists of the materials which have high strength, with its easier and faster application compared to the other materials. Whether it has a lot of advantages but it also has some disadvantages. For example, the concrete is a brittle material and has a high compression strength conversely, it has a lower flexural and tensile strength compared to the other materials. Since today, many researches have been carried out all around the world in order to overcome these problems. The purpose of these researches was to achieve a concrete of ductile form so as to reduce the weaknesses of the material. With the improving technology, adding steel fibers as fittings into the concrete has become a common way. On the other hand, adding some other polypropylene fibers into the concrete has been experimented. Producing a new material with a higher mechanical strength was the main aim of all these researches. Starting with plain concrete and continuing with light weight, semi-light weight, and finally with the shotcrete, this application has been experimented for many different kinds of purposes. Since geographically 90 % of Turkey is located on the earthquake zone, using fiber reinforced concrete at least in the public buildings is recommended.

In this research, effects of steel and polypropylene fibers on the strength of concrete is investigated. This research consists of six chapters. The first three chapters contain definitions and general information and the other chapters contain experimental work.

1st chapter contains definitions and general information about fibers. Moreover, there is a beginning information about for the fiber types which are added into the concrete to improve its properties.

2nd chapter contains the relationship between steel fibers and concrete. Here was given information about steel fiber reinforced concrete and its mixing rules, application places and advantages with disadvantages. This chapter contains three types of concrete which are reinforced with steel fibers. In addition, some test results related to steel fibers were given.

3rd chapter contains the relationship between polymer fibers and concrete. Here is given information about polypropylene fiber reinforced concrete and its properties and application conditions. In addition, some test results related to polymer fibers are given. And there is a comparison with steel and polypropylene fibers.

4th chapter contains the test programme that consists of properties of the materials which are used in steel and polypropylene reinforced concrete species. The concrete species are listed in order. In the mixtures, 52 % coarse, 48 % fine aggregates are used and 0,46 of water / cement ratio with 0,1% of admixture dosage are accounted. As the steel fibers' ratio 0,5 %-1 %-1,5 % and the polypropylene fibers' ratio 0,06 %-0,08 %-0,09 % are used.

5th chapter contains test results. Fresh concrete tests' results are given in a common group. Hardened concrete test results are given in different groups. Mechanical strength tests such as compression strength, flexural strength and modulus of elasticity are applied to the hardened concrete. The results are supported with tables, graphics and also photos.

6 th chapter contains an evaluation about the mechanical test results of concrete species. Again, the results are supported with graphics. A comparison between plain mixture and fiber reinforced mixture is presented with given explanations. As a result of these investigations, it has been observed that adding these fibers has improved concrete by means of ductility and mechanical properties. In this research, it has been concluded that adding steel fibers into concrete is not so effective in improving the compression strength, whereas it has a very strong impact in improving the tensile strength and the modulus of elasticity of the material. Similarly, adding polypropylene fibers into concrete is not so effective on the compression strength but the tensile strength and the modulus of elasticity.

1. GİRİŞ

Son yıllarda inşaat teknolojisinin ilerlemesi ve yeni malzemelerin ortaya çıkmasıyla yapı üretim sistemlerinde büyük gelişmeler olsa da özellikle taşıyıcı strüktürde önemli rolü olan beton kullanımı azalmamış aksine daha da yaygın hale gelmiştir. Beton gerek modern tasarımları uygulama kolaylığı gerekse sağlam ve uzun ömürlü olması bakımından vazgeçilmez bir yapı malzemesi olma ünvanını hala korumaktadır. Ülkemizde de başta prestij yapıları olmak üzere diğer yapılarda da yapı malzemesi olarak çoğunlukla beton kullanıldığı görülmektedir.

Bağlayıcı çimento hamurunun çeşitli boyuttaki agrega danelerini birarada tutarak meydana getirdiği malzemeye beton denir. Beton hiç yüklenmemiş durumda bile bazı çatlaklar içerir ve bunlar yükleme ile beraber öncelikle iri agrega- hamur ana yüzeyindeki aderans bağından başlayarak gelişir ve iç yapıda kademeli bir hasara yol açarak kırılmaya sebep olabilir [1, s.5]. Böylelikle mekanik ve fiziksel özelliklerde değişme olur. Yapılan araştırmalara göre hasara yol açan faktörün aderans bağından kaynaklandığı ve tekrarların gerilme, şekil değiştirme özelliklerini etkilediği ortaya çıkmıştır. Bu durumda, betonu güçlendirecek bir takım önlemler alınması gerekliliği kaçınılmazdır [1, s. 10]. Bu gereklilik lifli beton kavramını doğurmuştur.

Agrega, çimento, su gibi temel bileşenlerin içerisine mineral ve kimyasal katkıların yanısıra değişik miktarlarda liflerin katılmasıyla elde edilen güçlendirilmiş kompozit malzemeye lifli beton denilmektedir. Bu betonlarda kullanılan liflerin betonun darbe dayanımını, çekme dayanımını, deformasyon kapasitesini ve tokluğunu artırdığı bilinmektedir. Betonun bu özelliklerindeki performans artışı beton bileşimi, lif miktar ve özellikleri başta olmak üzere bir çok parametreye bağlıdır. Değişik kompozisyonlu bileşimler oluşturularak istenen özelliklere sahip beton türleri geliştirilebilir. Mekanik ve fiziksel özellikleri iyileştirilmiş bu kompozitlerle yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip beton yapılar yapılabilir [7, s. 1].

Özellikle de çelik lifli betonlarla inşa edilen süneklilik düzeyi yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışı olumlu yönde değişecektir. Ülkemizin deprem kuşağında olduğu göz önünde bulundurulduğunda gevrek bir malzeme olduğu bilinen betonun bu zayıf yönünü iyileştirmenin önemli olduğu açık bir gerçektir. Bu yapıların, dinamik etkilere karşı enerji absorpsiyon yeteneği geleneksel yapılara göre daha yüksek olduğundan bu tür etkiler sonucu meydana gelebilecek yapısal hasarlar en alt düzeye indirilecektir. [2].

Bu çalışmada ilk olarak, bulunan tüm doğal ve yapay lifler ve kullanıldıkları yerler ile özellikle betona katılanların betona kazandırdığı mekanik ve fiziksel özellikleri lif katılmamış betonla karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Yani lif katılmamış betonla lif katkılı beton arasındaki farklar ortaya çıkarılacaktır.

1.1. Lifler Hakkında Genel Bilgi

Bu bölümde literatür çalışması olarak genel anlamda lif kavramı üzerinde durulacak ve çeşitleri anlatılacaktır.

1.1.1. Liflerin Tanımı

Lif, doğal kaynaklardan elde edilen, ya da insan eliyle üretilen, uzunluğu, bükülgenliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan hammaddedir. Genel olarak doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Hayvan, bitki, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen hammaddeler doğal lifler (elyaf) tır. Yapay lif, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak geliştirilen, ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen maddedir. [4, s. 310-315].

Aşağıdaki 1.1.2. bölümünde çekme gerilmesi yüksek kompozit malzeme üretiminde kullanılan tüm lif çeşitleri gösterilmektedir. Bunlar doğal ve yapay lifler başlıkları altında madde madde belirtilmiştir.

1.1.2. Lif Çeşitleri

A-Doğal Lifler

A.1-Bitkisel Lifler

A.1.1-Akwara

A.1.2-Bambu

A.1.3-Hindistan Cevizi Kabuğu

A.1.4-Keten, Kenevir

A.1.5-Jüt

A.1.6-Sisal

A.1.7-Şeker Kamışı Posası

A.1.8-Ahşap (Selüloz)

A.2-Hayvansal Lifler

A.2.1- Yün

A.2.2- İpek

A.2.3- Kıl

A.3- Madensel Lifler

A.3.1- Asbest

A.3.2- Metal Lifleri

A.3.3- Karbon

B-Yapay Lifler

B.1- Cam Yünü

B.2- Polimer lifler

B.2.1-Akrilik

B.2.2-Aramid

B.2.3-Naylon

B.2.4-Polyester

B.2.5-Polietilen

B.2.6-Polipropilen

B.2.7-Poliüretan

1.1.3. Liflerin Özellikleri

A-Doğal Yollarla Oluşan Lifler

Kompozitlere katılan en bilinen doğal lifler saman ve at kıldır. Modern teknoloji lifleri, çeşitli bitkilerden daha ekonomik biçimde elde etmeyi mümkün kılmıştır. Örn.; Çimentolu kompozitlerde kullanılan jüt ve bambu lifleri az enerji ihtiyacı ile elde edilirler [4, s. 310]. Ancak buradaki problem, bu liflerin alkali ortamda parçalanma eğiliminde olmalarıdır. Bu liflerin sürekliliğini artırmak için betonun alkalitesini azaltacak katkıları konmalıdır. Portland çimentosunda kullanılan diğer doğal lifler ise; Akwara, bambu, hindistan cevizi, flax, jüt, sisal, şeker kamışı posası, ahşap gibi sıralanabilirler [3, s. 100-110].

Doğal Liflerin Özellikleri

- Su ve su buharını kolay emerler.
- Sıcaklık karşısında yumuşamazlar.
- Yüksek sıcaklıkta boyları değişmez.
- Donma noktasının altında kırılma ve kopma olmaz.
- Güneş ışığına duyarlıdır. [4, s. 311].

A.1- Bitkisel Lifler

A.1.1- Akwara

Bitki sapından elde edilen doğal liftir. Nijerya'da bolca bulunur. Bu lifler alkali ortamda sürekliliklerini kaybetmezler. Ayrıca nemli ve kuru ortamda da dayanıklı olurlar. Sakıncaları ise çok düşük elastiklik modüllerine sahip olmalarıdır.

A.1.2- Bambu Lifleri

Tropikal ve astropikal bölgelerde yetişirler. 15m. yüksekliğe kadar büyüyebilirler. Saplarının içi boş ve çapları 0.4-4inch (1-10cm) kadar çeşitlilik gösterir. Bambu lifleri çekmeye karşı dayanıklıdır. Fakat düşük elastiklik modülü vardır. Ayrıca su emme özelliklerinden dolayı zayıf olurlar [3, s. 100-110].

A.1.3- Hindistan Cevizi Lifleri

Olgunlaşmış hindistan cevizinin dışında sert lifli bir kabuk bulunur, bu kabuğun lifleri suya batırılarak ya da mekanik işlemlerle çıkartılır. Bu kısa sert lifler halat yapımında yıllarca kullanılmıştır. Hindistan cevizi lifleri düşük elastiklik modülüne sahiptir ve sıcaklık - nem değişikliklerine karşı hassastır. [3, s. 100-110].

A.1.4- Keten ve Bitki Lifleri

Keten lifleri çekme gerilmesi altında kuvvetlidir ve ayrıca yüksek elastiklik modülüne sahiptirler. Fil çimi, su sazi gibi bitkilerden oluşan lifler de betonda güçlendirici olarak kullanılırlar. Bu liflerin çoğu bitkilerin saplarından el ile çıkarılırlar [3, s. 100-110].

A.1.5- Jüt Lifleri

Jüt yalnızca kendir lifinden elde edilir. Bangladeş, Çin, Hindistan ve Tayland'ta yetişir. Bu bitkilerin uzunlukları 2.4 m. ve sap çapları ise 25mm. den az olur. Kabukları liflidir. Bu kabuk suya batırıldığında, içine su alır ve lifleri gevşer., bu lifler el ile ayrılır ve kurutulur. Son zamanlarda bu işlem için mekanik aletler de geliştirilmiştir. Jüt bitkileri çekme gerilmesinde dayanıklıdır. Geleneksel olarak bu lifler halat yapımında ve çuval çanta, giysi yapımında kullanılır [3, s. 100-110].

A.1.6-Sisal Lifleri

Bazı Avustralya ve İsveç'teki araştırmacılar çalışmalarında sisal lifleri ile yapılan çimento kompozitlerin özelliklerini incelemişlerdir. Bu lifler Agave Sisalana bitkisinin yapraklarından elde edilir. Hemiselüloz, lignin ve pektinden meydana gelirler. Güçlüdürler ama alkali ortamda sürekli dayanıma sahip değildirler [3, s. 100-110].

A.1.7- Şekerkamışı Posası

Şekerkamışının suyu sıkıldıktan sonra kalan posası lifli bir malzemedir, % 50 lif içerir. Fiziksel özellikleri ise şekerkamışının çeşidine bağlıdır. Onun olgunluğuna ve bitkinin değirmende çekilme verimliliğine bağlıdır [3, s. 100-110].

A.1.8- Ahşap Lifleri (Selüloz)

Dünya çapında beton üretim endüstrisinde en çok kullanılan doğal liflerin başında yer alırlar. Portland çimento kompozitlerinde ahşap lif kullanımı çok popüler olmuştur. Özellikle, asbest liflerinin yerini alırlar. Kolay bulunması, yüksek çekme kuvveti, yüksek elastiklik modülü, elde edilme kolaylığı yaygınlaşma nedenlerindendir. En büyük sakıncası ise, alkali ortamda dağılabilir olmasıdır. Ama son zamanlardaki gelişmelerle, alkali ortamda liflerin dağılmasını kontrol edebilme şansı ortaya çıkmıştır. Ahşap liflerini kağıt hamuru şeklinde elde edilir. İşlemler mekanik, kimyasal, yarı kimyasal olabilir. Liflerin özellikleri bu hamura bağlıdır.

Ahşap liflerinin temel bileşenleri selüloz, yarı selüloz ve lignin'dir. Lignin tek başına iken liflerin dayanımı üzerine ters etkilidir. Ama hamur işleminde daha yoğun lignin çıkarılmasıyla en iyi lifler elde edilir. Lignin olmayan selüloz liflerinin çekme dayanımı 200 MPa'dır. Ligninin çıkarılmadığı selüloz lifinde ise çekme dayanımı 500 MPa olur. [3, s. 100-110].

A.3- Madensel Lifler

A.3.1-Asbest

Inorganik doğal lif olan asbest'in nitelikleri:

- Çekme dayanımı 4000-5000 kg/cm²
- Basınç dayanımı-liflere paralel doğrultuda 950 kg/cm²
- Çekme dayanımı = 1/3 basınç dayanımı
- Geçirimsizlik (su ve gazları geçirmez)
- Isı enerjisini iletmez.
- Kolay delinebilir. [4, s. 310-315].

A.3.2- Metal Lifleri

Bu lifler karbon çeliği ya da paslanmaz çelikten yapılırlar; Çekme kuvvetleri 345 Mpa ile 1380 MPa arasında değişiklik gösterir. Metal liflerin elastiklik modülleri 2000 GPa'dır. Liflerin kesitleri; dairesel, kare, hilal şeklinde ya da eğrisel olabilir. Uzunlukları, normalde 3 inch (75mm) den az olur ama daha uzunları da kullanılabilir. Uzunluk – Çap oranı 30 ile 100 arasında değişir. [3, s. 100-110].

Lif Geometrileri ve Üretim Metodları

Düz, bitişli kancalı, yassı, eğrisel gibi tipleri mevcuttur. Döner kesitli düz çelik lifler, zayıf tellerin parçalar halinde kesilmesiyle çapı 0.01-0.04 inch (0.25-1mm) şeklinde, plaka kesitli düz çelik teller ise, ince levhaların biraraya getirilmesiyle üretilirler. Yaklaşık 0.006-0.016 inch (0.15 - 0.41 mm) kalınlıktadırlar. Tellerin yassılaştırılmasıyla, liflerin genişliği 0.01-0.04 inch (0.25-1 mm) arası değişir. Kancalı ya da eğri lifler düz uzun liflerin kıvrılmasıyla elde edilirler. Kıvrımlı ve sonu kancalı bu şekilde oluşurlar. Suda çözünen yapıştırıcı ile, lifler yanyana getirilerek yapıştırılırlar. Yapışkan, yapıştırma işlemi sonunda çözünmelidir. İnce tellerden oluşan lifler de vardır. Bu tip ince tellerden oluşan lifler, eğrisel lifleri

oluşturmak için, hilal şeklinde kıvrılır ve kesilirler. Tellerin eritilmesiyle de şekil alırlar ve dağınık yüzey şekilleri oluşur. [3, s. 100-110].

A.3.3-Karbon Lifleri

1980'lerin ortasına kadar yüksek fiyatlı olan karbon liflerinin kullanımı yalnızca portland çimentolu kompozitlerle kullanılmak üzere sınırlandırılmıştır. Sonraları petrol ürünlerinden ve kömür ziftinden daha düşük maliyetli karbon lifleri üretildi. Yine de polimer liflerinden daha pahalı olduğundan kullanımı yaygınlaşmadı. Karbon lifleri özel uygulamalar için (yüksek esneme ve gerilme kuvveti gibi) büyük potansiyele sahiptir. Elastiklik modülü çelik kadar yüksek hatta 2 ya da 3 katı kadar daha güçlü olabilmektedir. Çok hafiftirler ve çoğu kimyasallara karşı yavaş hareket ederler. İplik formunda üretilirler. Tek karbon lifi 12000 tekil lif içerir. Bunlar çimento içine katılmadan önce dışarıda dağıtılırlar [3, s. 100-110].

B-Yapay Lifler

Yapay Liflerin Üretimi

Lif üretiminde kullanılacak hammadde sıvı ya da yarı sıvı hale getirilir. Yaş çekme, kuru çekme gibi farklı işlemler ile lifler oluşturulur. [4, s. 314].

B.1-Cam Lifleri

Cam lifleri beton uygulamalarına katılmaz. Çünkü betonun alkalitesi bu lifleri zamanla çözer. Bu alkaliteye karşı zirkon camı gibi dayanıklı cam liflerinin üretilmesine başlanmıştır [4, s. 310-315].

B.2-Polimer Lifleri

Petrokimya ve tekstil endüstrisinde yapılan araştırmalar ve gelişmeler sonucu sentetik polimer lifleri üretilmiştir. Akrilik, aramid, naylon, polyester, polietilen ve polipropilen başlıca polimer lifleridir. Hepsinin de çok yüksek çekme kuvvetleri vardır. Fakat bu liflerin çoğu (aramid hariç) düşük elastiklik modülüne sahiptirler. Polimer liflerin kalitesi, çap ve uzunluk oranlarına bağlıdır. Çapları mikron düzeyindedir. Bu lifler tekil ya da lif hamuru halinde bulunurlar. FRC (lif takviyeli beton) de kullanılanların uzunlukları 0,5-2 inch. (12-50mm) arasında değişir. Bazı lif tipleri çok kısa da (1-2mm) olabilir. Çok uzun olanları da mevcuttur. Uygulanacak yerin ihtiyacına göre tipler artırılır. [3, s. 110].

B.2.1-Akrilik

Lifler, % 85 oranında akronilit özellik gösterirse bunlara akrilik lifler denir. Bu lifler sudan daha yoğundur ve diğer polimer liflere karşın yüksek elastiklik modülüne sahiptirler. (Aramid hariç) [3, s. 100-110].

B.2.2-Aramid

Sahip olduğu yüksek elastiklik modülü sayesinde FRC'nin (Fiber Reinforced Concrete) mekanik özelliklerini arttırlar. Çekme ve Eğilme dayanımını sağlarlar. Tek kısıtlayıcı unsur; bu lifi betona katarken ödemekle yükümlü olduğumuz büyük bir maliyettir. Diğer liflere nazaran daha pahalı olduğu söylenmektedir. Bu lifler halat formuna sahiptir [3, s. 100-110].

B.2.3-Naylon

Naylon 6'dan üretilirler. Piyasada sıkça rastlanır. Çeşitli uzunluklarda ve tekil lif formunda bulunurlar. 19 mm boyunda ve çok incedirler [3, s. 100-110].

B.2.4-Polyester

Bu lifler etil asetat monomerlerinden oluşur. Fiziksel ve kimyasal özellikleri üretim tekniklerinin değişimiyle değiştirilebilir. Yüksek elastiklik modülüne sahiptirler ve betonla ilişkileri çok iyidir. Bu özellik beton uygulamaları için çok önemlidir [3, s. 100-110].

B.2.5-Polietilen

Bu liflerin standart uzunlukları 12-50 mm arası değişir. Lif hamuru formunda bulunurlar. Daha uzun lifler de piyasada bulunur. Yüzey deformasyonlarında beton ile daha iyi bağ oluşması gerektiğinde lifler hamur biçiminde olurlar. Asbest liflerinin yerine kullanılırlar. Bu kısa lifler çimento matrisinde uygulanır. Sürekliliği geliştirir. Çarpma ve yorulma dayanımını arttırlar [3, s. 100-110].

B.2.6-Polipropilen

Hem tekil hem de hamur biçiminde bulunurlar. Uzunlukları 6-50mm arası değişir. Kısa lifler hamur uzun lifler tekil halinde bulunur. Polipropilen hamuru, polietilen hamurundan daha düşük dayanıma sahiptirler [3, s. 100-110].

Tablo 1.1.Polimer Liflerin Fiziksel Özellikleri

Lif Tipleri	Etkili Çap (10 ⁻³ mm)	Özgül Ağırlık	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Nihai Uzama (%)
Akrilik	13-104	1,17	207-1000	14,6-19,6	7,5-50,0
Aramid I	12	1,44	3620	62	4,4
Aramid II	10	1,44	3620	117	2,5
Naylon	10	1,16	965	5,17	20,0
Polyester	10	1,34 – 1,39	896-1100	17,5	20,0
Polietilen	25-1020	0,96	200-300	5,0	3,0
Polipropilen	25-1020	0,90-0,91	310-760	3,5-4,9	15,0

1.1.4. Liflerin Yapıda Kullanımları

Jüt-kanaviçe : Üzerine linolyum hamuru kaplanması ile linolyum muşamba elde edilir. (Döşeme kaplaması)

Ahşap lifler : Magnezi çimentosu harcı ile sıcaklık ve basınç altında yapıştırılıp kalıplanarak 2,5cm ‘den 15 cm’e kadar kalınlıkta levhalar elde edilir. Ses ve ısı yalıtımı işlevleri vardır [4, s. 312].

Yapay Ahşap Levhalar

Talaş levhalar : İnce uzun talaşların soral çimentosu ile karıştırılarak preslenmesi ve kurutulması yöntemi ile elde edilir. Örnek: İzotaş, heraklit

Lif Yonga Levhalar : Lif yongaların yapıştırıcı ile karıştırılmaları, ısı enerjisi ve pres ile kurutulup kalıplanması yöntemi ile elde edilir. Örnek: Sunta [4, s. 312].

Lifsel Levhalar :

Odun lifinin preslenerek ısıtılması yöntemi ile elde edilir. Örnek : Duralit, Sümerlit, Elka

Kendir, bitümle kaplanarak elde edilen geliştirilmiş keçe çatı örtüsü olarak uygulanır.

Solomit, saman aglomerasıdır. Yapıda ses ve ısı yalıtımı levhaları olarak kullanılır.

KETEN ve ÇAVDAR LİFLERİ birleştirici madde kullanılmadan basınç altında kalıplanırlar. Fibrofeld, Filalinum, Linofeld levhalar elde edilir. DURALİT gibi olan levhalar sıva ve boyaya gerek olmadan kullanılırlar. [4, s. 310-315].

Asbest bitümle karıştırılarak termoplastik levha çatı örtüsü üretilir.

Asbest çimento ile karıştırılarak asbest – çimentolu levha çatı örtüsü elde edilir.

- Çatılarda
- Boru yapımında
- Bölme panosu
- Döşeme ve duvar kaplaması

olarak yapıda kullanım alanları vardır.

Cam lifleri donatılı çimentolu plakalarda kullanılabilir. Döşeme, duvar, ve tavanda ses yalıtım maddesi olarak sıkça kullanılır. Cam lifi polyester içine katılarak dayanımı artırılır.

- Bölme duvarlarında
- Cephe kaplama malzemesinde
- Çatı kaplamalarında
- İç dekorasyon işlerinde halı, kilim, tekstil, kumaş perde, duvar kağıdı biçimlerinde kullanılır.

Polietilen polimer lifleri;

- Plastik ondüle çatı örtüsü levhası
- Döşeme kaplaması
- Yalıtım katmanı

olarak da kullanılırlar. [4, s. 310-315].

1.2. Betona Yüksek Mukavemet Kazandıran Lifler

Beton hiç yüklenmemiş durumda bile bazı çatlaklar ihtiva eder ve bunların yükleme ile beraber öncelikle iri agrega-hamur ara yüzeyindeki aderans bağından başlayarak geliştiği ve iç yapıda kademeli bir hasara yol açarak kırılmaya neden olduğu

anlaşılmaktadır [1, s. 1]. Ayrıca bu hasarın iç yapıda meydana getirdiği değişiklikler Poisson oranı ve ultrases hızı gibi bazı mekanik ve fiziksel özellikleri etkilemekte ve bunların deney sırasında izlenmesi ile beton iç yapısının durumu hakkında fikir sahibi olma imkanı doğmaktadır. Betona katılan ince tel parçalarının ise çatlak gelişimini etkileyerek çekme, eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığı saptanmıştır. Betona ince tel parçalarının katılması elastik bölgedeki özelliklerde zararlı yönde etki yapmaktadır [6]. Betona katılan tel miktarının etkisi çimento hamuru içindeki tel hacmine bağlıdır. Betona katılan ince tel parçaları inelastik özelliklerde iyileştirici ve artırıcı yönde etki yapmaktadır. Ayrıca polimer liflerin de betonda çelik lifler kadar olmasa da iyileştirici etkileri olduğu saptanmıştır. Özellikle en sık kullanılan polipropilen lifler olmuştur. Bu lifler betona, az miktarda basınç dayanımı, ancak çekme gerilmesine ve darbe etkisine karşı yüksek dayanım kazandırdığı görülmüştür. Bu konu diğer bölümlerde daha detaylı işlenecektir.



2. ÇELİK TEL TAKVİYELİ BETONLAR

2.1. Normal Betonda Çelik Lifler

Beton, inşaat mühendisliği alanında yüzyılımızın en önemli yapı malzemesidir. Betonu önceden şekil verebildiğimiz bir yapay taş olarak tanımlayabiliriz. Doğal taşlar birbirleriyle birleştirilerek yapı elemanını ve yapıyı meydana getirirler; halbuki beton sürekli bir biçimde birleştirilmeye gerek kalmadan üretilir ve yapıyı oluşturur. [5].

İnşaat alanında en fazla kullanılan malzeme olan betonun basınç dayanımının yüksek olmasına karşın çekme dayanımı düşüktür. Bu eksikliği gidermek için bilindiği gibi betonun içinde çekme gerilmelerinin bulunduğu bölgeye çelik çubuklar konarak kiriş, döşeme ve kolon gibi çekme gerilmeleri doğabilen elemanların yapımında beton kullanılabilmiştir. Fakat bu çözüm kesit içinde çekme gerilmesinin belli bir bölgede bulunması ile mümkün olmakta veya çubukların kesitin her yerinde yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu kısıtlamaları ortadan kaldırmak ve betonu daha yüksek çekme dayanımına sahip bir malzeme yapabilmek için ilk çalışmalar 1963 yılında Romualdi ve Batson tarafından çekme bölgesinde birbirine paralel olarak yerleştirilmiş ince teller bulunan kirişler üzerinde yapılmıştır. Bu deneylerde tellerin toplam alanı ve kiriş yüksekliği aynı kalmak şartıyla tellerin çapı küçültülerek tel aralıkları 5-7,5mm nin altına düştüğü zaman kirişin eğilme dayanımının hızla arttığı ve kırılma yüküne çok yaklaşıncaya kadar çatlakların fazla büyümediği görülmüştür. [1, s. 4].

2.1.1. Çelik Tel Takviyeli Betonda Kullanılan Çelik Lifler

Çelik takviyeli beton ; çimento, su, mıcır, kum ve çeliğin bileşimidir. İlk görünüşte normal beton karışımlarına benzer. Ama fark oldukça büyüktür. Çelik tel takviyeli beton homojen olarak takviye edilmiştir. Homojen bir malzeme olarak davranış gösterir. İnce çelik iplikler beton kütle içerisinde düzenli olarak ihtiyaca bağlı belirli bir dozaj içinde dağılmışlardır.

Bu homojen betonun özellikleri:

- Yüksek elastik mukavemet, çatlamaya karşı yüksek direnç
- Darbe direnci ve çok yüksek enerji tutma kapasitesi
- Yorulmaya karşı yüksek direnç ve kesme dayanımıdır.

Çelik ipliklerin fonksiyonu beton elemanların arasındaki kohezyonun yeni bir biçimidir. Beton içinde bulunan kohezif kuvvetler elastik değildir ve malzeme içinde küçük köprüler olarak rol oynarlar. Çatlak oluşumu fiber betonda daha düzenlidir ve sertleşmeden sonra gerilme-çatlak olayını kontrol altında tutarlar. Beton içerisinde dağılmış olan çelik teller çatlak sonlarına bitişiktir ve kuvvetleri tutarlar. Oluşan kuvvetler çatlağın diğer yanına daha düşük gerilim içinde nakledilir.

‘Mesnet Çatlak Gerilmesi’ çelik tel teknolojisinde önemli bir ögedir. Çelik lifli betonda bu ‘mesnet çatlak’ davranışı önemli ölçüde elastiktir. Bu elastikiyet sınırı kontrol edilebilir ve her uygulamada hesaplara girebilmektedir.

Statik hesaplarda homojen bir malzeme olarak çelik lif eğilme momentini alan çubuk veya hasır donatı gibi görülmemelidir. Çelik lifli betonun yapısını değiştiren ve onu elastik yapan bir malzeme olarak kabul edilmelidir. Çelik lifli betonun özelliği onun artırılmış elastiklik ve enerji tutma yeteneğinden gelmektedir. Özellikle kritik yüklemelerde beton iç gerilmeleri çökme sınırına geldiğinde Çelik lifli betonun özellikleri daha iyi görülür. Hiperstatik yapılarda (beton yer döşemesi, kaplama, boru) bu özellik etkili bir şekilde kullanılabilir.

Bir zemin döşemesinde meydana gelen gerilmeler karmaşık ve yükleme tipine bağlıdır; çekme gerilmeleri döşemenin hem üstünde hem de altında meydana gelebilir. Ayrıca ani forklift hareketlerinden, rötre ve termal etkilerden, darbe yüklerinden doğan ek gerilmeleri de eklenmektedir. Çelik teller, zemine oturan endüstriyel beton döşemeler için ideal bir takviye malzemesidir. Mikro çatlakların genişlemesini durdurarak betonu korur. Lif takviyesiz bir betonda, gerilme çatlak üzerinden iletilemez. Çekme kapasitesi aşıldıkça mikro çatlaklar hızla büyüyerek yapının çökmesini yol açar. Betona katılan çelik teller bu çatlak olayını kontrol altında tutarlar. Mikro çatlaklar civarındaki gerilim yoğunluğunu azaltırlar:

- 1- Teller, çatlakta köprü oluşturur ve yükün bir kısmını çatlağa dik doğrultuda iletirler.

Bu homojen betonun özellikleri:

- Yüksek elastik mukavemet, çatlamaya karşı yüksek direnç
- Darbe direnci ve çok yüksek enerji tutma kapasitesi
- Yorulmaya karşı yüksek direnç ve kesme dayanımıdır.

Çelik ipliklerin fonksiyonu beton elemanların arasındaki kohezyonun yeni bir biçimidir. Beton içinde bulunan kohezif kuvvetler elastik değildir ve malzeme içinde küçük köprüler olarak rol oynarlar. Çatlak oluşumu oluşumu fiber betonda daha düzenlidir ve sertleşmeden sonra gerilme-çatlak olayını kontrol altında tutarlar. Beton içerisinde dağılmış olan çelik teller çatlak sonlarına bitişiktir ve kuvvetleri tutarlar. Oluşan kuvvetler çatlağın diğer yanına daha düşük gerilim içinde nakledilir. 'Mesnet Çatlak Gerilmesi' çelik tel teknolojisinde önemli bir ögedir. Çelik lifli betonda bu 'mesnet çatlak' davranışı önemli ölçüde elastikidir. Bu elastikiyet sınırı kontrol edilebilir ve her uygulamada hesaplara girebilmektedir.

Statik hesaplarda homojen bir malzeme olarak çelik lif eğilme momentini alan çubuk veya hasır donatı gibi görülmemelidir. Çelik lifli betonun yapısını değiştiren ve onu elastik yapan bir malzeme olarak kabul edilmelidir. Çelik lifli betonun özelliği onun arttırılmış elastikiyet ve enerji tutma yeteneğinden gelmektedir. Özellikle kritik yüklemelerde beton iç gerilmeleri çökme sınırına geldiğinde Çelik lifli betonun özellikleri daha iyi görülür. Hiperstatik yapılarda (beton yer döşemesi, kaplama, boru) bu özellik etkili bir şekilde kullanılabilir.

Bir zemin döşemesinde meydana gelen gerilmeler karmaşık ve yükleme tipine bağlıdır; çekme gerilmeleri döşemenin hem üstünde hem de altında meydana gelebilir. Ayrıca ani forklift hareketlerinden, rötire ve termal etkilerden, darbe yüklerinden doğan ek gerilmeleri de eklenmektedir. Çelik teller, zemine oturan endüstriyel beton döşemeler için ideal bir takviye malzemesidir. Mikro çatlakların genişlemesini durdurarak betonu korur. Lif takviyesiz bir betonda, gerilme çatlaklarından iletilmez. Çekme kapasitesi aşıldığında mikro çatlaklar hızla büyüyerek yapının çökmesini yol açar. Betona katılan çelik teller bu çatlak olayını kontrol altında tutarlar. Mikro çatlaklar civarındaki gerilim yoğunluğunu azaltırlar:

- 1- Teller, çatlakta köprü oluşturur ve yükün bir kısmını çatlağa dik doğrultuda iletirler.

2- Elastiklik modülü daha büyük olduğu için, çatlak yanındaki teller, daha büyük yüklere direnç gösterirler.

Betonun kırılma davranışı bu şekilde değiştirilir. Sert kırılğan yapı; elastik, şekil değiştirebilen bir yapıya dönüşür. Beton döşemede, nihai gerilmeler aşıldığında çatlak oluşur. Bu çatlak, çelik teller nedeniyle, mafsallık gerilmelere direnir (tel tipi ve dozajına bağlı olarak) ve döşemenin yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır.

Çelik tel takviyeli beton, daha çok enerji tutar, darbe ve yorulma direnci artar. Genelde kullanılan çelik teller, 60mm uzunluğu ve özel olarak bükülmüş kancalı uçları ile bu amaca uygun olarak kullanılır. Tel sonlarındaki bükülmeler, betona ankrajı kuvvetlendirir. Tellerin yüksek çekme mukavemeti, kırılma ve deformasyonu engeller. Çelik teller zemine oturan betonarme döşemeleri, her doğrultuda takviye eder. Özel tutkal ile yapıştırılmış demetler halinde bulunan teller, beton karıştırma makinalarında basit ve hızlı bir şekilde dağılmaktadırlar [2].

2.1.1.1. Çelik Tellerin Yapısı

Sert çekilmiş düşük karbonlu çelik C1008'den üretilir. Bu çelik teller yüksek ve üniform çekme gerilmesi ile düşük uzama özelliğini birleştirirler. Beton içerisinde bulunan fiberler nihai yükleri taşıdıkları zaman kırılmamaları ve kopmamaları gerekir. Çelik teller 1100N/mm² çekme mukavemeti ile bunu gerçekleştirir. Düşük elastik limitleri (%0.2) yüksek çekme gerilmesi ile birleştirilmiştir [2].

2.1.1.2. Çelik Tellerin Birleştirilmesi

Serbest fiberlerin beton içerisinde dağılımı malzemenin homojenliği sorununu getirir. Yaklaşık 30 tel, suda eriyen tutkal ile birleştirilir. Kullanıma ve karışıma bağlı olarak 2 tip tutkal kullanılır.

P Tipi : Çözülme birkaç saniyedir.

C Tipi : 30- 60 saniyeye ihtiyaç vardır [2].

2.1.1.3. Çelik tellerin Paslanma Direnci

Genel uygulamalarda kaplanmamış çelik tel kullanılır. Bu teller ve beton mükemmel olarak birleşirler. Tek negatif etkisi, beton yüzeyinde (vibrasyonlu master kullanılmadığı zaman) kırmızı lekelerle sebep olurlar. Özel durumlarda, aşırı paslanmaya müsait ortamlarda estetik görünüş önemli olduğunda (prekast) galvanizli

teller tavsiye edilir. Isıya dayanımlı betonlarda ise, paslanmaz çelik teller kullanılmaktadır. Bu tellerin özellikleri kaplanmamış teller ile hemen hemen aynı olmaktadır [2].

2.1.1.4. Çelik Liflerin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Çelik Teller Şekillerine Göre;

- a- Düz, pürüzsüz yüzeyli teller
- b- Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller
- c- Sonu kancalı teller

B sınıfı teller, uzunluğu boyunca deforme olma şekline göre,

- 1-Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller
- 2- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller
- 3- Ay biçimi dalgalı teller

C sınıfı teller sonlarındaki kancalara göre,

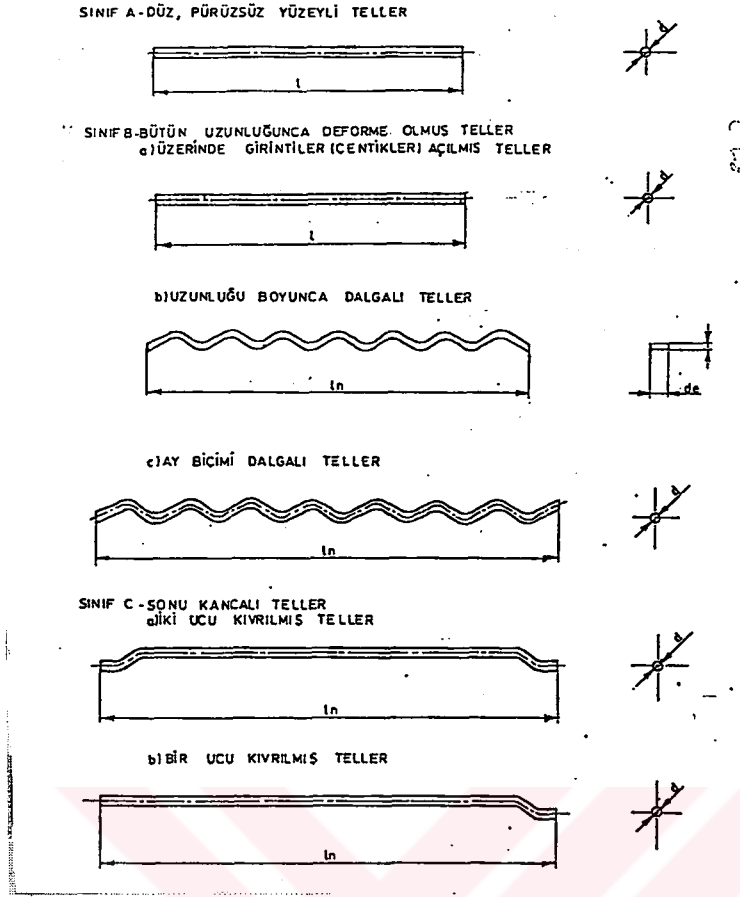
- 1- İki ucu kıvrılmış teller
- 2- Bir ucu kıvrılmış teller

1-Görünüş Özellikleri

Teller, yüzeyleri pas, yağ ve petrolden arındırılmış ve temiz olmalıdır. Teller üzerindeki yüzey bozuklukları ve hadde talaşı kusurlu sayılmalarına neden olmaz.

1-Malzeme Özellikleri

Çelik teçhizatlı beton imalinde kullanılan çelik teller, düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile elde edilmelidir [2,6].



Şekil 2.1. Çelik Tel Tipleri

2.1.1.5. Çelik Lif Takviyeli Betonun Teknik Özellikleri

Çelik lifler, biçim ve mukavemette üniformdur. Bu beton karışımının homojenliği ile birlikte, çelik lifli betonun teknik özelliklerinin değişmezliğini sağlar. Her özel karışım ve fiber tipi için bu özellikleri tanımlanmıştır:

- Yüksek dayanım, enerji emme özelliği
- Eğilme ve basınç dayanımı
- Yüksek darbe direnci
- Yüksek yorulma direnci

Bu özellikler uygulamalarda çelik lif kullanılır ve hesaplanırken göz önünde bulundurulana hususlardır [2].

2.1.2. Betonda Kullanılan Çelik Liflerin Karışım Usulleri

Homojen bir beton karışımı elde etmek için, aşağıdaki temel prensiplere uyulmalıdır.

1. Kritik çelik tel dozajını aşmamalıdır. Uygun beton karışımları ve çelik tel tipinin seçimi önemlidir. İnce agreganın kullanılması, çelik telli betonun karışımını kolaylaştırır ve gerekli olduğunda dozajı arttırmayı sağlar.
2. Homojen karışım bütün çelik tel demetlerinin beton içinde eşit dağılımı ile gerçekleşir. Bütün tel demetleri beton içinde üniform olarak dağıldıktan sonra, mikser kısa müddetle durdurulmalıdır.
3. Çelik lifli beton şantiyeye kamyon veya transmikser ile nakledilebilir. Transmikser kullanıldığında kazan düşük hızla çevrilmelidir [2,7].

2.1.2.1. Karıştırma Yöntemleri

A- Beton Santralinde Karıştırma (en iyi sistem)

1. Kum, mıcır ve çelik teller bir arada karıştırılmalıdır. Bu malzemeler bir konveyör bandı aracılığı ile kazana verilebildiği gibi : Kum, mıcır ve teller beton santralinin tartı kovasına da atılabilir. Her iki durumda tavsiye edilen tellerin kum ve mıcırın üzerine dökülmesidir. Kuru karışım tel demetlerinin çözülmesini ve dağılmasını sınırlar.
2. Çimento, gerekli ise uçucu kül ve su ilave edilmelidir. Bütün teller ayrılıp dağılıncaya kadar karıştırılmalıdır. Bu süre mikser tipine bağlıdır ve genellikle 1-2 dakika arasındadır.
3. Hazırlanan betonda çelik teller ilave edilebilir. Teller ayrılıncaya kadar karışım devam eder. Bu metod yukarıda izah edilen karışımı 1-2 dakika uzatır [2,7].

B- Transmikserde Bütün Malzemeyi Karıştırma

1. Teller ve agreganın transmikserde konarak karıştırılır. Kuru karıştırma zamanı sınırlıdır.
2. Çimento ve su ilave edilir. 2-4 dakika sonra karışım kontrol edilmelidir. Üniform karışım gözle farkedilir ve belli olmalıdır. Teller bazen 2 veya 3 telden ibaret demetler halinde dağılmış olabilir. Bu durumda şantiyede transmikseri kısa bir zaman daha üniform karışım elde edinceye kadar çalıştırılmalıdır.

C- Transmikserde Bulunan Hazır Betona Tellerin İlave Edilmesi (A ve B mümkün olmadığında)

1. Transmikserdeki beton, mikser kapasitesinin max %80 i olmalıdır.
2. Yüksek su / çimento oranından kaçınmak için akışkanlık verici katkı maddeleri kullanılmalıdır. Çelik telleri transmiksere dakikada 1 torba (30kg) hızı ile konmalıdır. Bu sırada mikser kazanı yüksek devirle döndürülmelidir.
3. Karıştırma zamanı mikser tipine bağlıdır. Bütün tel demetleri betona ilave edildikten sonra, mikser kısa müddetle durdurulmalı ve dağılım kontrol edilmelidir. Üniform dağılım gözle farkedilmelidir. Bu sonuç elde edilemediyse, transmikser bu karışım sistemi için uygun değildir. Beton karışımı homojen, ama tel demetleri tam ayrılmadıysa; mikser teller tam olarak tek teller halinde ayrılıncaya kadar kısa bir süre daha döndürülmelidir. [2,7].

2.1.2.2. Kontrol Kuralları

Kontrolün amacı, sürekli bir kalite denetiminin sağlanmasıdır.

1. Kontrollüğün seçeceği karışımlardan her kontrol için, her 1000 m³'lük betondan 3 adet 10 litrelik beton numunesi alınmalı ve TS 2940'da belirtilen 'Taze betondan numune alma metotları' kullanılmalıdır.
2. Alınan 3 adet 10 litrelik numune su ile yıkandıktan sonra çelik lifler mıknatıs yardımı ile toplanıp hassas olarak tartılmalıdır.
3. 3 numunedeki ortalama çelik tel miktarı, olması gerekenden en çok %10, her bir numunedeki miktar ise en çok %15 farklı olabilir.
4. İstenen oranlar elde edilinceye kadar, beton santralinde gerekli tedbirler alınmalıdır.
 - Soğuk çekme tel, oda sıcaklığında ısıtılmış çekilmiş, düşük karbon oranlı teldir.
 - Tel demetleri, birbirlerine suda kolay çözünen yapıştırıcı ile tutturulmuş 2-36 telden meydana gelen tel gruplarıdır.
 - Çelik tellerin betona karıştırılması kuralları, BS20 ve daha yüksek basınç mukavemetine sahip betonlar için uygulanır. [2,7].

Tablo 2.1. – Betona ilave edilebilen maksimum tel miktarı, kg/m³

En Büyük Dane Çapı	Uzunluk/Çap = 60		Uzunluk/Çap = 75		Uzunluk/Çap = 100	
	Normal	Pompa	Normal	Pompa	Normal	Pompa
4 mm	160	120	125	95	95	70
8 mm	125	95	100	75	75	55
16 mm	85	65	70	55	55	40
32 mm	50	40	40	30	30	25

Malzeme Özellikleri

1. Beton Yapısı ve Kalitesi

- Çimento miktarı en az 320 kg/m³ olmalıdır.
- Kum (0 mm –4 mm) miktarı, toplam agregâ kütlesinin % 40-% 45’i olmalıdır (750 kg/m³-850 kg/m³)
- En büyük dane büyüklüğü, doğal agregâ için, 28mm, kırma taş için 32mm olmalıdır. 14 mm’den büyük agregâ oranı, % 15-% 20 ile sınırlanmalıdır.
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 N/mm² olmalıdır.
- Su/çimento oranı en çok 0.55 olmalıdır.
- Betona işlerlik sağlanması amacı ile akışkanlık verici katkıları kullanılabilir.
- Betonda bulunması gereken 0.25 mm’den küçük ince malzeme miktarı Tablo-2.2’de verilmiştir [2,7].

Tablo 2.2- Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı

En Büyük Agregâ Dane Büyüklüğü	İnce Malzeme Miktarı (<0.25 mm)	
	kg/m ³	L/m ³
8 mm	525	180-185
16 mm	450	150-155
32 mm	400	130-135
NOT- (Çimento özgül kütlesi : 3.1 kg/l) (Kum yoğunluk :2.65 kg/l) olarak hesaplara katılacaktır.		

2.1.2.3. Çelik Lif Takviyeli Betonun Döküm Esasları

Hazırlık

Beton döşeme, küçüldüğü ve genişlediği için mevcut duvar, kolon eteklerine, 10 mm kalınlıkta ayırıcı bir malzeme konması gerekir. Polietilen örtü sıkıştırılan zemin üzerine dikkatle serilir. Ek yerleri en az 50 cm bindirilir.

Yerleştirme

Betonlama sırasında beton mümkün olduğu kadar etkili bir şekilde sıkıştırılmalıdır. Bu vibrasyonlu master ile yapılamazsa betona akışkanlığı yükseltici katkıları ilave edilmelidir.

Masterlama

Bilinen teknikler masterlama için kullanılabilir. Sıkıştırma ve tesviyeden sonra beton yüzeyine aşınmaya karşı bir malzeme ve çimento serpilir. Bu işlemler uygun zamanlama ile yapılmalıdır. Beton yüzeyi daha sonra perdahlanabilir.

Yüzeye Kür Malzemesi Uygulanması

Taze beton; güneş ve yağmurdan korunmalıdır. Betona başlamadan evvel yapıdaki açıklıklar kapatılmalıdır. Perdahlamadan sonra hızlı kurumayı önlemek için, bir kür maddesi yüzeye uygulanmalıdır. 120 mm'den daha ince döşemelerde 2 kat kür tabakası yapılmalıdır. Beton yüzeyine üst koruyucu bir tabaka yapılacaksa kür malzemesi uygulanmaz. Bu durumda yüzey ıslak tutulur. [2,7].

2.1.3. Çelik Lif Takviyeli Betonda Uygulanan Testler

Kalite kontrol parametreleri genellikle taze betonun işlenebilirliği ve içindeki hava miktarı ile ölçülür. Diğer ölçülen parametreler, birim ağırlık, beton sıcaklığı, hava sıcaklığı ve yoğunluktur. İşlenebilirlik ters koni ya da vebe testi ile ölçülür. Katı karışımlar için bu testler önerilmez. Sıvı karışımlar için tavsiye edilir. Çökme konisi testleri hala kalite kontrolünde kullanılır. Karışımı katılaştırmak ve işlenebilirliği artırmak için su azaltıcı ek maddeler katılabilir. [3, s. 130-147]

2.1.3.1. İşlenebilirlik (Workability) Testleri

Yeterli işlenebilirlik için düzenli oturma, birleşme ve bitirme gereklidir. Minimum su miktarı olmalı, çünkü fazla su ayrışmalara ve bozulmalara yol açar ve katılaşacak betonun mukavemetini ve sürekliliğini bozar. Bu metotlar işlenebilirliğin

değerlendirmesini ve gerekli su miktarının ayarlanmasına yardımcı olur. Bu metotlar hem çelik lifler hem de polimer lifler için geçerlidir.

Çökme Konisi Testi

En yaygın olarak kullanılan test olduğu bilinir. Lifli betonun çökme değerleri 50 mm'yi aşar. İçeriği parti parti görülür.

Ters Çökme Konisi Testi

Lifli betonlar için geliştirilmiş bir metottur. Bu testte zaman saniyelerle ölçülür. Betonun koni içinden akması saniye saniye incelenir. Vibrasyon ile sıkıştırılmış betonun akışkanlığı dolayısıyla işlenebilirliği bu koniden akışıyla açıklanır. Suyu azaltılmış 100 mm çökme yapan betonlar için uygun değildir. Akışkan kıvamda olan betonlar için uygundur. Çünkü çok akışkan olanlar da koniden çabuk akarlar ve bu iyi sonuç vermez. Koni bir standart biçimde bir de ters dönmüş biçimde durur. Standart çökmede 75 mm'den az olan lifli betonlar vibrasyon altındayken, normal betondan daha iyi akar. Karışımlar için çökme 75 mm'de daha çoktur. Böylece fark anlaşılır. Değerler polimer ve çelik lifler için aynıdır.

VeBe Testi

Bu test İngiliz Standartları Enstitüsü'nde yer almaktadır. Öncelikle, beton dışarıda vibrasyona tabi tutulur. Karışımın içeriği saniyelerle tanımlanır. Bir parça belirgin betonun akması yeterlidir. Ters dönmüş çökme konisi ile vebe testi sonuçları karşılaştırılır. Koni ile 7 saniyede ölçülen 50 mm çökme yaparken vebe ile 3 saniyede ölçülür. Vebe ölçer şantiye için uygun değildir. Çünkü ağırlığı ve boyutu büyüktür. Görülüyor ki zaman açısından vebe testi daha kısa zamanda aynı sonucu verir. [3, s. 130-135].

2.1.3.2. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

Taze karışım çelik lif takviyeli betonun hareketini etkileyen en önemli faktörler; içerdiği matris kompozisyonu, lif tipi, lif geometrisi, lif hacmi ve lif matrisi, bağ karakteridir. Lif katkısı kompozitleri daha katı gösterir. Eğer vibratör kullanılırsa karışım daha çok çalışır. Tüm lif geometrileri betonda kullanılır. Uzun ve çaplı olanları işlenebilmeyi azaltır. Karıştırılırken max. Agrega ile uyumuna dikkat edilmelidir. Balaguru ve Ramakrishnan ucu kancalı çelik lifleri kullanarak büyük bir araştırmayı raporlamışlardır. Çökme, hava tespiti ve vebe zamanı, çeşitli çimento ve lifler için kullanılmıştır. Su-çimento oranı 0.28-0.50 olarak değişir. Lifli ve lifsiz

beton karışımları değerlendirmeye alınmıştır. Ekler A1 ve A2 'de lifli ve lifsiz betonların karışım oranları gösterilmiştir. Ekler A3 de karışımların çökme ve vebe test değerleri görülmektedir. Ekler A4 'de ise plastik kıvamda normal betonun oranları belirtilmiştir.

Tüm bu sonuçlar, su-çimento oranı, çimento miktarı, lif miktarı ve su azaltıcı katkı dozajları gibi faktörlerin etkilerini yansıtır. Analizler çökmeyi etkileyen faktörleri şöyle sıralar:

- Su-çimento oranı
- Çimento miktarı
- Yüksek dozajda su azaltıcı katkılar
- Lif miktarı
- Su-çimento oranı, çimento miktarı ve lif miktarının kombinasyonu

Test değerlerine göre özellikle çimento miktarı ve lif miktarı, lif miktarının etkileri, su-çimento oranından 1000 kere daha azdır, çimento miktarı ve su-çimento oranı etkisinden 300 kere daha azdır. Bu sonuç gösterir ki; lif miktarı, su azaltıcı katkı bulunduğu çökmede çok az etkilidirler.

Vebe Zamanı Testinde Etkili Olanlar :

- Yüksek miktarda su azaltıcı katkılar
- Su-çimento oranı
- Çimento miktarı
- Lif miktarı
- Su-çimento oranı, çimento miktarı ve lif miktarının kombinasyonu

Unutulmamalıdır ki, su azaltıcıların miktarı vebe zaman testinde çökme testindekinden daha önemlidir. Vibrasyon altında ise çok etkilidir. Su-çimento oranından da önemlidir. Lif miktarı ise daha az önem taşır. Sonuç olarak; Lif tespitinde VeBe zamanı, çökme testinden daha duyarlı olur.

Hava miktarını etkileyen faktörler:

- Su-çimento oranı
- Su-çimento oranı, çimento miktarı kombinasyonu
- Çimento miktarı
- Yüksek miktarda su azaltıcı katkılar

- Lif miktarı
- Su-çimento oranı, çimento miktarı ve lif miktarının kombinasyonu

Yapım sırasında işlenebilirliğin zamanla azalması problemdir. Hele su azaltıcı katkı kullanılmışsa daha da hayatidir, çünkü bu katkılar zamanla etkinliklerini kaybederler. Çökmenin azalması ve hava miktarındaki azalma ölçülebilir. Ekler A3 ve A4’de görülüyor ki, 30-60 dakika sonra çökme değerleri azalır. Lifli ve normal beton için çökme aynıdır. Fakat kesin değerler lifli beton için daha hızlı düşer. Düşme değerleri ilk 30 dakika, 60 dakika sonra stabilize olacağı düşünülür. Su azaltıcı katkılar mekanik özellikleri kötü etkiler. [3, s. 130-145]

2.1.4. Çelik Lif Takviyeli Betonun Mekanik Özellikleri

Günümüze kadar çelik telli normal betonlar üzerinde birçok araştırma ve çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Çelik tellerle donatılı betonlar, daha çok enerji yutarlar, darbe ve yorulma dirençleri yüksektir. Uçları bükülmüş kancalı teller betona ankrajı güçlendirirler. Betondaki mikro çatlakların genişlemesini durdurarak, çatlakta köprü oluştururlar ve yükün bir kısmını çatlaka dik doğrultuda iletirler. Ayrıca e-modülü daha büyük olduğu için, çatlak yanındaki teller, daha büyük yüklere direnç göstermektedirler. [11].

Dolayısıyla çelik tellerle donatılı betonların en belirgin özellikleri, yüksek enerji yutma nitelikleri, eğilme mukavemetinin ve yorulma dirençlerinin yüksek oluşu şeklinde belirginleşmektedir. Ayrıca kullanılan çelik tel tipinin de üretilen betonun özelliklerine etkisi vardır. [13].

Kırılgan matris ve sünnek lifli kompozitler sınıfına girebilecek olan lifli betonların üretiminde, şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda portland çimentosu kullanılmıştır. Matris olarak portland çimentosu hamurunun kullanılmasının çeşitli yararlar sağlamasına karşın önemli bir sakıncası da vardır. Bu da çimento hamurunun kırılma birim uzamasının çoğu liflerinkinden % 0,02-0,06 mertebesinde daha düşük olması sonucu; bir yükleme durumunda, elastik limitin ötesinde çimento hamurunun matrisinde çatlakların oluşumudur. [8]. Çelik tel donatılı betonlarda kullanılan lif malzemesinin etkinliği işte bu şekilde oluşabilen çatlakların genişlemesini durdurarak betonu bir dereceye kadar korumasıyla ortaya çıkmaktadır. [9, s.26].

Craig, [14], elik tel donatılı betonların mekanik özellikleri ile ilgili olarak yapmış olduğu deneysel çalışmalarının birinde şu sonuçları elde etmiştir:

- Lif eğilme momenti kapasitesini artırmaktadır.
- Sünmeyi artırmaktadır.
- Malzemenin ekme gerilme mukavemetini artırmaktadır.
- Çatlakları kontrol altına alabilmektedir.
- Rijitliği artırmaktadır.
- Elemanın yapısal bütünlüğünü koruyarak normal betonarme ile yapılmış kirişteki kırılma yüklerini aşmasını sağlamaktadır.

Ramakrishann [16], taze ve sertleşmiş betonda burgulu liflerin özelliklere etkilerini araştırmıştır. Sertleşmiş betonda olduğu gibi taze betonda da lif tiplerinin, narinlik oranlarının, ve karışım oranlarının betonun özelliklerine etkili olduğunu söylemiş ve sertleşmiş betonda liflerin betonların eğilme, yarıma ve çarpma mukavemetlerini etkilediği de belirtmiştir.

Mizukoshi , Shimauchu, Kaguma ve Matsui [17], hasar görmüş betonların onarımı için uygun özelliklere sahip olabilecek elik tel donatılı betonlar üzerinde çalışmalar ve ürettikleri betonların yorulma özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, betonların yorulma yaşını arttırmak için betona hacimce % 1 oranında elik tel katılmasının yeterli olabileceği sonucuna varmışlardır.

Günümüzde yüksek dayanımlı betonlara gereksinim giderek artmaktadır. Bu betonların normal dayanımlı betonlara göre olumsuz tarafı kırılma sırasında bağlı olarak az enerėi yutmalarıdır. Böylece gevrek davranış gösteren yüksek dayanımlı betonların yerini sünekliliği artırılmış yüksek performansa sahip ultra yüksek dayanımlı betonların alması söz konusu olmaktadır. [18]. Teknolojik gelişmelerin sonucu olarak deney tekniklerinde sağlanan büyük gelişmelerle betonun mekanik davranışı alanında önemli ilerlemeler kaydedildi. Özellikle betonun iç yapısı ile mekanik davranışının birlikte incelenip değerlendirilmesi araştırmalara yeni boyutlar kazandırmıştır. [18].

2.1.4.1. elik Lif Takviyeli Betonun Basınç Altında Davranışı

Beton gevrek bir malzeme olduğu için basit mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basınç, en düşük olanı çekmedir. Basınç dayanımı betonun tüm pozitif

nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır, aşınmaz. [5].

Çelik tel donatının, betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çelik tel donatının basınç dayanımı açısından önemli bir artışa neden olmadığı söylenebilir. Çelik tel hacim oranı arttıkça buna bağlı olarak matris fazında homojen bir karışım sağlanamadığından kusurlar artabilmektedir. Ancak diğer kırılğan matris ve sünek lifli sistemlerdekine benzer şekilde, basınç halinde de betonların enerji tutma özelliği , tokluğu artmaktadır [9, s. 18].

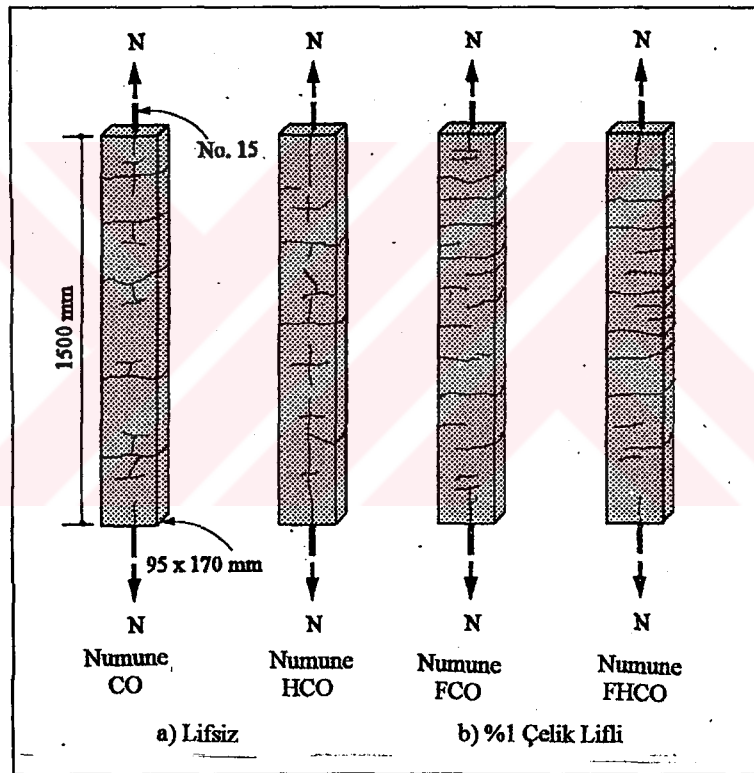
Çelik tellerle donatılı beton ve harçların basınç dayanımında, çelik tel donatıya bağlı olarak artış görüldüğü kanıtlanan, kayıtlara geçen ilk çalışmalardan biri olan, Williams'ın 1974'deki [15] sonuçları kaynaklarda yer almaktadır. En büyük dane çapı 19 mm olan agreganın kullanıldığı betonlarda, lif narinlik oranı 100 ve tel hacim oranı % 2 dir. Standart silindir örneklerde elde edilen mukavemet artışı koşullara bağlı olarak % 23 oranına kadar ulaşabilmektedir. Yine kayıtlarda [12], harçlarda görülen dayanım artışının, genelde ihmal edilebilir seviyede kaldığı belirtilmektedir. Literatürde genel olarak çelik tellerle donatılı betonların basınç mukavemeti değerlerinin % -25 ile % +25 arasında değişebileceği ifade edilmektedir. [18].

Liflerin deformasyon artış miktarı genellikle 60 kg/m^3 ile sınırlıdır. Bazı özel durumlarda lif miktarı 120 kg/m^3 'ü aştığında mukavemetteki artış belirgin olmaz. Büyük yük altında gerilme davranışı önemlidir. Lif eklenmesi ile yük altındaki gerilme arttırılır. [20].

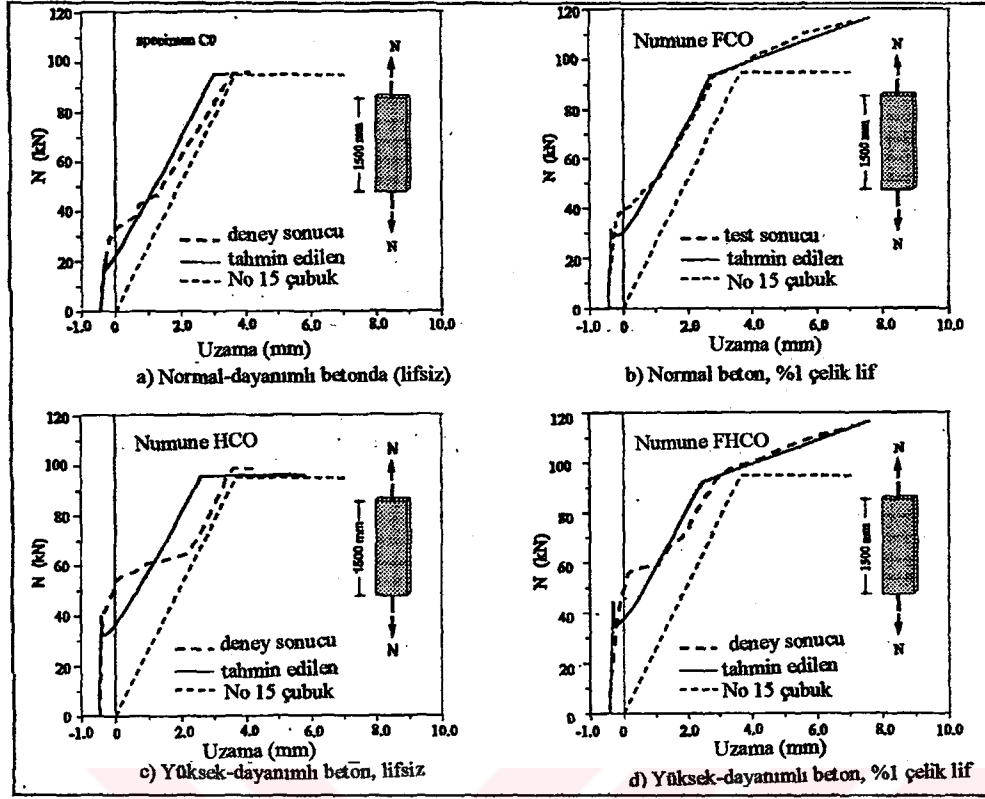
Trottier ve Banthia [19], çelik lifli betonlarda dayanıklılık karakteri üzerine yaptıkları bir çalışmada, basınç dayanımları 42, 52, 85MPa olan 3 farklı tip matriste, 40 kg/m^3 lif dozajlı, farklı tip liflerle hazırladıkları deney numuneleri üretmişlerdir. Lif geometrisi ve matris dayanıklılık karakteri çelik lifli betonların özellikleri üzerine etkilerinin büyük olduğunu görmüşlerdir. Test programına göre; basınç testleri, ASTM C 469'a göre 100x200 mm boyutlarında 3 tane silindir numune üzerinde e-modülü de bulunarak yapılmıştır. Eğilme dayanımı testleri, 100x100x350 mm boyutlarındaki kiriş numunelerde yapılmıştır. Sonuçlara göre; 28. gün sonunda basınç dayanımları, e-modülü ve kırılma indisi değerlerinde artışlar görülmüş.

Tablo 2.4 Çekme deneylerinde kullanılan numunelerin mekanik özellikleri

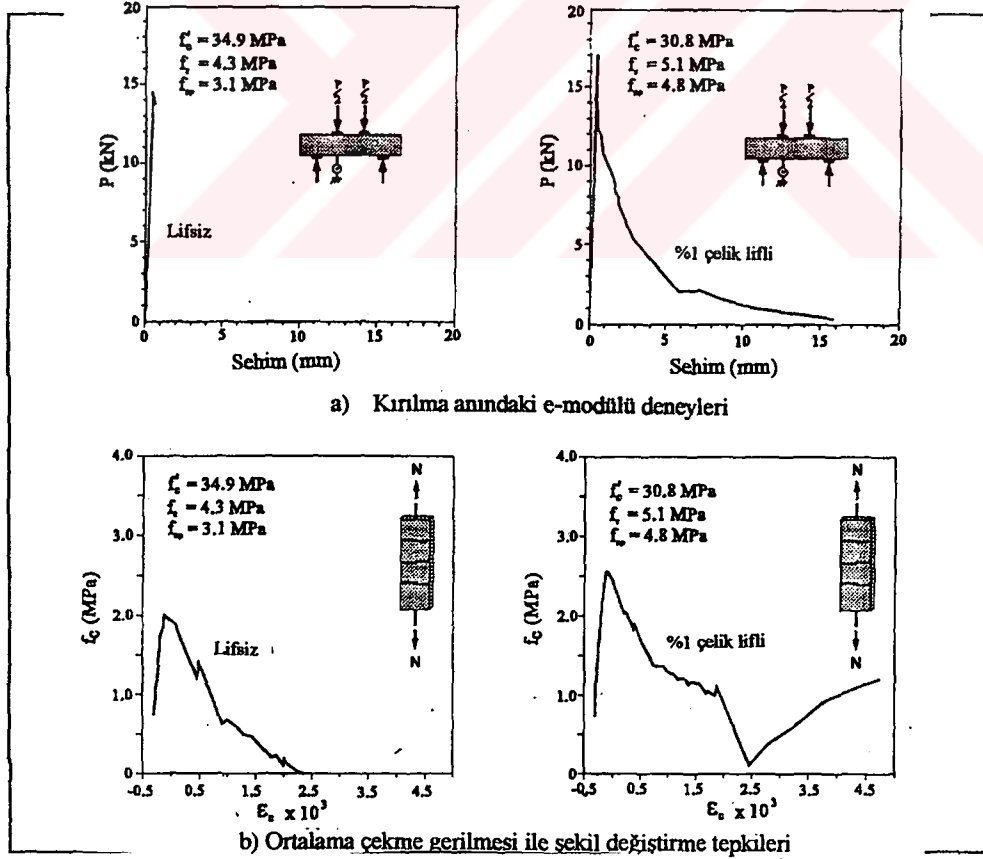
Numune	Basınç Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa	Kırılma Modülü MPa
CO	34,9	3,1	4,3
FCO	30,8	4,8	5,1
HCO	90	6,3	9,8
FHCO	74,6	7,5	6,8



Şekil 2.2 Numuneler üzerinde görülen tipik çatlaklar.



Şekil 2.3. Çatlak gerilmesi üzerine çelik liflerin etkileri



Şekil 2.4. CO, FCO, HCO, FHCO numunelerinin karşılaştırmalı test sonuçları

2.1.4.3. Çelik Lif Takviyeli Betonun Eğilme Altında Davranışı

Çelik tel takviyeli betonlarda eğilme altındaki davranış en önemli faktördür. Çünkü çoğu pratik uygulamalarda kompozit çeşitli eğilme yüküne maruz kalır. Lif katılması ile normal betonun eğilme direnci artırılır. Testler genelde 100x100x350 mm kirişlerde uygulanır. Liflerle daha iyi bağ yapan betonlarda eğilme direncinde artış yüksek olur. Lif hacim oranı ve karışım oranı önemlidir. Daha uzun lifler daha iyi direnç demektir. Verilen lif geometrisinde yüksek açılı oranları mukavemeti artırır. Çoğu durumlarda eğilme mukavemetindeki artış, basınç ve çatlak gerilme mukavemetinden daha fazladır. Lif kullanılması eğilme mukavemetini artırır. Eğilme sertliğini etkileyen faktörler; lif tipi, lif geometrisi, lif hacim oranı, matris kompozisyonu ve numunenin boyutudur [3].

Shah ve Rangan [1971], rasgele olarak beton içerisine dağılmış, farklı hacim, boy ve lif tipi için çelik liflerin lif güçlendirmesinin mekanizmasını pratikte kullanılan çelik çubuklarla güçlendirme arasındaki farkı çekme, basınç ve eğilme etkileri altında araştırmışlar. Çalışmalarında, liflerle güçlendirilmiş betonlarda liflerin matriste çatlak oluştuktan sonraki etkinliğinin daha fazla olduğu, çatlama sonrası dayanımın ise lif uzunluğu, oryantasyonu ve gerilme şekil değiştirme özelliklerine bağlı olduğu sonucuna varmışlardır [22].

Lok, Song [23], çelik lifli betonların eğilme davranışı üzerine yaptıkları çalışmada amaçlanan eğilme davranışının, kompozit malzeme özellikleri (f_{cu} , f_t), lif hacim konsantrasyonu (V_f), lif oranı (L/d) ve lif-beton matris bağ gerilimi değerleri kullanılarak hesaplamak için analitik bir model üzerinde çalışmışlardır. Bu modele göre bulunan eğriler test sonuçları ile karşılaştırılmış ve birbirlerini tuttuğu görülmüştür. Çelik liflerin etkinliği ve performansını değerlendirmek için birinci modelden faydalanan ikinci bir model çıkarılmıştır. Bu teorik model tekniği, çeşitli liflerin tecrübeyle bulunarak hazırlanmış tablolardan elde edilen bilgilere göre düzenlendiğinden tüm lif takviyeli betonlarda eğilme dayanımının hesaplanmasında kullanılabilir. Chuang ve Mai 1987'de gerilim modelleri üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak, yüksek lif konsantrasyonu ve uzun liflerin daha iyi performans gösterdiği ve eğilme davranışında ise çok etkili oldukları kabul edilmiştir [23].

Maalej ve Li [25], yaptıkları çalışmalarda lif katkılı çimentolu malzemelerde eğilme dayanımları için teorik modeller üzerinde çalışmışlardır. Bu modelde, eğilme

dayanımının numunenin geometrisi ile de doğrudan ilişkili olduğu, bu tür malzemelerde eğilme dayanımının çekme dayanımından daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. 1976'da ilk defa Hillerberg, eğilme dayanımının betonun gevreklik oranına bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Zhu 1890'da beton kirişlerde eğilme dayanımı tayini için analitik modeller üzerinde çalışmıştır.

2.1.4.4. Çelik Lif Takviyeli Betonun Darbe Etkisi Altında Davranışı

Günümüzde rasgele dağılı liflerin betona katılması, betonun çekme dayanımını, duktilitesini, enerji emme kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir. Yapı mühendisliğinin pek çok uygulamasında betonun darbe yüklerine ve tekrarlı yüklere karşı yeterli dayanıma sahip olması istenir ve liflerin darbe dayanımında sağladığı mükemmel artış ta lifli betonların en önemli avantajlarından [22].

Çelik liflerin 30-120 kg/m³ miktarında ilave edilmesi, beton ve diğer harçların mühendislik özelliklerinin bir çoğunda önemli düzeltilmeler sağlamaktadır. Ayrıca betonun eğilme muk., yorulma muk., parçalanma ve kırılma dayanımını arttırmaktadır [12].

Swamy ve Mangat [1974], çelik liflerle yaptığı araştırmada çelik liflerin eğilmede çekme dayanımı üzerine; çatlak gelişimine ve kompozit malzeme mekaniğine dayanan bir teori sunmuşlardır. 10x10x50 cm'lik prizmatik deney numuneleriyle 25,4 mm'lik çelik liflerle yapılan deneylerle desteklenen bu teoriye göre ilk çatlak lif sıyrılmasından meydana gelmekte ve göçme, liflerin sıyrılması ve yüzeysel kayma gerilmesinin maksimum kenetlenme dayanımına ulaşması ile olmaktadır. [22].

Suaris ve Shah [1982], darbe testlerinde kullanılan gerek patlayıcı gerekse düşme ağırlıklı deney düzenekleri içinden herhangi birinin standart olarak kabul edilemeyeceğini belirtmişlerdir. Söz konusu deney düzeneklerinde, değişik numune boyutu ve geometrilerinde yapılan deneylerde elde edilen sonuçların ancak kendi içinde kıyaslanabileceğini, dizayn maksadıyla malzeme özelliklerini belirlemede kullanılamayacağını vurgulamışlar. Bu konuda yaptıkları deneysel içerikli çalışmalarında, düşme ağırlıklı darbe deney düzeneklerinde, darbe kafasında ölçülen yük ile kirişin karşı koyduğu yükün numune içi etkiler nedeniyle aynı olmadığını söylemişlerdir. Ayrıca deney düzeneğinde kullanılan numunede meydana gelecek

iç osilasyonların kauçuk bir ped kullanmak suretiyle indirgenebileceğini belirttiler. Lifli betonlarla yaptıkları deneylerde, çelik lifli numunelerin lifsiz numunelere nazaran 20-100 kat daha fazla darbe dayanımı gösterdiğini, lif ile matris arasındaki kenetlenmenin şekil değiştirme derecesinden hemen hemen bağımsız olduğunu ifade ettiler. [22].

2.1.4.5. Çelik Lif Takviyeli Betonun Aşınma ve Kayma Direnci, Isı ve Elektrik İletkenlik Özellikleri

Sertleşmiş çelik lif takviyeli betonun birim ağırlığı normal betondan çok farklı değildir. Birim ağırlık, çelik lifli betonun hacim kesri % 3'ten çoksa, artmaya meyillidir. Standart aşınma direnci testlerine göre çelik liflerin çok da etkisi olmadığı görülmüştür. Çelik lifler ayrışmada direnci artırır. Isı iletkenliği çelik liflerin kullanımıyla artar. Elektrik iletkenliği ise tam olarak ispat edilmemiştir. [3].

2.1.5. Çelik Lif Takviyeli Betonun Mekanik Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Çelik liflerin beton içerisine katılma oranı % 0,5-2,5 arasında olabilmektedir. Ancak yapılan araştırmalar göstermiştir ki, optimum fayda hacimsel oranın % 1-2 olması halinde sağlanmaktadır. Bu değerden daha az katılması halinde, normal beton özelliği üzerinde çok büyük bir olumlu gelişme sağlanamamaktadır. Daha yüksek oranda katılması durumunda ise normal betonun basınç dayanımından daha düşük bir değer elde edilmektedir. Buna en büyük etken de yüksek oranda katılmış liflerin karışım sırasında daha çok topaklaşmasıdır. Buna paralel olarak ta yer yer beton içerisinde zayıf bölgeler ve hava boşlukları oluşmaktadır. [22].

Betonlarda kullanılan çelik tellerin betonun bir çok mekanik mukavemetlerini artırdığı bir çok defa söylenmiştir ve çeşitli deneylerle de desteklenmiştir. Betonun bu özelliklerindeki performans artışı beton bileşimi, lif miktar ve özellikleri başta olmak üzere agrega granülometrisinin de etkisi vardır. [26]. Ayrıca, Isıl işlem uygulamasının da lifli betonun mekanik özelliklerine etkisi büyüktür. [24].

Chern ve Young, sünme ve rötre tayini için yaptıkları çalışmada, yüksek oranda çelik lif katıldığında yüksek basınç dayanımı ve e-modülü değerleri bulmuşlar, fakat 4 günlük deney sonuçlarında normal betonun sonuçlarından daha farklı bir sonuç bulamamışlardır. Yani bu da gösteriyor ki, liflerin etkili olabilmesi için belli bir zamana ihtiyaç vardır. Zamanla çimentonun da hidratasyonuna bağlı olarak ve matris

ile lifler arasındaki bağlar güçlendikçe iyi sonuçlar alabilmek mümkün olmaktadır. Daha çok lif katıldığında daha az rötre görülmüştür. İyi kürlenmiş ve bağ yapmış betonda hızlı bir rötre dayanımı görülmüştür. Yüksek sıcaklıkta ise sünmenin arttığı ve yüksek miktardaki çelik liflerin de bu etkiyi azalttığı sonucuna varmışlardır [27].

2.1.54 Isıl İşlem Uygulamalarının Lifli Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi

Günümüz teknolojisinde çelik lifli beton üretim hızı giderek artmakta ve seri üretime geçilmesi gerekmektedir. Özellikle bazı yapı elemanlarının hızlı üretimi ve kısa sürede servise sunulması istenilmektedir. Bu açıdan betonun ilk günlerdeki mukavemet gelişimini hızlandırmada ısıtma işlem uygulamasının lifli betonun özelliklerine etkinliği araştırılmıştır [24].

Genel olarak İnşaat sanayiinde yaygın olarak kullanılan betonun dayanımını erken kazanması ve daha kısa sürede servise sunulması amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler kısaca şöyle sınıflandırılmaktadır:

- Priz hızlandırıcı ve akışkanlığı artırıcı katkıları kullanmak,
- Kristal çekirdekleri kullanmak,
- Yüksek basınç altında sıcaklığı artırmak,
- Isıl işlem uygulamak,

Bu yöntemlerin uygulanmasıyla sağlanacak olan faydalar şöyle sıralanabilir:

- Soğuk havalarda beton üretimi yapabilmek,
- Üretim artışını hızlandırmak,
- Yapılarda kalıp alma süresini kısaltmak,
- Üretilen yapı elemanlarının stoklama sürelerini kısaltarak, depolama alanlarını küçültmek,
- Üretilen elemanların kalite kontrolünün daha kısa sürede yapılmasını sağlamaktadır.

Prefabrike yapı elemanlarının üretiminde erken yaşlardaki mukavemet gelişimini hızlandırmada kullanılan yöntemler arasında en yaygın olanı “Isıl İşlem”dir. İki şekilde uygulanır.

1. Betonun yerleştirilmesinden önce ısıtılması,
2. Betonun yerleştirilmesinden sonra elemanın ısıtılması.

Isıl İşlem uygulaması şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Isı transferi ile ısı uygulaması,
 - a. Doygun buhar ile ısı transferi,
 - b. Sıcak hava ile ısı transferi,
2. Kondüksiyon yolu ile ısı transferi,
3. Işınma yolu ile ısı transferi,

Ünal [24], bir çalışmasında ürettiği beton karışımlarını prizmatik kalıplara yerleştirip ısıtma işlemi uyguladıktan sonra deney günlerinde yapılan eğilme ve basınç deneyleri sonuçlarının 20°C şahit numunelerin 28 günlük mukavemetlerinin (%)’si cinsinden, ısıtma işlemi çevrimlerinin lif miktarlarına göre değişimleri şöyledir:

- Lifli ve lifsiz beton numunelerin eğilme dayanımları uygulanan dört çevrimde de belirli bir artış göstermiştir. Bu artış ilk günlerde daha fazla olmuştur.
- Isıtma işlemi görmüş normal ve lifli betonlarda 1.günde 20°C’ye oranla sağlanan dayanım artışı 28. günlük numunelerde de görülmesine rağmen 90. günlük numunelerde ise azalma olmuştur. Azalmanın 90. günde ortaya çıkması numunelerin saklandığı ortam şartlarına bağlanabilir.
- Isıtma işlemi uygulamasının 1 günlük numunelerdeki mukavemeti artırıcı etkisi, betona katılan lif miktarının artışına bağlı olarak azalmaktadır.
- Betona katılan lif miktarının artması, hem 20°C’de hem de ısıtma işlemi uygulanmış numunelerde erken ve ileriki yaşlardaki eğilme mukavemetini artırmaktadır.
- 1, 28 ve 90 günlük numunelerde eğilme mukavemetleri, lif yüzdesi artışına bağlı olarak artmakta, ancak betonun yaşı ilerledikçe liflerin eğilme mukavemeti artışına etkisi azalmakta olduğu görülmüştür.
- Isıtma işlemi uygulamasının 1 günlük numunelerin basınç mukavemetlerini artırıcı etkisi betona katılan lif miktarına bağlı olarak azalmaktadır. Bunun nedeni betona katılan liflerden dolayı artan kusurların yüksek ısıtma işlemi sıcaklıklarında kendini daha belirgin göstermesine bağlanabilir.
- Isıtma işlemi görmüş ve 20°C’de saklanan numunelerin basınç mukavemetleri, eğilme mukavemetindeki davranışa benzer biçimde betona katılan lif miktarı arttıkça artmaktadır. Ancak bu artış 20°C’lik kür şartlarında ve 50°C’de sürekli olurken 65°C’de ve 80°C’de lif yüzdesi 0,25’den itibaren azalmaya başlamakta ve lif yüzdesi 0,8’den sonra daha da belirginleşmekte olduğu görülmektedir.

- Liflerin mukavemeti artırıcı etkisi ısıtma işlem sıcaklığı yükseldikçe 1. günde hem eğilmede hem de basınçta azalmasına karşılık ileriki yaşlarda eğilme mukavemetinde sabit olurken basınç mukavemetinde azalma devam etmektedir. [24].

2.1.6. Çelik Tel Takviyeli Beton Uygulamaları

2.1.6.1. Çelik Tel Takviyeli Beton Endüstriyel döşemeler

Bekaert firmasının dramix zc 60/80 ve zc 60/100 kullanılabilir.

Uygulamaları iki kısma ayırabiliriz:

- Stabilize veya kum zemin üzerine yapılan döşemeler
- Mevcut beton zemin üzerine yapılan ince beton kaplamalar

Beton döşemeler aşırı yükleri karşılamak zorundadırlar. Bir taraftan dinamik tekerlek yüklerini, diğer taraftan statik çelik kolon yüklerini ve üniform yayılı yükleri karşılayacaklardır. İlave olarak, forklift trafiğinin zararlı etkileri ve düşen yüklerin darbe etkilerine karşı mukavemeti olması gerekmektedir. Hesaplanan çelik tel takviyeli beton homojen bir malzeme olarak, bu yükleri yüksek bir mukavemet göstererek karşılar. Bugüne kadar 2.000.000 m2 alan bu şekilde kaplanmıştır. [2,10].

Uygulama Alanları:

- Fabrika döşemeleri
- Ambar ve hangar zeminleri
- İskele ve rıhtım kaplamaları. [2].

2.1.6.2. Çelik Lif Takviyeli Beton Kaplamalar

Bekaert firmasının dramix zc 50/50 ve zc 60/80 kullanılabilir.

Çelik tellerin beton içerisine karıştırılmasıyla, betonun şok, dinamik yükleme, darbe ve yorgunluk direnci yükselir ve faydalı ömrü artar.

Uygulama Alanları:

- Kamyon park alanları
- Yollar, yol kaplamaları
- Köprü kaplamaları
- Yol tamirleri

- Fabrika içi beton kaplamalar
- Tank sahaları[2].

Uygulama iki tip yapılır:

Yüzer Döşeme: Eski ve yeni döşeme arasına polietilen folyo (200mik.) konur. Eski zeminin düzgün ve temiz olması gerekir. Aksi halde, eski zemin 30-40 mm asfalt kaplanır. Ortalama kalınlık 10-12 cm dir.

Eski döşemeye bağlı kaplamalar: Eski zemin üzerine çimento şerbeti veya epoksi reçine bir kat tatbik edilir, üzerine 60-80 mm çelik lifler dökülür. Eski beton kötü durumda ise, bu tavsiye edilmez. Eski çatlakların önceden tamiri gerekir.

Ateşe Dayanıklı Çelik Lifli Beton

Bekaert firmasının paslanmaz çelik dramix zc 30/40 ve zc 50/50 kullanılabilir.

Ateşe dayanıklı betonun kırılma dayanımını önlemek için, paslanmaz çelik tel kullanılır.

Uygulama Alanları:

- Isıl ve mekanik şoka uğrayan tesisatlar
- Büyük sıcaklık farklılıkları ile karşı karşıya gelen yük taşıyan yapılar
- Aşınma gören yüzeyler

Uygulanan Endüstri Alanları:

- Petrokimya: Çatlak tehlikesine karşı
- Çimento üretiminde: Çimento pişirme borusunun astarlanmasında
- Çelik imalatı: Fırın kapıları ve kapakları
- Jet motorları için test duvarı
- Çelik kolonların yangına karşı astarlanması [2].

Havaalanı Kaplamaları

Havaalanı beton kaplamalarının dizaynı için aşağıdaki faktörlerin bilinmesi gerekir:

- Alt yapı reaksiyon modülü (k) (n/mm^3 , kg/cm^3)
(Sıkıştırılmış zemin veya sıkıştırılmış zemin+adi beton birleşimi)
- Taşıyıcı betonun özelliği
- Kaplama tipi ve yeri (taksi yolu, apron, hangar döşemesi)
- Uçak tipi, tahmini yükler ve bunların sıklığı [2].

Çelik Tel Takviyeli Betonların Kalınlığı:

Kalınlık hesabı limit gerilme kriterine göre yapılır. Maksimum çekme gerilmesi, çelik tel takviyeli betonun mukavemeti ile sınırlıdır. Çelik telli betonların kalınlığı diğer betonlara oranla daha düşüktür. Çünkü,

1. Bu betonların daha yüksek eğilme mukavemeti
 2. Daha yüksek yorulma mukavemetleri vardır. Güvenlik katsayısı düşüktür.
- Zemin ve yol betonlarında statik eğilme gerilmeleri, 40-50 kg/cm² civarındadır. Bu statik yükleme durumu içindir. Yüklerin tekrarlanması ve zamanla oluşan yorulma nedeni ile, beton plak daha düşük gerilmelerde bozulabilir. Normal klasik betonlarda, yük tekrarından doğan yorulma mukavemeti, statik mukavemetin % 50'si civarındadır. Bu oran çelik tel takviyeli beton için % 80 dir [2].

Diyaграмма temel olan hesap, aşağıdaki faktörler gözönüne alınarak yapılır:

- Havaalanlarındaki kritik uçak yükü
- Zemin taşıma gücü
- Trafik sıklığı
- Tel takviyeli betonun eğilme mukavemeti

Havaalanı kaplamaları için beton karışım dizaynı:

- En büyük agrega çapı 32mm'yi geçmemeli ve ince agrega miktarı, tüm agrega miktarının %45-55'i arasında olmalıdır. Çelik tellerin yüzey/hacim oranı oldukça yüksektir. Bu ince malzeme miktarının artmasını ve agreganın tellerle iyi karışmasını sağlar.
- Çimento miktarı 350-380 kg arasında olmalıdır.
- Su/çimento oranı çok önemlidir. İstenilen eğilme gerilmelerini sağlamak için, bu oran asla 0.45-0.50'den fazla olmamalıdır.
- Betonun işlenebilirliğini sağlamak için akışkanlaştırıcı katkıları ilave etmelidir. (Geciktirici ve hava sürükleyici etkisi olmayan katkıları) [2].

Havaalanı Kaplamaları İçin Örnek Karışım Dizaynı:

Çimento 375 kg

Kum 0-3 320 kg

2-5 320 kg

Mıcır 2-7 400 kg

7-20 550 kg

20-32 300 kg

Su/çimento oranı =0.45

Dramix tipi zc 60/80 40 kg/m³

Akışkanlık verici [2].

Liman Kaplamaları

Liman kaplamaları diğer kaplama çeşitlerinden farklı olarak ağır yol trafiğini karşılayacak şekilde dizayn edilirler. Liman kaplamalarının yükleme şekilleri için aşağıdaki durumlar göz önüne alınır.

- Çok ağır yük taşıyan araç trafiği
- 3 katlı yükleme sahası
- Malzeme deposu olarak

Bu tip alanlarda yük transferi ani, şiddetli ve kesme kuvvetleri çok yüksektir. Ayrıca, su yüzeyinin sürekli değişmesi, noktasal yükler ve aşırı yükleme olasılığı göz önüne alınması gereken problemlerdir. [2].

Liman Kaplamaları Olarak Çelik Tel Takviyeli Beton Kullanılması:

Beton içinde bulunan çelik teller, betonun yapısını değiştirir. Eğilebilen ve yüksek çekme mukavemetine sahip teller, betonun zayıf çekme ve şekil değiştirme özelliğini kaldırır ve yeni karışımın mekanik dayanımını artırır.

Çelik tel takviyeli betonların çekme, eğilme dirençleri yükselir. Çatlak oluşumuna karşı direnç, çelik tel ve beton arasındaki kuvvetli bağlantıya ve çelik tel dozajına bağlıdır. Tel takviyeli betonların esnekliği ve ilk çatlak oluşumundan sonraki yük taşıma kapasitesi normal betonlardan daha yüksektir. Klasik bilinen betonarme sistemlerde, ilk çatlak oluşumuna sebep olan yük ve nihai yük aynıdır. Fakat tel takviyeli betonlarda çatlak oluşumundan sonra, kaplama yük taşımaya devam eder ve çatlak büyümesi, yayılması sınırlı kalır. Nihai yüklemeden sonra taşıma yükü azalmaya başlar, ama bu noktada bütün sistemin ani çökmesi meydana gelmez.

Çelik tel takviyeli betonların bu güvenilirliği, darbe direnci ve dayanımı, liman kaplamalarında önemli yararlar sağlar. Eğilme ve çekme mukavemetinin yükselmesinden dolayı beton kalınlığı azalır, dilatasyonlar arasındaki uzunluk artar.

2.1.6.3.Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Prefabrike Yapılarda Kullanılması

Çelik liflerle güçlendirilmiş beton;

- Çatlak oluşumunun ve yayılmasının geciktirilmesi,
- Plastik deformasyonlarda büyük yükler taşıması ve beton elemanın dağılmaması,
- Beton elemanın taşıma, yerleştirme ve işletme sırasında maruz kaldığı dinamik etkilere karşı yüksek mukavemet,
- Hasır donatının kaldırılması,
- İşçilik ve üretimde zaman kısalması,

gibi nedenlerle günümüzde bir çok prefabrike elemanın üretilmesinde de kullanılmaktadır.

Çelik liflerle güçlendirilmiş beton kullanılarak üretilen prefabrike yapı elemanlarından bazıları şunlardır:

- Cephe elemanları
- Su ve kanalizasyon boruları
- Transformatör kabinleri (monoblok)
- Tünel segmanları
- İstinat duvarı ve elemanları
- Kanal ve kanaletler
- Arıtma ve atık tankları
- Demiryolu traversleri
- Yağmur suyu kollektörleri
- Güvenlik (askeri) kabinleri
- Temel blokları
- Çatı ve döşeme plakları
- Monoblok garaj
- Menholler
- Yağ-yakıt separatörleri, [28].

2.1.6.4. Güvenlik Yapılarında Kullanımı

Bu alanda kullanılan çelik teller, bilinen çelik donatı yerine kullanıldığı gibi, mevcut donatıya ilave olarak da kullanılabilir. Uygulamalarda dozaj oldukça ($60-80 \text{ kg/m}^3$) yüksektir.

Uygulamaları:

- Sığınaklar
- Sığınak kapıları
- Güvenlik odaları

2.1.6.5. Çelik Lif Takviyeli Betonda Derz Açıklıkları

Sıcaklık değişiklikleri, telli betonlarda, diğer betonlarda olduğu gibi, hacim değişikliğine neden olurlar. Bu durum, betonda iç gerilmelere sebep olur ve düzenli olarak derzler yapılmazsa kontrol edilemeyen çatlaklar ortaya çıkar. Çelik tel takviyeli betonların çekme mukavemetlerinin artmasından dolayı, derzler arasındaki mesafeyi büyütmek ve derz sayısını azaltmak mümkündür. Bu derzler, beton kesme makinesi ile kalınlığın %40'ı kesilerek elde edilir [2,11].

2.1.7. Çelik Lif Takviyeli Betonların Yarar ve Sakıncaları

İlk bakışta betona çelik liflerin katılması ekstra ağır bir maliyet gibi görülse de aslında normal betonun maliyetine çok da fazla bir maliyet getirmediği, yapılan araştırmalar sonucu daha da kazançlı çıktığı görülmüştür [2,11].

Çok az sayıda sakıncası vardır:

- Çelik tellerin karışma usulleri önemlidir bu yüzden iyi bir karışım olmamışsa daha kötü sonuçlar elde edilir.
- Ekstra çelik lif maliyeti olur [2,10].

2.1.7.1. Çelik Lif Takviyeli Normal Betonun Ekonomik Yararları

- Geleneksel hasır çelik uygulamasının kaldırılması,
- Döşeme kalınlığının azaltılması,
- Daha düşük bakım masrafları,
- Basit, kolay bir uygulama ve kısa zamanda iş bitirilmesi,
- Bakım masraflarından tasarruf,
- Dilatasyon arasında daha büyük mesafe,
- Başlangıç mukavemetinin yüksek olması dolayısıyla daha erken servise açma,

- Her türlü inşaat makinesi ile uygulama imkanı,
- Malzeme ve İşçilikten tasarruf,
- Üretim artışı,
- Daha az üretim hatası, [2,10].

2.1.7.2. Çelik Lif Takviyeli Normal Betonun Teknik Yararları

- Çatlak yayılmasının önüne geçilir,
- Daha homojen takviyeli (3 boyutlu) malzemedir,
- Eğilme gerilmelerinde ve mukavemette önemli artış sağlanır,
- Şok ve yorulmaya daha iyi direnç gösterir,
- Ateşe dayanıklı beton üretimi,
- Statik ve dinamik yüklemelere karşı yüksek darbe direnci,
- Çekme, eğilme, basınç ve kesme mukavemetinde önemli artış, [2,10].

2.1.7.3. Çelik Lif Takviyeli Püskürtme Betonun Ekonomik Yararları

- Betondan tasarruf, (düzensiz yüzeylere uygulanabilir, boşluk doldurmak gerekmez),
- Hasır çeliğin ortadan kalkması ve sürekli beton işlenebilmesi, [2,10].

2.1.7.4. Çelik Lif Takviyeli Püskürtme Betonun Teknik Yararları

- 24 saat içerisinde önemli mukavemet artışı,
- Deformasyon kapasitesi ve büyük esnekliğe sahip olması nedeniyle ‘güvenlik’ daha daha yüksektir.
- Hasır arkasında boşluk olma riski yoktur.
- Su geçirimsizliğin artması ile, çatlamalara karşı direnci vardır [2,10].

2.2. Püskürtme Betonda (Shotcrete) Çelik Lifler

Püskürtme beton normal beton gibi, ‘gevrek’ malzeme davranışı gösterir. Diğer bir deyişle dış yükler altında kırılma gerilmesine ulaşınca kadar deformasyon yapar. Kırılma gerilmesinin aşılmasından sonra çatlak gelişimi ani bir şekilde oluşur ve taşıyıcılığını kaybeder. Püskürtme betona katılan lif malzeme (çelik, sentetik malzemeler vb.) ilk çatlağın oluşumundan sonra betona belirli bir ilave taşıyıcılık ve deformasyon yapabilme kapasitesi kazandırır. Malzemenin göçme tipi ani değil aderans sıyrılması şeklinde haber veren şekildedir. Lifli püskürtme betonun bu

özellığı: ‘süneklik’ olarak adlandırılır ve kaya patlama olayı ve delme patlatma işlemlerinde ortaya çıkan dinamik yükler ve tünelin içersinde bulunduğı ortamdan aktarılan statik yüklemelere karşı oluşturulan püskürtme beton kaplamasına enerji yutma kapasitesi sağlar. Püskürtme betonda lif kullanımıyla normal püskürtme betonda donatı olarak kullanılan çelik hasıra gerek kalmamaktadır. Böylece çelik hasırın yerleştirilmesi için gerekli zamandan (%20) ve işçilikten tasarruf sağlar. Taşıyıcılık özelliklerindeki üstünlükten dolayı kaplama kalınlığı 20-25 kg/m³ lif içeriğinde yaklaşık %20-40 kadar daha küçük boyutlandırılabilir. Bu da anlamlı ölçüde malzeme tasarrufu ve kazı ekonomisi sağlamaktadır. Lif kullanımının basınç dayanımı üzerinde etkisi yoktur. Ancak taze betonun işlenebilirlik özelliğı azaldığından operatörün su ilave etme eğiliminde olması sonucu basınç dayanımında azalmalar kaydedilebilir. Yaygın olarak kullanılan lif malzemesi çeliktir. Tünel uygulamalarında ekonomik lif kullanım oranı 20-80 kg/m³ aralığındadır [29 s.166-167].

2.2.1. Shotcrete Teknolojisi

Günümüzde shotcrete, yer altı yapılarının inşaatında önemli bir rol oynamaktadır. Shotcrete teknolojisinde hem ıslak hem de kuru sistemde büyük gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerin bir kısmı, shotcrete ile ilgili makineleri kapsamaktadır. Ama ilerlemelerin bir kısmı da shotcrete malzeme teknolojisindedir. Özellikle çelik tellerin kuru ve ıslak püskürtme betonlarında uygulanması başarılı bir biçimde yaygınlaşmıştır. Çelik tel takviyeli shotcrete tünel kaplamaları için günümüzde standart bir malzeme olmuştur. [30]. 1950’lerde tünelcilikte kuru sistem yaygın olarak kullanılırken malzeme ve ekipman teknolojisinin gelişmesiyle 1980’lerde ıslak sistem (Norveç Tünelcilik Metodu) keşfiyle tünelcilikte çok yollar katedilmiştir. Kuru sistemde yaş sisteme göre birçok sorunlar yaşanmaktaydı; [31].

- İnsan sağlığı açısından aşırı tozlu bir ortam oluşmakta,
- Çevre sağlığı açısından ribaunt artıklarının toprağı kirletmesi ve yer altı sularına alkali sızıntı riski taşıması,
- Beton durabilitesi açısından ise alkali agrega reaksiyonu riskini artırmaktadır.
- Aşırı ve kontrolsüz katkı kullanımında mukavemet kayıpları fazladır.
- Katkıların alkali içeriğı tahriş edicidir [31].

Elle dozlamamanın yaygın olduğu kuru sistem püskürtmede homojen karışım genelde elde edilemez. Bu tür katkılarda aşırı doza rağmen mukavemet kayıpları daha azdır.

Yaş sistemde projelendirme ve uygulama daha farklıdır;

- Uygun kazı ve açma yöntemi,
- Destekleme iksası dizaynı,
- Yüksek tokluk indeksli, yüksek mukavemetli püskürtme beton kaplaması,
- Çelik lif, silikafüm, süper akışkanlaştırıcı ile hazırlanan akışkan beton,
- Robotize, yüksek kapasiteli ıslak püskürtme makineleri,
- Nozuldan alkali içermeyen ve ekolojik nötral priz hızlandırıcıların ilavesi,

Sonuçta,

Düşük ribaunt, daha ince kaplama ile enerji yutma kabiliyeti yüksek, güvenli tahkimat, hızlı ekonomik ve çevre dostu bir yapım teknolojisi. [31].

2.2.2. Nerede ve Neden Ç.T.T.B/Ç.T.T.S Kullanılır

Yeraltını kazarak yapılan tünel çalışmasında, çevre dayanımı diğer takviye teknikleriyle beraber, shotcrete uygulanarak da elde edilebilir. Zemin kalitesine bağlı olarak, shotcrete kaplamanın da takviye edilmesi gerekir. Çelik hasır kullanılarak takviye yapılması zaman alır ve modernizasyona imkan vermez. Büyük işçilik masrafları yüzünden takviye yapılması shotcrete işleminin önemli bir parçasını oluşturur. Çelik hasır montajı çok zaman alıcı bir işlemdir ve tüm inşaat süresini arttırır. Esneklik ve dayanımın, çelik tellerin shotcrete karışımına ilave edilmesiyle artması bu malzemenin hasır çelik yerine kullanılmasına olanak sağlar. ÇTTS, geleneksel püskürtme beton teçhizatı ile hem kuru hem de ıslak sistemde uygulanabilir. Sicilya ve Güney İtalya’da bazı su tünellerinin inşaatında ÇTTB, ön stabilizasyonu sağlayan prekast tünel elemanlarının imalinde (20 cm kalınlıkta) kullanılıyor. Çelik teller prekast beton elemanlarının takviyesinde diğer takviye tiplerinden daha üstün olduğunu 2 temel noktada göstermiştir:

- Çatlak direnci,
- Yüksek dayanım

Kohezyonlu zeminlerde ve yumuşak tabakalarda yapılan büyük yer altı kazılarında, yüzey çökmeleri ve kırılmaları yüzünden zorluklarla karşılaşılır. Ön kesme sisteminde, kaya yüzeyine monte edilmiş bir kesici tünel profilinin biçimine uygun

olarak çalışır. Tünel profili boyunca ileriye doğru delik açılır. Bu boşluklar püskürtme beton ile doldurulur. Bu şekilde, astarın altındaki zemin kazılmadan beton astarlama yapılır. Ön astarlama sistemi, tünel astarlama işlemini güvenli kılar ve ekonomik ölçüde teçhizat ile kazı ilerler. Zemin özelliklerine, tünel çapına ve biçimine bağlı olarak, shotcrete ön astarlama sisteminde çelik takviye kullanılabilir. Çelik tellerin shotcrete karışımına ilavesi teknik olarak mümkündür, daha ekonomiktir, daha uygun bir çözümdür. [30].

Beton ve shotcrete karışımının içine çelik tellerin ilave edilmesinin esas sebebi, bu kırılğan malzemeye “şekil alabilme özelliği” esneklik kazandırmaktır. Eğilme gerilmesinin , çelik tel ilavesi ile artması, tel tiplerine ve dozaja bağlı olarak oldukça azdır. Gerekiyorsa, yüksek eğilme gerilmesi; fazla çimento ilavesi veya su/çimento oranının, süper akışkanlaştırıcı veya su azaltıcı katkıları kullanılarak azaltılması veya silikafüm kullanılması ile daha ekonomik olarak elde edilir. Ama sadece eğilme gerilmesinin biraz artması, shotcrete karışımına çelik tellerin ilavesi için yeterli bir neden değildir. Çelik tellerin ilavesi, püskürtme betonun enerji emme özelliğini, darbe mukavemetini ve çatlak direncini artırır. Tünel inşaatında shotcrete’in fonksiyonu, kazılmış kaya duvarlarında yarı-sert hazır kaplama yaratmaktır. Shotcrete’in kaya yüzeyine iyi yapışması için yüksek bir başlangıç gerilmesine, kaya hareketlerini durdurması için de yüksek esneme kapasitesine ve dayanıma sahip olması gerekir. ÇTTS, bu şartları ilk etapta önemli olan erken ve yüksek dayanımıyla yerine getirir. Kaya hareketleri, dayanıklı ve esnek yapı tarafından absorbe edilir ve oluşan basınç yan tabakalara dağılır. Güvenlik faktörü artırılır ve daha ince kaplama tabakası uygulanabilir. [30,10].

2.2.3. Çelik Lif Takviyeli Shotcrete ile Çelik Hasır Karşılaştırılması

Teknik Performans :

1979'da Morgan ve Mowatt tarafından, donatısız, hasır donatılı ve çelik tel donatılı shotcrete'in mukayeseleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Büyük paneller ile yapılan yük-deformasyon testleri göstermiştir ki, ilk çatlağa kadar olan küçük deformasyonlarda, çelik hasır takviyeli shotcrete'e nazaran yük taşıma kapasitesinde nisbi artış, büyük deformasyonlarda ise eşdeğerli performansı vardır. İskandinav ülkelerinde de araştırmalar başlamış, "Blok düşmesi" durumuna göre benzer koşullar yaratılarak yapılan testler ile ÇTTS ve hasır çelik takviyeli shotcrete karşılaştırılmıştır. Bu testlerde, tünelin tepe kısmında, boşta kalan blok veya kayanın yüküne maruz kalan shotcrete astarın durumuna benzer bir sistem tasarlanmıştır.

Çökme durumu; shotcrete mukavemeti ve kalınlığına, alt yapıya yapışma gücüne ve kayan blokların büyüklüğüne bağlıdır. ÇTTS, çoğu testte çelik hasır takviyeli shotcrete'den daha üstün performans gösterir. [30].

Uygulama Farklılıkları:

ÇTTS kullanıldığında çelik hasır montajı ortadan kalkar. Hasırın tünel yüzeyine tutturulması zor bir işlemdir, zaman gerektirir, masraflıdır ve bazen de tehlikelidir. Düzensiz tünel yüzeyinde hasır, mesnetlere bağlanır, bu mesnetler arkasında oluşan boşluklar, beton ile doldurulur. Bir tünel kaplamasında farkedilmiştir ki ; 3 saat süren hasır kaplama işçiliğine ve 1 saat süren püskürtme beton çalışmasına karşılık, çelik tel kullanıldığında 4 saat sürekli shotcrete yapılmıştır. ÇTTS'nin diğer bir avantajı da kaya yüzeylerini takip edebilmesidir. Hasır kullanıldığında, hasırın arkasındaki boşlukların 30-50 mm kaplama yapılarak doldurulması gerekir. Bu da, gerekli olan kalınlıktan daha fazla ilave shotcrete yapılmasını zorunlu kılar. ÇTTS uygulamalarında hasırın shotcrete ile sarılmasına gerek yoktur. Hatalı nozul tekniği demasraflı olabilir. Doğru basınç kullanılmaz veya nozul kaya yüzeyinden uygun mesafede tutulmaz ise, shotcrete hasırın yüzeyinde birikir, boşluklar oluşur ve arka kısımda kum toplanır ve kaya yüzeyine yapışma sağlanamaz. Bu şekilde yapılan shotcrete, hızla bozulur ve hasır paslanmaya başlar. [30].

Maliyet Karşılaştırması :

Malzeme olarak, ÇTTS ile çelik hasır takviyeli shotcrete karşılaştırılırsa, ÇTTS' in daha pahalı olduğu görülür. Bununla beraber, yerinde uygulanmış kaplamalar karşılaştırılırsa, ÇTTS'in daha ekonomik olduğu görülür. Kaya mesnetlerinin düzensizliğinin ve yüzey bozukluğunun sebep olduğu fazla shotcrete kullanımı da dikkate alınırsa, ÇTTS'in daha ekonomik olduğu görülür. Ayrıca işlem çok kısa sürede tamamlanır. [30].

2.2.4. Çelik Lif Takviyeli Shotcrete Uygulamaları

İnce büyük alanlar ve düzensiz biçimli yapı elemanları için, shotcrete uygun bir sistemdir. Uygulama alanları;

- Yer altı kazılarında destek olarak,
- Şev stabilitesi ve kazıların temellerinin desteklenmesi,
- Kanal kaplamaları, köprü mesnetlerinin korunması,
- Bozulan deniz yapılarının tamiri,
- Kimya fabrikaları ve köprü gibi yapılarda bozulan donatının tamiri,
- Nükleer atıkların saklanması için oluşturulan büyük mağaraların kaplanması,
- Çimento fabrikalarında ateşe dayanıklı beton olarak.

Hasır çelik uygulamalarında diğer bir problem de, çelik hasırın dizaynı ve uygun yerleştirilmesidir. Sürekli değişen kaya mekaniği hipotezleriyle, oluşan gerilme ve burkulmaların nerede ortaya çıktığını saptamak oldukça güçtür. Bu nedenle pratikte, çelik hasır kaya yüzeyinin çıkıntılarına tutturulur ve nadiren uygun pozisyonda bulunur. Çelik tel takviyeli shotcrete'de ise ; yüksek mukavemetli ve homojen yapısından dolayı kesitin her parçası ile çekme ve kesme gerilmelerine dayanır. Hızlı uygulama imkanı sayesinde kaya düşmelerinin önüne geçilir. [10,30].

2.2.4.1. Tünellerde Çelik Lifli Püskürtme Beton Üretiminde Uyulması Gerekenler

Tünelcilikte, yaş sistemin yeni teknolojilere imkan vermesi dünyada hızla yaygınlaşmasına olanak tanıdı. Ve bu sistem "Avrupa püskürtme beton şartnamesi" ile bir standart haline gelmiştir.

Yaş püskürme sisteminde kullanılan çelik tel takviyeli shotcrete'de dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Uygun toklukta bir kaplama için çelik lif miktarı optimal miktarda olmalıdır.
- Aşırı miktardaki lif beton kalitesini düşürebilmekte, pompalanabilirliği ve püskürtülebilirliği dolayısı ile dökülme kaybını arttırmaktadır.
- Çelik lif takviyesinde silikafüm kullanımı gereklidir. Çimentodan çok ince olan silikafüm tanecikleri liflerin etrafını sararak karışımın pompalanabilirliğini kolaylaştırmaktadır. Karışımdaki lif miktarı yeterinden fazla ise kullanılan silikafüm yetersiz kalabilir. Bu da beton karışımının su ihtiyacını artırır.
- Bu durumda aşırı oranda süper akışkanlaştırıcı ihtiyacı oluşur.
- Yeğin iletim sisteminde sorun çıkmayabilir, ancak püskürtme beton homojen değildir.
- Yoğun iletim sisteminde ise süper akışkanlaştırıcılar optimal düzeyde kullanılmalı aksi halde pompalanabilirliği kolaylaştıran kohezif yapı bozularak segregasyon oluşur.
- Kullanılan katkıları alkali içerikli olmamalı, çimento yapısı ile uyumluluğu test edilmiş korozyon özelliği olmayan süper aktif kolloidler kullanılmalıdır. [31].

Bütün üstünlüklerine karşılık tasarım ve karışım bileşenlerine ait hesapların uygun bir şekilde gerçekleştirilememesi, püskürtme işlemi sırasında operatörün tecrübe eksikliğinden kaynaklanacak hatalar ve kalite kontroldaki eksiklikler püskürtme betondan beklenen başarı ve ekonomiyi önemli ölçüde zayıflatabilir. [32].

2.2.5. Çelik Lif Takviyeli Püskürtme Betonun Mekanik Özellikleri

Karışım içine konulan çelik, polimer vb. lifler ilave bir çekme donatısına gerek duyulmaksızın betonun çekme dayanımını artırır. Ayrıca bu lifler ile güçlendirilmiş püskürtme beton kaplama kalınlığı düz veya hasırlı beton kaplamasına kıyasla daha ince olabildiği gibi ani ve tahripkar kırılma moduna karşı enerji yutma kapasitesi ile de daha büyük bir süneklik sağlar. [32]. Prof. Dr. Ergin Arıoğlu'nun "Tünellerde Çelik Lifli Püskürtme Beton Kaplama Tasarımı" adlı bir çalışmada bulunan sonuçlara göre;

- Kuru yöntem ile üretilen püskürtme betonda hızlandırıcı kullanılmamış 7 ve 28 günlük basınç dayanımları arasında anlamlı bir korelasyon bulunmuştur.
- Çelik lifli püskürtme beton kaplaması, kırılma sonrası enerji yutma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle özellikle ani ve tahripkar deformasyon modunun önem kazandığı (örneğin kaya patlama olayı) lifsiz-hasırlı püskürtme beton

kaplamalarına kıyasla belirgin bir üstünlük sağlar. Aynı eğilme momenti etkisinde çelik lifli beton kaplaması, artan lif içeriği ile birlikte artan tokluk faktörüne bağlı olarak lifsiz-hasırlı püskürtme beton kaplamalarına kıyasla “kalınlık” bakımından ekonomi sağlamaktadır [32].

2.3. Hafif ve Yarı Hafif Betonlarda Çelik Lifler

Günümüzde yapı teknolojisinde en çok kullanılan malzeme normal betondur. Betonun basınç dayanımının yüksek, çekme dayanımının düşük olması nedeniyle her zaman yeni bir malzeme ile kompozit olarak çalıştırılmak zorunda kalmıştır. İki fazlı kompozit olarak kabul edebileceğimiz hafif betonlarda birim ağırlığın düşürülmesi ile beraber mekanik özelliklerde görülen zayıflamaların önlenmesi ve özelliklerinin iyileştirilmesi için, bu tür malzemelerin liflerle donatılarak, özellikle eğilme ve çarpma mukavemetlerinin artırılması mümkün olabilmektedir [33]. Son zamanlarda yapılan araştırmalarda sünger taşı hafif agregalı hafif betonların elastik ve elastik olmayan özellikleri araştırılarak, özellikle betonarme sistemlerin tasarlanmasında önemli olan elastiklik modülü ve Poisson oranı gibi sabitler araştırılmıştır. Ayrıca bu malzeme sabitlerinin ısı işlem sonucu ne gibi şekil değiştirdikleri de başka bir çalışmada saptamaya çalışılmıştır [36].

2.3.1. Çelik Lifli Hafif ve Yarı Hafif Beton Üretimi

Hafif betonlarda ana amaç termik izolasyon açısından gerekli malzeme elde etmektir. Ancak malzemenin hafif oluşu ana amaca paralel olarak daha pek çok yararlar sağlar. Hafif malzeme yapının öz ağırlığını düşürür. Betonarme yapılarda öz ağırlık, sistemin taşıdığı hareketli faydalı ağırlığa hemen hemen eşittir. Bu durum ekonomik olmayan bir çözümdür. Malzemeden yeterince yararlanamamak yanında, temele aktarılan yükler de artar ve temel inşaat masrafları yükselir. Hafif betonlar bu bakımdan büyük yararlar sağlarlar, ne var ki hafif betonların tümü istenilen mekanik mukavemeti sağlamaktan uzaktırlar. Öte yandan depremler sırasında yapının ağırlığı, yani eylemsizliği önemlidir. Ağır bir yapının alacağı yatay kuvvetler daha büyük olur, ve bu yatay kuvvetlerin etkisinde oluşan kesit tesirleri de büyüktür. Hafif beton yapılar bu açıdan da yarar sağlarlar [5].

Ülkemizde rezervinin bol miktarda bulunduğu bilinen pomza agregasının, hafif agrega olarak kullanılması ile hafif ve yarı hafif betonlar elde edilmektedir, mekanik

özellikleri iyileştirmek amacıyla katılan çelik lifler sayesinde de yüksek mukavemetli çelik lifli hafif betonlar elde edilmektedir. [33].

2.3.2. Çelik Lifli Hafif ve Yarı Hafif Betonların Yapıda Kullanımı

Hafif agregalı betonlar, bugünkü modern yapı endüstrisinde istenen, hafiflik yanında, ısı izolasyonu, ses absorpsiyonu ve yangına karşı dayanım, gibi iyi özelliklere sahiptirler. Bu bakımdan hafif agregalı betonlar ve bu betonlarla imal edilen duvar elemanı bloklar tercih edilen yapı malzemeleridir. Duvar elemanı olarak hafif agregalı beton blokların, yapıda kullanılmaları halinde, normal agregalı beton bloklara kıyasla, hafiflikten kaynaklanan zati yüklerin azalması yanında duvar örüm veriminin ve hızının artması ile birlikte taşıma maliyetlerinde tahmini % 20 civarında bir ekonomi sağlanabileceği belirtilmektedir [35].

Hafif beton agregası olarak da kullanılan sünger taşı, yurdumuzda yaygın olarak daha çok beton duvar blokları ve asmolon blok üretimi şeklinde kullanılmaktadır. Yapı fiziği sorunlarına çözümler getirmektedir. [9, s.13].

2.3.3. Çelik Lifli Hafif ve Yarı Hafif Betonların Deney Sonuçları

Hafif ve yarı hafif betonlarda çelik lif kullanılması ile ilgili bir çok deneysel çalışma yapılmıştır. Aşağıda bunlardan sadece iki deneysel çalışmanın sonuçları belirtilecektir. Bu çalışmalardan I.'sinde; birim ağırlığı düşük, taşıyıcı ve yarı taşıyıcı blok eleman elde etmek amacıyla, Isparta, Gölcük yöresi pomza agregası ve Atabey agregaları kullanılarak üretilmiş betonlara çelik lifler ilave edilmiştir. Deneysel çalışmalarda üretilen, hafif ve yarı hafif betonların karışımlarında su/çimento oranı, çimento dozajı ve maksimum dane boyutu (19,1mm) ile agrega granülometrisi sabit tutulmuştur. Betona ilave edilen çelik lif miktarı 0-5-10-15dm³/m³ arasında değişmektedir. Betonlarda ZP305 ve ZX 40/60 olmak üzere iki tip lif kullanılmıştır. Elde edilen 21 serideki karışımlarla üretilen prizmatik numuneler üzerinde 7. ve 28. günlerde, basınç dayanımı ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 28.günde, su emme oranı tayin deneyi yapılmıştır. Öncelikle, betona katılan liflerin, taze betonun işlenebilme özelliğini azalttığı görülmüştür. [35].

Deney sonuçlarına göre, yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımı, basınç dayanımını ve su emme oranını arttırma eğilimdedir. Fakat birim ağırlıkları direkt olarak etkilememektedir. Lif boyutu ve miktarı arttıkça beton içerisinde istenmeyen boşlukların oluşabileceği ve bunun da betonun bazı özelliklerini olumsuz

etkileyebileceği ve bunun da betonun bazı özelliklerini olumsuz etkileyebileceği söylenilirse de hafif agregalı beton blokların lif takviyesi ile üretiminde fayda sağlayacağı söylenebilir. Karışıma katılan lifler betonların basınç dayanımlarını bir miktar artırmaktadır.

Bu sonuçlara göre hafif ve yarı hafif beton blok elemanlarda çelik liflerin belirli oranlarda kullanılması ile bu elemanların yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmaları sağlanabilmektedir. Sonuç olarak bir yapı elemanında aranan hafiflik, izolasyon (ses-ısı) ve mukavemet özellikleri aynı zamanda karşılanarak, günümüzde istenen lif katkılı hafif yapı elemanlarının üretiminin de prefabrik olarak üretilmesi mümkün olabilecektir. [35].

II. deneysel çalışma ise;

Bu çalışmada da agreganın granülometrisi, çimento dozajı, su/çimento oranı sabit tutulmuş ve maksimum dane boyutu 16mm olarak alınıp, çelik lifin hacimce yüzdesi değiştirilmiştir. Normal betonun 4-8 mm ve 8-16 mm boyuttaki bölümü pomza taşı agregası ile değiştirilmek suretiyle elde edilmiş hafif ve yarı hafif betonlar aynı su/çimento oranı ile üretilmişlerdir. Bu şekildeki betonlara değişik oranda çelik lif katılmak suretiyle, aynı özellikteki betonlarda lifin etkisine ortam sağlanmıştır. Böylece elde edilen 11 karışımla standart silindirik numuneler ve prizmalar üretilmiş, 74 gün sonra bu numuneler üzerinde basınç, yarma ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

Deneysel sonuçlara göre, yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımı ve oranının artırılması bu betonların işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilememektedir. [34].

Yarı hafif ve hafif betonlarda lif oranının artırılması bu betonların basınç, yarma ve eğilme dayanımlarını arttırmaktadır. Benzer artışlar bu betonların süreksizlik ve çözümlenme sınırında da olmaktadır.

Lif oranının artırılması yarı hafif betonlarda elastiklik modülünü değiştirmemekte, hafif betonlarda ise bir miktar azaltmaktadır.

Yarı hafif ve hafif betonlarda lif kullanılması bu betonların basınç dayanımlarındaki şekil değiştirme miktarını ve bu betonların basınç mukavemetine kadar gerilme-şekil değiştirme işini arttırmaktadır.

Bu betonlarda lif kullanımı bu betonların ultrases hızlarına etki etmediği görülmüştür.

Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanılarak normal betonların mukavemetine yaklaşılmaktadır. Dolayısıyla yapının ağırlığı azaltılarak ekonomik çözümler bulmak mümkündür. [34,35].

Bu çalışmada incelenen yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımının etkisi ile ilgili olarak elde edilen başlıca sonuçlar:

- Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımı bu betonların işlenebilirliğini etkilemektedir. Bu betonlarda lif kullanım oranının artırılması çökme kaybına ve VeBe işlenebilme değerinin yükselmesine neden olmaktadır.
- Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımı bu betonların hava miktarını arttırmaktadır.
- Yarı hafif ve hafif betonlarda hacimce % 1.5 oranında çelik lif kullanımı bu betonlarda basınç dayanımını sırasıyla % 16 ve % 23 oranında arttırmaktadır.
- Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımı bu betonların basınç dayanımındaki şekil değiştirme miktarını arttırmaktadır.
- Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımı bu betonların elastiklik modülünü yarı hafif betonlarda değiştirmemekte hafif betonlarda ise bir miktar azaltmaktadır.
- Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımı bu betonların süreksizlik ve çözümlenme sınırlarını arttırmaktadır.
- Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımı bu betonların şekil değiştirme işini arttırmaktadır. Bu artış hafif betonlarda % 50-% 67 , yarı hafif betonlarda % 340 mertebesindedir.
- Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik lif kullanımının hacimce % 1.5 miktarında kullanılması bu betonların sırasıyla yarma mukavemetini % 75- 170 oranında, eğilme dayanımını % 300-265 oranında arttırmaktadır [34].

Bu konuda yapılan diğer çalışmalar;

Taşdemir [37], normal betona ait sürekli bir granülometrinin çeşitli bölümlerini sünger taşı hafif agregası ile değiştirerek yarı hafif ve hafif betonlar üzerinde çalışmış ve araştırmasında, birim hacim içinde hacmi aynı kalmak koşulu ile betonun

agrega granülometrisinin hangi bölümü hafif agrega ile değiştirilirse değiştirilsin elastiklik modülünün değişmediği, hafif agrega kullanılarak normal betonun hafifleştirilmesiyle en az Poisson oranı, en çok elastiklik modülünün azaldığı, hafif agregalı betonlarda ortalama hafif agrega boyutu arttıkça basınç mukavemetindeki kısılmaların azaldığı ve hafif agrega miktarı arttıkça basınç mukavemetinin düştüğü sonuçlarına varılmıştır.

Arda [38], hafif betonlarda değişken agrega konsantrasyonunun mekanik özelliklerine etkilerini araştırmıştır.

Zang ve Gjørve [39], yapmış oldukları deneysel çalışmada yüksek mukavemetli hafif betonların mekanik özelliklerini araştırarak şu sonuçlara ulaşmışlardır:

- Yüksek mukavemetli hafif betonun mukavemetini belirleyen ana faktör agreganın mukavemeti olmaktadır.
- Çekme mukavemetinin basınç mukavemetine oranı, yüksek mukavemetli hafif betonların elastiklik modülleri, normal betonlarınkinden daha küçüktür.
- Hafif betonlarda en büyük yükteki şekil değiştirme normal betona göre oldukça yüksek olmaktadır. Yüksek mukavemetli hafif betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin yükselen kısmı düşük ve orta mukavemetli betonlara göre oldukça lineer bir yükseliş göstermektedir.

Balaguru ve Foden [40], yaptıkları deneysel çalışmada iki değişik lif tipi kullanarak ürettikleri lifli hafif betonların basınç, eğilme ve yarma açısından özelliklerini araştırmışlardır. Hafif agrega olarak genleştirilmiş arduvaz, ince agrega olarak da kum ve ince çakıl kullanmışlardır. Birim ağırlığı 1650 kg/dm^3 olan hafif betonda basınç gerilmesi 42 MPa olarak elde edilmiş ve liflerin daha çok eğilme ve yarma mukavemetinde etkili olduğunu, E-Modülü değerlerini de % 30 olarak artırdığını sonuç olarak söylemişlerdir.

3. POLİMER LİF TAKVİYELİ BETONLAR

3.1. Polimer Lif Takviyeli Betonda Kullanılan Lifler

Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonuç veren lif polipropilen liflerdir. Tıpkı çelik lifler gibi polipropilen lifler de betonun bazı özelliklerini arttırabilirler. Polietilen ve naylon 6 katılsa da kullanımları polipropilen lifler kadar yaygın değildir. Şimdiye kadar yapılmış çoğu araştırmalarda da polipropilenler kullanılmış ve sonuçları belirtilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde de yapılmış bazı çalışmalar ve sonuçları yer almaktadır.

3.1.1. Polimer Liflerin Yapısı ve Özellikleri

Kullanılan polimer liflerinin hacimce katılma oranları çok düşüktür. Çoğu durumlarda % 0,1 gibi sınırlanır (1 kg/m³ beton için). Lif katma oranı ve hava miktarı minimum işlenebilirlikte değişir. Lifler hazır karışım tesislerinde ya da şantiyede eklenebilir. Lifler katıldıktan sonra en az 10 dakika karıştırılır. Bazı araştırmacılar % 2 hacim oranında da denemeler yapmışlardır. Fazla oranlarda katıldığında çeşitli önlemler alınmalıdır. İşlenebilirliği azalır ve içindeki hava artar. İşlenebilme problemleri su azaltıcı katkıların dozajını artırmakla çözülebilir. Hava miktarı kontrol edilebilir. İşlenebilirlik, tekil lif formundaki liflere nazaran hamur formundaki liflerde daha azalır. Çünkü tekil lif formundaki liflere karışıma daha kolay homojen dağılabilir ve işlenebilirlik daha iyi olur. Lif uzunluğu önemli rol oynar. Lifler hamur formundayken uzunlukları birkaç mm ile sınırlıdır. Hacimce katılma oranı karışımın % 5'idir. Genelde kullanılanlar 12-50 mm olanlarıdır [3].

3.1.2. Polimer Lifli Betonların Teknik Özellikleri

Polimerler inşaat alanında yüz yıllardır kullanılırlar. Örneğin, Babylonia'nın tuğla duvarlarındaki harcın içinde doğal polimer asfalt kullanılmıştır. Yine, Kish şehrindeki Ur-Nina tapınağın yapımında kullanılan harçta % 25-35 oranında polimer katılmıştır.. Şimdiye kadar çeşitli polimerler anıtlarda kullanılmıştır. Sentetik

polimerler 1940'larda bulunmuştur. 1950'lerde ise portland çimentolu beton ve harçlarda polimerler kullanılmıştır. Yeni uygulamalarda ise, polimer katkılı betonlarda, yollarda, köprülerde, ve tamirlerde kullanılmaktadır. Ayrıca geçirimsizlik istenen yerlerde, döşeme ve su tanklarında, yüzme havuzlarında hatta çelik lifli betonlarla uygulamaları yaygınlaşmıştır. [44].

Polipropilen, Naylon 6 ve polyester lifleri çok yaygın olarak kullanılan bazı polimer liflerdir. Plastik rötreyi azaltırlar. Lif hacim oranları % 0,1 - % 0,05 olarak kullanılırlar. Polipropilen lifler hem lif hamuru hem de tekil halde bulunurlar. Polimer lifli betonların işlenebilmesi, liflerin tipine, uzunluklarına, içeriklerine ve betonun mukavemetine bağlıdır. Aşağıda Tablo 3.1.'de polimer lifli betonların (hacim oranı 1'e eşit ya da küçük olanlar) çökme değerleri, beton sıcaklık, hava miktarı, vebe testi ve ters koni testleri değerleri görülmektedir. [3]. Bu tabşoda farklı uzunlukta polimer lifli karışımlar karşılaştırılmıştır. N6 075 (19 mm'lik Naylon 6), N6100 (25,4 mm'lik Naylon 6), N6150 (38mm'lik Naylon 6), MF100 (25,4 mm'lik polipropilen), MF150 (38 mm'lik polipropilen), NU100 (25,4 mm'lik polyester)

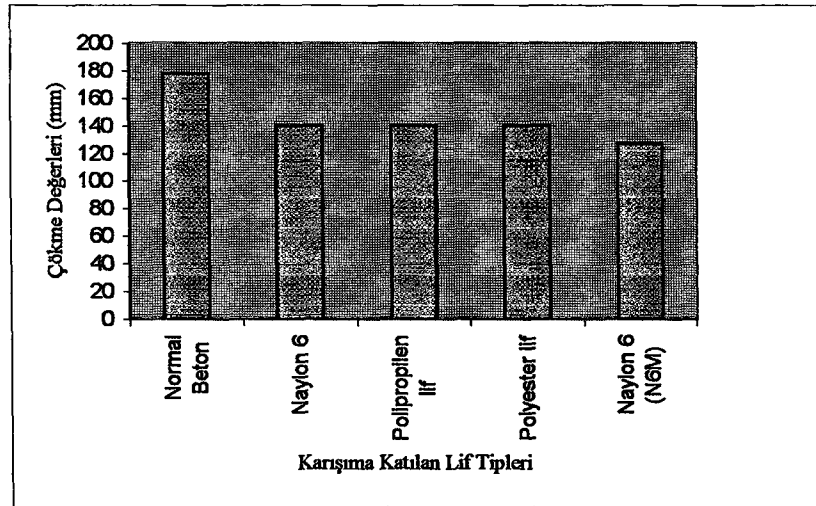
Tablo 3.1. Hacim oranı % 0,1 den az olan polimer lifli taze betonun Vebe testi ve çökme konisi testi değerlerinin karşılaştırılması

Karışımlar	Çökme (mm)	Ters koni zaman testi (s)	Hava miktarı (%)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
Normal Beton	177,8	-	5,50	2331,2
N6 075	139,7	3	6,00	2371,2
N6 100	133,3	4	6,00	2289,6
N6 150	101,6	4	5,00	2358,4
N6M 100	101,6	4	5,25	2344
MF 100	133,3	4	5,25	2371,2
MF 150	165,1	3	6,00	2316,80
NU 100	133,3	3	5,75	2371,2

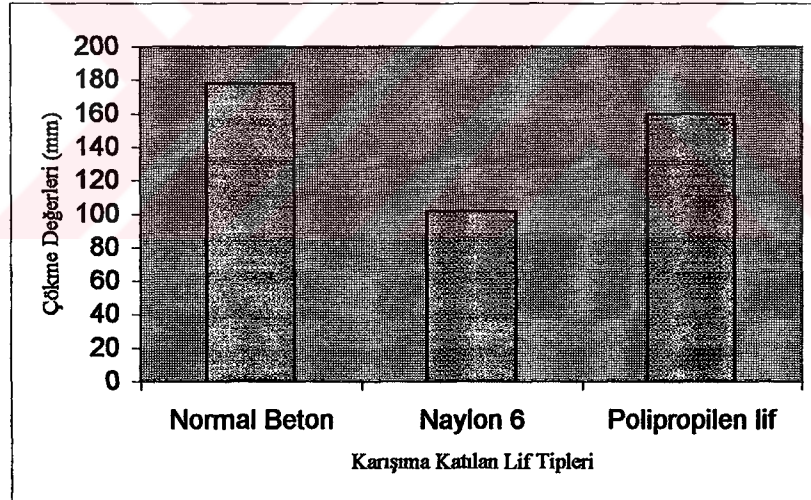
Naylon 6 liflerinin 19-25-38 mm uzunlukta olanları tercih edilir. Hacim kesirleri 0,45-0,6-0,9 kg/m³ tavsiye edilir. Betonun 28. gün basınç mukavemeti 20 MPa ve çimento, kum, çakıl (307-813-1068 kg/m³) özelliklerine sahiptir. Su-çimento oranı

0,57'dir. Hem su azaltıcı hem de hava sürükleyici katkıları kullanılır. Hedeflenen hava miktarı % 6'dır.

Aşağıda, Nylon 6, polyester ve polipropilen liflerin şekil 3.1. ve 3.2 de çökme değerlerinin karşılaştırmaları görülmektedir. [3].



Şekil. 3.1. Çeşitli lif tipleri için çökme değerlerinin karşılaştırılması



Şekil. 3.2. Nylon 6 ve polipropilen liflerin çökme değerlerinin karşılaştırılması

Nylon 6 ve polyester lifleri tekil halde bulunur. Polipropilen lif hamuru şeklinde bulunur. Lif tipleri arasında çok az fark vardır. Nylon 6'nın çapı azdır ve çok miktarda kullanılır. Hava miktarı liflerde ayırıcı değildir. Lif hamuru formunda, 19mm uzunluktaki polipropilen lifleri 390 kg/m³ çimento içeren beton karışımında kullanılır. 28 günlük basınç mukavemeti 40 MPa, su-çimento oranı 0,4 ve yüksek

miktarda su azaltıcı katkıları kullanılır. Normal betonun ve 0,1-0,2-0,3 hacimli lif içeren betonların çökme değerleri; 210, 152, 178, 146 mm'dir. Bir grup araştırmacı tarafından çimento miktarı ve su-çimento oranı sabit tutulmuş, tüm hacimler için liflerin etkileri çökme konisi testlerinde görülmüştür. Bir başka grup araştırmacı tarafından da, yüksek su azaltıcı katkıları kullanılmış, normal ve lifli betonların işlenebilirlik değerlerinin farklılıkları görülmüştür. Bu sonuçlara göre işlenebilirlik katkıları miktarları ile kontrol edilebilir. Hem normal hem de lifli betonlarda yüksek hava miktarı yüksek çökmeye sebep olur. [3]. Aşağıdaki tabloda 19 mm uzunlukta polipropilen lifli karışımlar görülmektedir. Normal Beton I ve II kodlu iki farklı karışım oranı olan betonlar verilmektedir. Normal Beton I ve II arasındaki farklar; iri agrega miktarı: 85,19 - 97,89 kg olarak artırılmış, kum miktarı : 85,19 – 77,02 kg olarak azaltılmış, çimento miktarı : 35,73 – 29,48 kg olarak azaltılmış, su-çimento oranı : 0,40 – 0,50 olarak, süper akışkanlaştırıcı : 180 – 78 mL olarak, hava sürükleyici : 25 – 18 mL olarak değiştirilmiştir. Bu oranlara uygun olarak çeşitli oranlarda (% 0,1, 0,5, 1,0) lifli betonlardaki değişimler gösterilmektedir. [3].

Tablo 3.2. Hacim oranı % 1 den az olan polimer lifli taze betonun Vebe testi ve çökme konisi testi değerlerinin karşılaştırılması

Karışımlar	Çökme (mm)	Beton Sıcaklığı (°C)	Hava miktarı (%)	Vebe zaman testi (s)	Ters koni zaman testi (s)
Nor. Beton I	235	21,9	5,2	0,7	*
I 0,1	209	21,2	9,0	2,0	*
I 0,1	148	26,6	4,4	2,0	7,8
I 0,5	133	21,6	5,4	3,5	23,0
I 0,5	95	25,4	3,2	3,7	23,7
I 1,0	3	21,1	4,4	10,0	90,0
I 1,0	3	25,1	3,2	9,5	62,0
Nor. Beton II	95	26,7	5,2	2,2	9,5
II 0,1	31	26,3	3,5	5,5	15,3
II 0,5	165	27,1	7,6	1,5	6,7
II 1,0	79	26,8	6,9	3,7	56,0

* = Beton çok hızlı çöktüğünden okunamamıştır.

Lifli betonun vibrasyon altında normal betondan daha kohezif olduğu görülür. Mesela, normal betondaki su azaltıcı katkıları vibrasyon altında suya çöker. Çökme 75 mm'den çok olduğunda, vebe testinde 150 mm'ye kadar çökmeler ölçülebilir. Katı karışımlar için çökme 38 mm'den az olur [3].

3.1.3. Polipropilen Lifli Betonun Teknik Özellikleri

Beton veya sıvada polipropilen lifli betonun en önemli etkisi, sermeden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzülmelerden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşme prizlenmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzülmelerden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibarıyla su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve su buharlaşmasının tabii bir sonucudur. Polipropilen lifler, büzülme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirir ve büzülmelerden dolayı oluşacak çatlak tehlikesini asgari düzeye indirir [41].

- Beton içinde homojen olarak dağılır.
- Kg başına yüzey alanı çok geniştir. Betona çok iyi şekilde yapışır.
- E-modülü değeri plastik haldeki betona oranla oldukça yüksektir.

Polipropilen lifler sertleşmiş betonda mukavemet artırıcı bir donatı etkisi yaratmazlar. Etkileri betonun plastik safhasında geçerlidir ve bir nevi katkı malzemesi görevi görürler [41].

3.2. Betonlarda Kullanılan Polimer Liflerin Karışım Usulleri

En yaygın karıştırma metodu pişirilerek karıştırmadır. Lifler yaş karışıma katılırlar. En az 10 dakika karıştırma tavsiye edilir. Hazır betonlar için, lifler pişirme tesisinde eklenir. Eğer lif hacim oranı % 0,2'yi aşarsa özel önlemler alınmalıdır. İri daneli betonlarda lif hacim oranı % 0,1 ile sınırlıdır. Bazı lif tiplerinde çökme değerleri daha az olabilir. Fakat iyi sıkıştırma yapılırsa o zaman çalışma problemi olmaz. Lifli beton geleneksel ekipmanlarla pompalanabilir. Fazla sudan kaçınılmalıdır. Çünkü lifler sudan hafiftir, suda yüzebilir. Bazı lifler yüzeyde tüylü bitişler yapabilir. Bundan kaçınılmalıdır. Betoniyer ya da transmikserlerde karıştırılması tavsiye edilmektedir [3,41].

3.3 Polimer Lifli Taze Betonda Uygulanabilen Testler

Genelde, çelik lif yüklemeleri 30-150 kg/m³ olurken polimer liflerde 0,6-4,8 kg/m³ 'dir. Lif uzunlukları genellikle 12-64 mm'dir. Kalite kontrol parametreleri genellikle taze betonun işlenebilirliği ve içindeki hava miktarı ile ölçülür. Diğer ölçülen parametreler, birim ağırlık, beton sıcaklığı, hava sıcaklığı ve yoğunluktur. İşlenebilirlik ters koni ya da Vebe testi ile ölçülür. Katı karışımlar için bu testler önerilmez. Sıvı karışımlar için iyidir. Çökme konisi testleri hala kalite kontrolünde kullanılır. Karışıma katılaştırmak ve işlenebilirliği artırmak için su azaltıcı ek maddeler katılabilir. [3].

3.3.1. İşlenebilirlik Testleri

Yeterli işlenebilirlik için düzenli oturma, birleşme ve bitirme gereklidir. Minimum su miktarı olmalı, çünkü fazla su ayrışmalara ve bozulmalara yol açar. Bu yüzden süper akışkanlaştırıcı katkıları gereklidir. Bu metotlar işlenebilirliğin değerlendirilmesini ve gerekli su miktarının ayarlanmasına yardımcı olur. Bu metotlar hem çelik lifler hem de polimer lifler için geçerlidir. [3].

Taze karışım polimer lif takviyeli betonun hareketini etkileyen en önemli faktörler; içerdiği matris kompozisyonu, lif tipi, lif geometrisi, lif hacmi ve lif matrisi, bağ karakteri. Lif katkısı kompozitleri daha katı gösterir. Eğer vibratör kullanılırsa karışım daha çok çalışır. Tüm lif geometrileri betonda kullanılır. Karıştırılırken max. Agrega ile uyumuna dikkat edilmelidir. [3].

Bu şartlar, tüm lifli betonlarda uyulması gerekli ön şartlardır. Yine etkili olan faktörler her lif tipi için ortaktır.

3.4. Polimer Lifli Betonun Mekanik Özellikleri

Polimer lifler çelik liflere nazaran betonun mekanik mukavemetlerini artırmada çok etkili olmazlar. Ama yine de az da olsa betona enerji yutma özelliği kazandırır ve özellikle de plastik rötrede çok etkili olurlar. Aşağıdaki bölümlerde polimer lifli betonlarda mekanik özellikler bahsedilmiştir.

Bhargava ve Rehnstörn [1977], normal ve polimer çimento betonu ile polipropilen lifli ve lifsiz olarak imal edilmiş 100x200 mm'lik silindir numuneler üzerinde

Hopkinson split bar deney düzeneği ile darbe dayanımı deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneylerinde ortalama 28 günlük 30 MPa basınç dayanımına sahip betonlar üretmiştir. Dinamik dayanımının statik deneylerde elde edilen dayanım değerinin yaklaşık % 40-45 daha fazlası olduğunu görmüştür. Numuneler kendi aralarında kıyaslandığında ise, polimer çimentolu betonların normal betona nazaran % 30-35 daha yüksek dinamik dayanım gösterdiği ve daha yüksek enerji aktarma kapasitesine sahip olduğunu kanıtlamıştır. [22].

Toutanji ve arkadaşları [1998], değişik oranlarda 12,5 ve 19 mm'lik polipropilen lifler ve silikafüm kullanarak hazırladıkları numuneler üzerinde permeabilite ve ACI 544'de verilen düşme ağırlıklı darbe deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Silikafüm içermeyen polipropilen lifli betonların permeabilitesinin arttığını vurgulamışlardır. Lif hacmi sabit kalacak şekilde lif boyunu küçülttiklerinde silikafüm içeren ve içermeyen betonlarda permeabilitenin azaldığını vurgulamışlardır. Ayrıca lifli betonların darbe dayanımının silikafüm eklenmesiyle arttığı fakat lifsiz betonlarda silikafüm eklenmesinin etkisi olmadığını görmüşlerdir. [22].

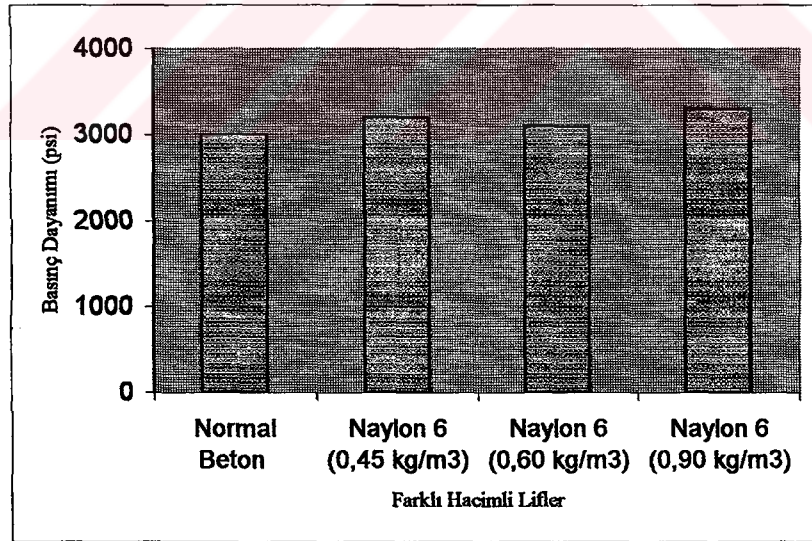
Wang ve arkadaşları [1996], yaptıkları tekrarlı darbe yükleme deneylerinde bir darbede numunenin göçmesine sebebiyet veren deneylere nazaran farklılık gösterdiğini görmüşlerdir. Çalışmalarında 102x102x355 mm'lik çelik ve polipropilen lifli numuneler kullanmışlardır. Tek bir darbede kırılan numunelerde darbe kafasının uyguladığı yükün daima eğilme yükünden dolayısıyla eğilme enerjisinin toplam enerjiden az olduğunu göstermişlerdir. Toplam enerjinin eğilme enerjisinden farkını, numune içi enerjinin kırılan kiriş numunenin kırılan parçalarının kinetik enerjileriyle toplamı olduğunu belirtmişlerdir. Polipropilen lifler katarak hazırlanan numuneler, lifsiz numunelerle kıyaslandığında kırılma enerjisinde çok fazla bir artış olmadığını hacimce % 0,50 oranında katılan numunelerde bile artışın % 21 mertebesinde kaldığını vurgulamışlardır. Uygulanan maksimum yüklerin normal ve bu türden liflerin kullanıldığı numuneler için hemen hemen aynı olması nedeniyle büyük deformasyonların büyük kırılma enerjisine sebep olduğunu, ancak bu tür liflerin köprü etkisinin çok önemli olmadığını görmüşlerdir. Lif hacim oranının artışıyla orantılı olarak arttığını ancak bu artışın % 0,25 ve 0,50 karışımları için lifsiz betondan çok da büyük olmadığını göstermişlerdir. [22].

polipropilen lifler arasındaki bağıın önemini şu şekilde açıklamışlardır; çatlak kontrolü, yük transferi (matris çatladıktan sonraki matrsten liflere gelen yük), enerji yutma kabiliyeti (lifler enerjiyi yutmalı, kırılmamalı) gibi faktörler bağıın karakterine bağılıdır. Ayrıca, lif çapı, bağı uzunluğu, lif tipi, kür koşulları ve numunenin yaşı bu bağı karakterini etkiler.

3.4.1. Polimer Lif Takviyeli Betonun Basınç Altında Davranışı

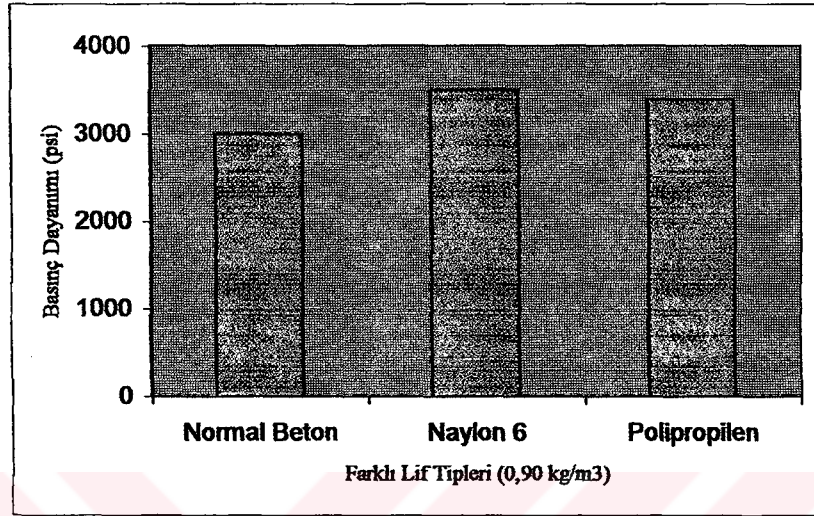
Polimer lifler için hacim oranı % 0,1 olmasına rağmen bazı durumlarda yüksek dozaj da kullanılır. Bu düşük lif hacimde lifler sertleşmiş betonun hiçbir özelliğini etkilemez. Elastiklik modülündeki değişiklik belirgin olmaz. Liflerin artırılması basınç mukavemetini etkilemez. Aşağıdaki grafikte farklı hacimlerdeki lif miktarlarının basınç dayanımları görülmektedir. [3].

Colville ve Amde [43], polimer takviyeli çimentolu malzemelerde basınç ve çekme dayanımları üzerinde çalışmışlardır. Polimer liflerle özellikleri ile polimer katkılı betonların ve harçların farklılıkları araştırılmıştır. Genelde, polimer lifler basınç dayanımını düşürse de, polimer liflerin hacim oranına ve polimer liflerin tiplerine bağılı olarak sonuçlar farklı çıkabilir. Polimer lifler çimento oranının % 20'sinden az katılmamalıdır.

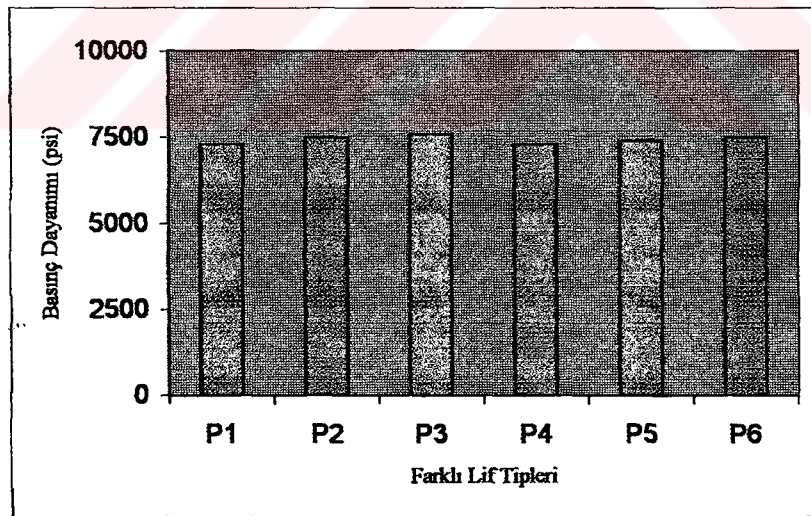


Şekil 3.3. Farklı hacimlerdeki lif miktarlarının basınç dayanımları

Bazı durumlarda betonun işlenebilirliğini artırmak için fazla su eklenirse, basınç mukavemetinde azalma görülür. Bu azalma su eklenilmesinden olur, lif eklenilmesinden değil. Şekil 3.4. ve 3.5. de farklı tipteki polimer liflerinin karşılaştırılması görülmektedir. Hafif ve normal beton davranışları da hemen hemen aynıdır. [3].



Şekil 3.4. Normal beton ve iki tip polimer lifli betonun (0,9 kg/m³ oranında) basınç dayanımlarının karşılaştırması



Şekil 3.5. Farklı 6 tipte polimer liflerin (0,9 kg/m³ oranında) basınç dayanımlarının karşılaştırması

Yukarıdaki şekilden de anlaşıldığı gibi, basınç mukavemetinde polimer lif tipleri önemsizdir. Buna karşın, lif oranı önem kazanmaktadır. Şekildeki lifler % 0,1

oranında kullanılmıştır. Basınç dayanımı lif oranı arttıkça azalır. Bunun sebebi de, lif miktarının artmasından oluşacak hava miktarının artışı basınç dayanımını azaltacaktır. [3].

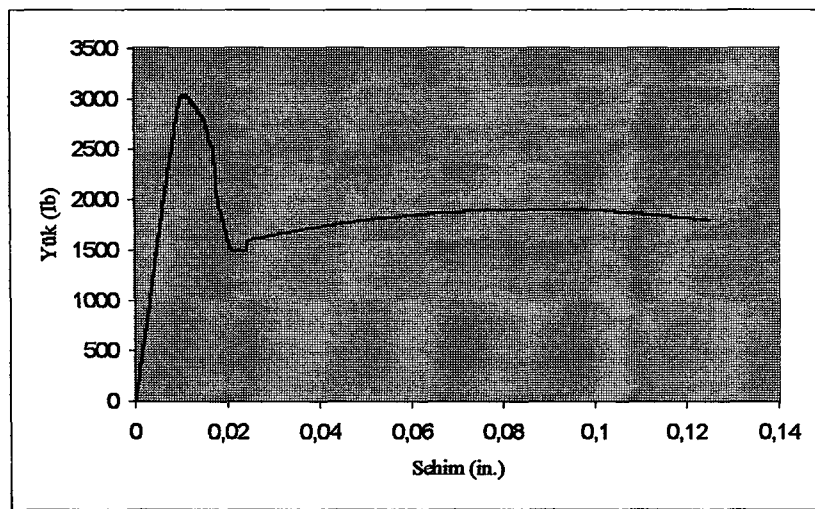
3.4.2. Polimer Lif Takviyeli Betonun Çekme Gerilmesi Altında Davranışı

Polimer liflerin etkileri çelik liflerden daha azdır. İri daneli agregalı beton ve lif hacmi % 0,5'den az olan çimento ve harç numuneleri % 2 ve % 7 polimer lifi içerenlerin davranışı, % 0,5'den az lif içerenlerinkinden çok farklıdır. Hacimce katılma oranı % 0,2'den az olduğunda betona lif katılımı çatlak gerilim mukavemetinde etkili olmaz. [3].

Polimerler basınçta zayıftırlar ama yüksek çekme gerilimi dayanımları vardır ve diğer malzemelerle kombinasyonları sayesinde bazı mukavemet özellikleri iyileştirilmiş malzemeler oluştururlar. [44].

3.4.3. Polimer Lif Takviyeli Betonun Eğilme Altında Davranışı

Polimer lifli betonlarla yapılan çalışmaların sayıları çok sınırlıdır. Hacimce lif katılma oranı % 0,075 - % 0,5 olanlar, lif tipi hamur ve tekil biçimde ele alınır. Her iki durumda da lif uzunluğu 19 mm'dir. Normal , hafif ve hızlı yerleşen çimento kompozitleri kullanılmıştır. Şekil 3.6.'da polipropilen lifi kirişe konmuştur. İlk darbeden sonra yük kapasitesi düşer ve düşük hacim oranı e-modülünü de etkiler. [3].



Şekil 3.6. Polimer lifli betonlarda görülen tipik bir yük-sehim grafiği

Dayanıklılığı artırmada polimer lifleri çelik lifler kadar etkili olamazlar. Çelik liflerin, hafif ve normal betonda davranışı çok farklı değildir. Numunelerin boyutundaki değişimler, çıkıntılı olup olmaması özelliği çok değiştirmez. Hızlı yerleşen malzemelerde dayanıklılıkta, polimer lifleri çok etkili gibi görünse de bu lifler düşük çekme kuvvetli çelik lifler kadar etkili olabilirler. [3].

3.4.4. Polimer Lif Takviyeli Betonun Aşınma ve Kayma Direnci, Isı ve Elektrik İletkenlik Özellikleri

Sertleşmiş polimer lifli betonun birim ağırlığı betonunkiyle hemen hemen aynıdır. Birim ağırlık, polimer liflerde hacim kesri % 0,5'i aşarsa azalmaya meyilli olur. Standart aşınma direnci testlerine göre, polimer liflerin aşınma ve kayma direncinde hiç etkisi yoktur. Isı iletkenliği çelik liflerde artarken polimer liflerde etkisi yoktur. Elektrik iletkenliği ise henüz ispat edilmemiştir. [3].

3.5. Çelik Liflerle Polimer Liflerin Farkları

Polipropilen liflerin fonksiyonu betonun yumuşak, plastik safhasıyla sınırlı iken, çelik liflerin mukavemet artırıcı etkisi beton prizini alıp sertleştikten sonra da belirgin şekilde devam eder. Betonun plastik safhasında çelik liflerin çatlak önleyici ve sınırlayıcı etkisi de mevcuttur. Ancak, betonda mükemmel şekilde dağılmış olan polipropilen liflerin etkisine göre zayıftır. Bununla birlikte sertleşmiş betonda uzun dönemde kuruma büzülmelerinden dolayı oluşacak çatlakların azaltılmasında çelik lifler malzemeye belirli bir dayanıklılık ve tokluk vererek betonun mukavemetini önemli ölçüde artırırlar. [41].

Robins ve Calderwood [1978], çalışmalarında çelik ve polipropilen lifli olarak imal edilen döşemeler üzerinde patlayıcı denemeleri yapmışlardır. Çalışmalarında 310x310x25 mm'lik döşemeler kullanmışlardır. Polipropilen lifli döşemelerin patlama tesirinde daha az parçalandığını görmüşlerdir. Yüksek hızlı bir kamera yardımıyla çekilen filmde, liflerin daha çok çatlak önlemede etkin olduğunu ispatlamışlardır. Ayrıca polipropilen lifler arasında da 40-75 mm uzunlukları arasında olan liflerin 20 mm'lik liflere nazaran çatlak gelişimini önlemede daha etkili olduğunu görmüşlerdir. [22].

Gököz ve Naaman [1981, çalışmalarında , lif çekip çıkarma deneyi için kullanılan özel bir deney sistemi tanıtmışlardır. Değişik yükleme hızlarında, çelik , polipropilen ve cam liflerin çimento harcı matrisinden çekip çıkarılması deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Şekil değiştirme miktarının kenetlenme üzerindeki etkilerinin lif tipi ile değişimini incelemişler, çelik ve cam liflerin çekip çıkarma enerjisinin çoğunlukla yükleme hızından bağımsız olduğunu vurgulamışlardır. Polipropilen liflerde ise yükleme hızının artışıyla çekip çıkarma enerjisinde büyük bir artış olduğunu ifade etmişlerdir. [22].

Arslan [1995], düşme ağırlıklı bir darbe dayanım test cihazı kullanarak çelik ve polipropilen lifli betonların karışık modda kırılma performanslarını modelleyebilecek bir numune geometrisi tanıtmıştır. Deney düzeneğinde, darbe kafasınca uygulanan potansiyel enerjinin darbe olayı ile tamamen numuneye kinetik enerji olarak geçtiğini varsayarak, normal ve çeşitli lif oranlarındaki betonların kırılma enerjilerini hesaplamıştır. Lifli betonların çarpma etkisi altında statik yüklemeye göre çok daha yüksek bir performans gösterdiğini ortaya koymuştur. [22].

Ramakrishnan (1994), yaptığı çalışma sonucunda polimer yapılı liflerin sıcaklık ve nemden çok etkilendiğini ispatlamıştır. [44].

Chandra ve Ohama (1994), yaptığı çalışma sonucunda polimer yapılı liflerin yangın dayanımının çok zayıf olduğunu görmüşlerdir. [44].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu araştırmanın deneysel çalışmaları İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Yüksek dayanımlı beton üretmek amacı ile belli özellikteki beton karışımına çeşitli oranlarda lifler katılarak 42 adet beton numunesi üretilmiştir. Bu beton numuneleri üzerinde yapılan mekanik mukavemet deneyleri laboratuvarda bulunan 100 KN ve 3000 KN kapasiteli Universal cihazları ile yapılmıştır.

4.1. Kullanılan Malzemeler

Numunelerin hazırlanmasında kullanılan agregaların, bağlayıcının, donatının ve katkı malzemesinin gerek ön deneylerle elde edilmiş ve gerekse üretici firmaları tarafından verilmiş özellikleri alt başlıklarda verilmiştir.

4.1.1. Agregaların Özellikleri

Beton numunelerinde kullanılan ince agrega ve iri agrega üzerinde birim ağırlık, özgül ağırlık değerlerinin saptanması için ilgili standartlar uyarınca deneyler yapılmıştır. Kullanılan tüm agregalar kare gözlü eleklerde elenerek gruplara ayrılmış, ve kabul edilen granülometri eğrisine göre gerekli miktarlarda ağırlıkça alınarak karışıma katılmıştır.

Kullanılan agregalar Adapazarı'ndan çeşitli boyutlarda getirilen dere çakıllarıdır. Bu çakıllar elenmeden önce birkaç defa çamurundan arınması için yıkanmış, iyice temizlendikten sonra kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işleminden sonra agregalar kare gözlü eleklerden max dane çapını 16mm olarak kabul ederek elenmiştir. Agregalar, 0.00/0.25/0.50/1.0/2.0/4.0/8.0 eleklerden geçirilerek ince ve iri agrega şeklinde gruplara ayrılmıştır.

Tablo-4.1. Kullanılan Agregaların Özellikleri

Agrega Grubu	Özgöl Ağırlık (kg/dm^3)
İri Agregat	2,69
İnce Agregat	2,45



Şekil-4.1 Yıkanmış Agregaların Kurumaya Bırakılması

4.1.2. Çimento Bağlayıcısının Özellikleri

Deneylerde Akçansa Çimento Fabrikası tarafından üretilmiş olan PKÇ/B 32.5 R tipi Portland Kompoze Çimentosu kullanılmıştır. Bu çimento, % 65-% 79 oranında Portland çimentosu klinkerine, aşağıda miktarları verilen katkı maddeleri ve priz düzenleyici olarak da kalsiyum sülfatın katılarak öğütülmesi sonucunda elde edilmiş hidrolik bağlayıcıdır [45].

Portland Kompoze Çimentonun Kimyasal Sınırları:

	<u>% En Çok</u>
Kükürt Trioksit (SO ₃)	3.5
Klorür (Cl ⁻)	0.1

Toplam Katkı Miktarı:

Portland kompoze çimentolarına, %21 - % 35 granüle yüksek fırın cürufu, silika füme, doğal ve endüstriyel puzolan, silissi/kalkersi uçucu kül, pişmiş şist ve / veya kalker ayrıca %0 - %5 minör ek bileşenler katılmaktadır.

Rilem Harcının Basınç Dayanımları (N/mm²) :

	<u>2 Günlük</u>	<u>7 Günlük</u>	<u>28 Günlük</u>
Minimum	10.0	-	32.5
Maksimum	-	-	52.5
Akçansa Ortalama	13.0	24.0	38.0,

Priz Süreleri :

	<u>Başlangıç</u>	<u>Son</u>
Standart	1 saat (Min)	-
Akçansa Ortalama	2 saat 40 dk.	3 saat 36 dk.

Özgül Yüzey – Blaine :

	<u>Cm²/gr</u>
Standart (En az)	-
Akçansa Ortalama	3.900

Kullanım Alanı :

Portland kompoze çimentoları, temeller, istinat duvarları, barajlar gibi kütle beton uygulamalarında kullanılabilir. Bu çimentolar kimyasal dayanıklılık bakımından iyi bir bağlayıcı olup sıva için de uygundur. Burada yer alan bilgiler TSE tarafından konulmuş standart değerleri içermektedir [45].

4.1.3. Çelik Liflerin Özellikleri

Çelik lif donatılı betonda kullanılan çelik teller, BEKAERT-BEKSA firmasından elde edilmiştir. Deneylerde Dramix RC 80/60 olarak kodlanmış tipteki çelik teller kullanılmıştır. Bu liflerin boyu $l=60$ mm ve kalınlığı $d=0.75$ mm. dir ve iki ucu kancalı olarak üretilmiştir. Performans sınıfı, 80 ve özgül ağırlığı 7.85 gr/cm^3 , tel çekme dayanımı min. 1100 N/mm^2 olan bu teller, suda çözünebilen polimer esaslı bir yapıştırıcı ile bağlanarak demetler halinde hazırlanmıştır. Bu lif demetleri üretim sırasında su ile temasa girince yapıştırıcı maddenin çözülmesi ile tek tek lifler halinde taze betona karışabilmektedirler. Bu çelik teller TS 10513 Standardına uygun olarak üretilmiştir [6,11].

Karışım Oranı :

Deneyler için üretilen betonlarda % 0.5 - % 1 - % 1.5 oranında çelik lifler katılmıştır.



Şekil 4.2.Karışımında Kullanılan Çelik Lifler



Şekil 4.3. Çelik Lifli Beton Karışımı

4.1.4. Polipropilen Liflerin Özellikleri

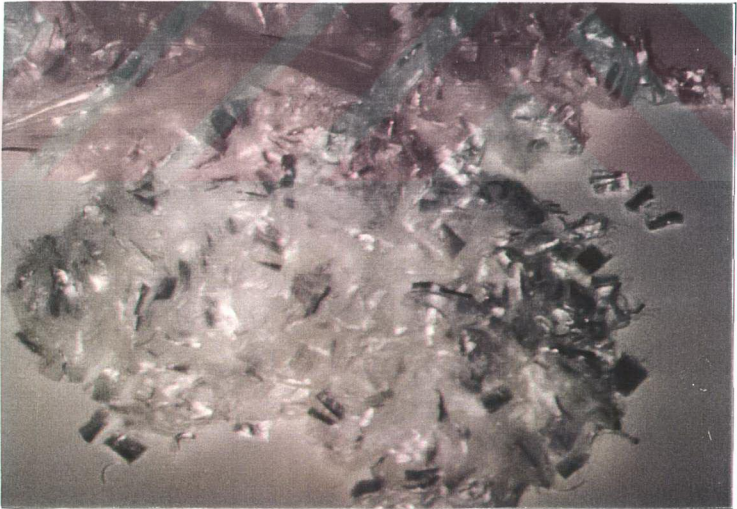
Polipropilen lif donatılı betonda kullanılan polipropilen lifleri de BEKAERT-BEKSA Firmasından elde edilmiştir. Deneylerde, Duomix M 20 olarak kodlanmış tipteki polipropilen lifler kullanılmıştır.

Karışım Oranı :

Uygulamalarda, 1 m^3 betona 600 gr. DUOMİX ilave edilir, bu da hacimce % 0.06 oranı demektir. Deneyler için üretilen betonlarda % 0.06 - %0.08 - % 0.09 oranında polipropilen lifler kullanılmıştır. Bu malzeme ticari olarak herbiri 600 gramlık plastik paketler içerisinde ve 15 paketten oluşan karton ambalajlarda piyasaya sürülmektedir [41].

Teknik Özellikler : **DUOMIX M 20**

Tipi	: Liflendirilmiş
Çapı	: 16 mikron
Uzunluğu	: 20 mm
Spesifik Yüzeyi	: 275 m ² /kg
Malzeme	: Polipropilen
Yoğunluk	: 0.91 kg / dm ³
E – Modülü	: 3500 – 3900 N/mm ²
Çekme Mukavemeti	: 320 – 400 N/ mm ²
Sıvı Tutma Kapasitesi	: % 0.0
Azami Çalışma Sıcaklığı	: 145 C
Kimyasal Direnci	: Asal
Rengi	: Beyaz şeffaf



Şekil 4.4. Karışımda Kullanılan Polipropilen Lifler



Şekil 4.5. Polipropilen Lifli Beton Karışımı

4.1.5. Katılan Akışkanlaştırıcının Özellikleri

Deneylerde kullanılmak üzere üretilen betonların hepsinde akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesi olarak YKS Firmasından alınan MELMENT F 10/33 kullanılmıştır. Özellikle lif katılan karışımlarda karıştırma işleminin zor olması nedeni ile bu tür bir kimyasal katkıya ihtiyaç duyulmuştur. Bu kimyasal katkı malzemesi % 0.01 oranında tüm numunelere katılmıştır [46].

Tanımı :

Melment F 10, alçı ve çimento esaslı hazır sıva ve şapların karışım suyunu azaltarak, düşük sıcaklıklarda bile yüksek mukavemet gösteren ürünlerin üretiminde kullanılan, toz formu, melamin esaslı bir süper akışkanlaştırıcıdır [46].

Kullanım Yerleri :

- Harçlar, seramik yapıştırıcıları, sıva, şap ve alçılarda,
- Beton, gazbeton ve betonarmelerde,
- Tesviye şaplarında ,
- Prekast alçı elemanlarında,
- Alçı kalıplarda,

- Prekast elemanlarının üretildiği yerlerde.

Kullanılan Kimyasal Katkıların Fiziksel Özellikleri :

- Toz şeklinde kullanılan harçların üretiminde kullanılır.
- Toz karışımlar için gereken su miktarını azaltır.
- Hazırlanan harçların mukavemetini ve işlenebilirliğini artırır.
- Karıştırıldığı malzemenin rengini alır.
- Eklenen su miktarına bağlı olarak, istenilen kıvamda süper akışkanlaştırıcı elde edilebilir.

Kullanılan Kimyasal Katkıların Teknik Özellikleri :

Görünümü : Beyaz renkli ve toz haldedir.

Toz Yoğunluğu : 1.8 – 1.9 gr / cm³’dür.

Polietilen takviyeli 25 kg’lık kraft torbalarda temin edilir. İşlenebilirliği artırmak için çimento ağırlığının % 0.2-0.4’ü mukavemetini artırmak için % 0.3-0.6’sı tavsiye edilir [46].

4.2. Beton Bileşimleri, Kabul Edilen Esaslar Ve Numuneler İle İlgili Açıklamalar

Deney programı kapsamında üretilen betonlarda en büyük agraga boyutu 16 mm olarak seçilmiştir. Üretilen numunelerin agregası granülometreleri A16 ve B16 eğrileri arasında kalacak şekilde ayarlanmıştır. Bu şekilde ideal incelik modülü hesaplanmıştır, k ideal 4,135 olarak alınmıştır. Buna göre kaba ve ince agregaların karışım oranları, %52 kaba, %48 ince agregası olarak bulunmuştur. Yine aynı şekilde bütün numunelerde gerçek çimento dozajı sabit olup 466,1 kg/m³ olarak kabul edilmiştir.

Beton karışımlarında gerekli olan kıvamın sağlanması için su/çimento oranını 0,46 olarak kabul edilmiştir. Bu oran tüm numunelerde sabit tutulmuştur.

Çelik tel donatılı karışımlarda donatının tipi sabit olup boyu, 60mm ve kalınlığı (d), 0,75mm, narinlik oranı (uzunluk/çap) ise 80 ‘dir.

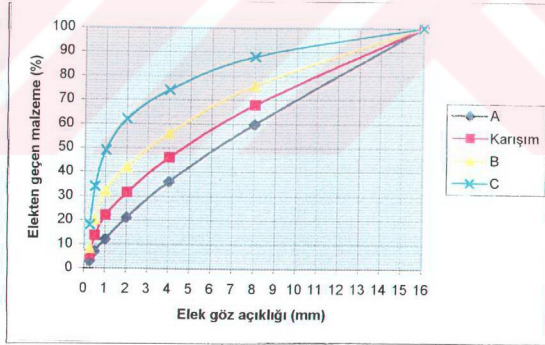
4.2.1. Beton Bileşim Hesapları

Daha önce de belirtildiği gibi araştırmada üretilen betonlarda en büyük agrega boyutu sabittir ve 16 mm dir. Beton agregası karışımlarının granülometrisi A16 ve B16 eğrileri arasında kalacak şekilde düzenlenmiştir. Bütün beton örneklerinde gerçek çimento dozajı sabit olup $466,1 \text{ kg/m}^3$ 'dür.

Beton bileşim hesaplarında kullanılan yöntemler genel olarak şu şekildedir:

- Mutlak Hacim Yöntemi. Burada su ve çimentonun mutlak hacmi tahmin edilir, agreganın mutlak hacmi hesapla bulunur.
- Hacimsel Yöntem. Agreganın kuru ve gevşek durumdaki hacmi ile çimentonun ağırlığı tahmin edilir. Su miktarı ise, deneme karışımını hazırlarken deneysel olarak bulunur.
- Ağırlık Yöntemi. Su ve çimentonun ağırlıkları tahmin edilir. Agreganın ağırlığı hesapla bulunur.

Bu çalışmada Ağırlık Yöntemi kullanılmış olup, önce su ve çimentonun ağırlıkları hesaplanmış ve agrega miktarları bu değerlere bağlı olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6. Beton Agregasının granülometrik bileşimi

- C : 1 m³ yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı, (kg)
 V_c : 1 m³ yerleşmiş betondaki çimentonun mutlak hacmi, (dm³)
 P_{su} : 1 m³ yerleşmiş betondaki suyun ağırlığı, (kg)
 V_{su} : 1 m³ yerleşmiş betondaki suyun hacmi, (dm³)
 δ_c : Çimentonun özgül ağırlığı, (kg/dm³)
 δ_{su} : Suyun özgül ağırlığı, (kg/dm³)
 V_{ag} : Toplam agrega hacmi, (dm³)
 V_f : Çelik lif hacmi.
 V_p : Polipropilen Lif hacmi
 V_k : Kimyasal katkının hacmi.
 s/ϕ : Etkin su / çimento oranı
 V_h : 1 m³ yerleşmiş betondaki hava hacmi, (dm³)

Minimum beton sınıfı olarak BS20 hedeflenmiştir. Buna göre yapılan hesaplarda,

1 m³ betonda,

$$\begin{aligned}
 k_{ideal} &= 4,135 \\
 E &= \alpha (10 - k_{ideal}) \\
 E &= 37 (10 - 4,135) \\
 E &= 217 \text{ kg su miktarı}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

BS20' nin küp basınç dayanımı

$$\begin{aligned}
 F_c &= (f_{cc}/6) \times (C^2 / 2) \\
 25 &= (32,5 / 6) \times (C \times C / 217 \times 217) \\
 C &= 466,1 \text{ kg çimento miktarı}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Agregaların özgül ağırlıkları,

$$\begin{aligned}
 \delta_{kaba} &= 2,71 \text{ gr/cm}^3 \\
 \delta_{ince} &= 2,64 \text{ gr/cm}^3 \\
 \delta_{çimento} &= 2,94 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$V_c = C / \delta_c \qquad V_{su} = P_{su} / \delta_{su}$$

Buna göre,

$$1000 = (C / \delta_c) + (P_{su} / \delta_{su}) + V_h + V_{ag} \quad (4.3)$$

$$1000 = 466,1 / 2,94 + 217 + 12 + V_{ag}$$

$$V_{ag} = 612,47 \text{ m}^3$$

$$\text{Kaba Agrega oranı} : \%52$$

$$\text{İnce Agrega oranı} : \%48$$

$$P = V_{ag} \times \% \text{Agrega} \times \delta_{ag} \quad (4.4)$$

$$\text{Kaba} = P_{kag} = 612,47 \times 0,52 \times 2,71 = 863,09 \text{ kg}$$

$$\text{İnce} = P_{iag} = 612,47 \times 0,48 \times 2,64 = 776,12 \text{ kg}$$

$$P_{ag} = P_{kag} + P_{iag}$$

$$P_{ag} = 1639,21 \text{ kg}$$

1 m³ Normal Betonda,

Çimento = 466,1 kg

Su = 217 kg

Kaba agrega = 863,09 kg

İnce agrega = 776,12 kg

Süper akışkanlaştırıcı olarak katılan Melment F10 da hacimce % 0,1 oranında katılmıştır [48].

$$\Delta = 2,322 \text{ kg/m}^3$$

Bu karışım oranları 21lt'lik karışımlar için de ayrıca hesaplanmıştır. Yine bu değerlere sabit kalarak çeşitli oranlarda çelik ve polipropilen lifler katılmıştır.

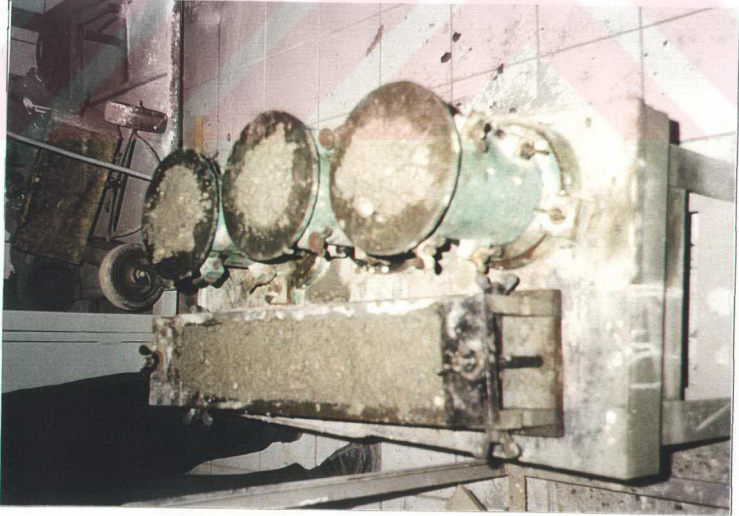
4.2.2. Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme ve Kür Koşulları

Daha önce de belirtildiği gibi araştırmada üretilen betonlar 21'er litre olarak 3 adet çelik silindir ve 3 adet çelik kiriş kalıplara aşama aşama belirli aralıklarda şişleme yaparak ve sarsma tablasında sarsarak homojen yerleştirme yapılmıştır. Bu işlemler normal betonlara uygulandığı gibi çelik ve polipropilen lifli betonlara da aynı şekilde uygulanmıştır. Her tip beton numuneleri gün aşırı hazırlanmıştır. Beton numuneleri 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve 15. güne kadar normal oda sıcaklığında ağzı kapalı polietilen torbalarda su içinde bekletilmişlerdir. Sudan çıkartılan numuneler deneylerin uygulandığı 28. güne kadar normal oda sıcaklığında

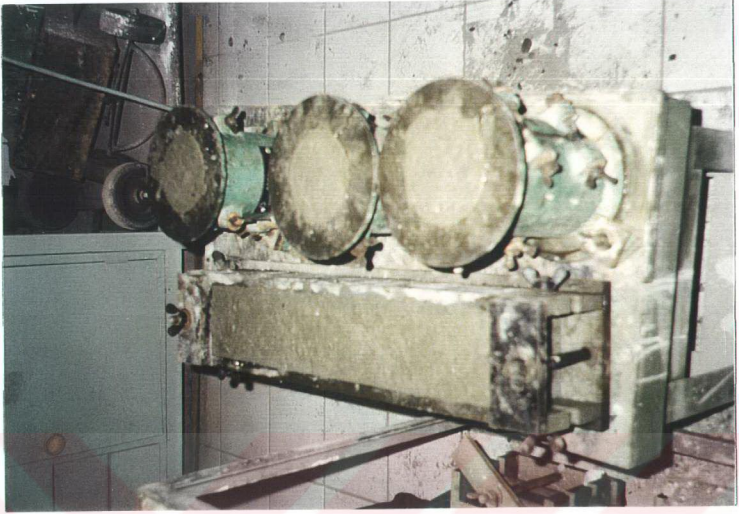
muhafaza edilmişlerdir. Sertleşmiş beton deney sonuçları 28 günlük sonuçlardır [49].



Şekil 4.7. Betonlarda yerleştirme işlemi



Şekil – 4.8. Sarsma tablasında betonların yerleştirme işlemi



Şekil – 4.9. Sarsma işleminden sonraki betonun yerleşimi



Şekil – 4.10. Betonlarda kür uygulaması



Şekil – 4.11. Betonların 15 günlük kürden sonrası

4.2.3. Beton Numunelerinin Boyut ve Sayıları

Her tip beton numunesi 21lt. olarak hazırlanmıştır. Numuneler için 2 tip çelik kalıp kullanılmıştır. Bunlar; Çapları 100mm ve yükseklikleri 200mm olan 3 adet çelik silindir kalıp, 100x100x500 mm boyutlarında 3 adet çelik prizma kalıplarıdır. Yani, her tip beton için 3 adet silindir, 3 adet prizma beton numuneleri hazırlanmıştır. Silindir numunelerinde basınç ve basınç gerilmesi-deformasyon deneyleri, kiriş numunelerde eğilmede çekme, elastisite modülü ve çekmede kırılan parçalar üzerinde basınç dayanımı tayini deneyleri yapılmıştır.

Her beton için 6 adet numune hazırlanmıştır. Normal beton için 6 adet, çelik lifler 3 oranda kullanıldığından 18 adet, polipropilen liflerde de yine 18 adet olmak üzere toplam 42 adet numune üretilmiştir.

4.2.4. Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler

4.2.4.1. Taze Beton Deneyleri

Taze beton numuneleri üzerinde yaş birim ağırlık ve kıvam özelliği deneyleri yapılmıştır. Yaş birim ağırlık için silindir çelik kalıplardan biri önce boş olarak

tartılıp sonra da beton dolu olarak tartılıp hesaplanmıştır. İşlenebilme özelliğinin saptanabilmesi için çökme deneyleri yapılmıştır. Bu deney çökme konisi ile yapılmıştır. TS 2871 Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu ile)’ne uygun olarak standartta belirtilen tabanı 203 mm, üst yüzü 102 mm çapında, yüksekliği 305 mm metalden yapılmış kesik huni’ye benzer huni, 60 cm boyunda ve 16 mm çapında ucu yuvarlatılmış çelik çubuk ile belirli aralıklarla şişlenerek yine standartta belirtilen kenarları düz 10-15 cm uzunluğunda çelik mala kullanılarak çökme miktarları hesaplanmıştır. Normal betonda bu değer 6,5cm olarak bulunmuştur [47].

4.2.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş betonlar üzerinde yapılan deney sonuçları 28 günlük verilerdir. Her tip beton numuneleri 28. günlerinde hassas terazilerde tartılarak birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Araştırmada, 100 mm çapında 200 mm yüksekliğindeki silindirik numunelerde basınç mukavemet tayini değerleri TS 3114 ‘Beton Basınç Mukavemet Tayini’ standardına uygun olarak 3000KN (300 ton) kapasiteli Form+Test Seidner D 7940 Riedlingen-West Germany marka presin 200N (20 kg)’luk skalası kullanılarak yapılmıştır. Yükleme hızı sabit tutulmuştur. Basınç mukavemeti yine bu standart tarafından belirtilen.

$$\sigma_b = F(N) / A(mm^2) = N/mm^2 \quad (4.5)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada (F) uygulanan basınç yükünü (N), (A) basınç doğrultusuna dik olan kesitin alanını (mm²), ve σ_b ise basınç gerilmesini ifade etmektedir [50].

Yine aynı silindirik numunelerde statik elastisite modülü tayini için özel bir düzenek hazırlanmıştır. Bu düzenekte, 100 KN kapasiteli 10 kg hassasiyetli presin altına konulan silindirik numuneye 0,01 mm hassasiyetinde bir komparatör temas ettirilerek, yükü 1000’er N arttırarak her arttırmada komparatörde gözükten deformasyon değerleri okunarak ölçmeler yapılmıştır. Basınç gerilmesi – deformasyon grafiklerinde çizilen eğriye teğet doğrunun eğimi ile her yüke karşı gelen elastisite modülü değerleri bulunmuştur. Bulunan bu eğim değerlerinin istatistik hesapları yapılarak ortalama değerler, standart sapmalar ve korelasyon değerleri bulunmuştur.

Eğilmede çekme deneyleri ise 100x100x500 mm boyutundaki prizmalar üzerinde yapılmıştır. 450 mm'lik bir mesafeye iki uçta mesnetler üzerinde oturtularak tam ortadan yükleme yapılarak değerler saptanmıştır. Bu deneyde 100 KN (10 ton) kapasiteli 10 N (1 kg) hassasiyetinde üniversal (UPD-10) test cihazı kullanılmıştır. TS 3285 'Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Orta Noktasından Yüklənmiş Basit Kiriş Metodu ile)' standardında öngörülen şartlara uyulmuş ve

$$\sigma_{eğç} = 3/2 \times (P \times L) / (b \times h^2) \quad (4.6).$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır [51].

$$\sigma_{eğç} = \text{Eğilmede çekme dayanımı (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$P = \text{Deney presinde kırılma anındaki en büyük yük (kgf)}$$

$$L = \text{Yükleme tablası mesnetleri arasındaki açıklık (cm)}$$

$$B = \text{Kırılma kesitinin ortalama genişliği (cm)}$$

$$H = \text{Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği (cm)}$$

Eğilmede çekme deneyinden çıkan kiriş numunelerin parçaları üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deney de TS 3287 'Betonun Eğilmede Çekme Deneyinden Çıkan Deney Numunesi Parçaları Üzerinde Basınç Dayanımı Deney Metodu' standardına uygun olarak, bir kenarı prizma deney numunenin enine eşit tam kare kesitli ve 20 mm kalınlığında düzlem yüzeyli çelik plakalar kullanılarak yine $\sigma_y = P / A = \text{kgf/cm}^2$ bağıntısı ile hesaplanmıştır [52].

$$\sigma_y = \text{Eğilme deneyinden sonraki deney numunesinin basınç dayanımı (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$P = \text{Kırılma yükü (kgf)}$$

$$A = \text{Deney yükü uygulama yönüne dik ve yükleme plakası boyutlarına bağlı ortalama kesit alanı (cm}^2\text{) 'dır.}$$

Yine aynı kiriş numunelerde, eğilmede çekme deneyleri yapılmadan önce, ortadan yükleme yapılacak biçimde ve komparatör bağlanarak elastisite modülü tayini deneyi yapılmıştır. Bu deneyde 10'ar kg'luk yüklemeler yaparak komparatörden sehimi değerleri okunmuştur. Bu değerlere göre yük-sehimi grafiği çizilip,

$$E = P \times L^3 / 48 \times \Delta L \times I \quad I = b \times h^3 / 12 \quad (4.7)$$

bağıntıları ile hesaplanan değerlerin istatistik ortalamaları bulunmuştur.

Burada,

- E = Elastiklik modülü (N/mm^2)
P = Uygulanan yük (kgf)
L = Mesnetler arası mesafe (cm)
 ΔL = Komparatörde okunan sehım değerleri (cm)
I = Atalet momenti (cm^4)
b = Numunenin genişliği (cm)
h = Numunenin yüksekliği (cm)

4.2.5. Deney Numunelerinin Kodlanması

Araştırma süresince başlıca 7 karışım serisi hazırlanmıştır. Bu serilerin kodlanması şu şekilde yapılmıştır.

Tablo 4.2.Beton Serilerinin Kodlanması

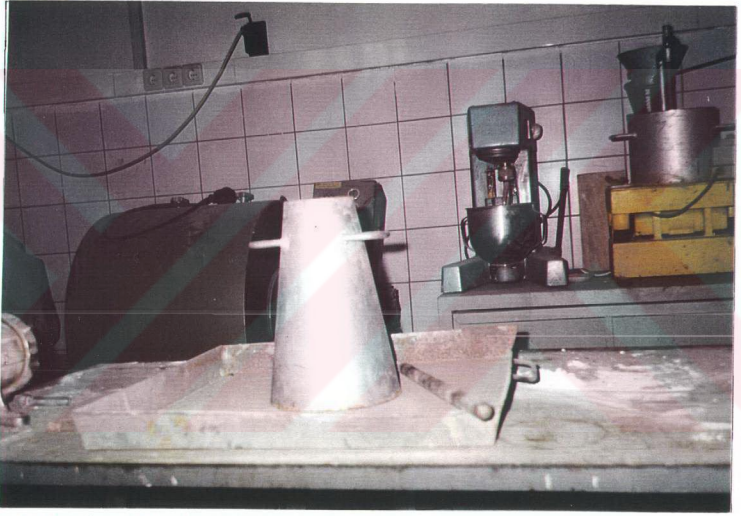
Normal Beton Serileri	NB	A
Hacimce %0,5 Çelik Lifli Beton Serileri	ÇLB-0,5	B
Hacimce %1 Çelik Lifli Beton Serileri	ÇLB-1	C
Hacimce %1,5 Çelik Lifli Beton Serileri	ÇLB-1,5	D
Hacimce %0,06 Polipropilen Lifli Beton Serileri	PLB-0,06	E
Hacimce %0,08 Polipropilen Lifli Beton Serileri	PLB-0,08	F
Hacimce %0,09 Polipropilen Lifli Beton Serileri	PLB-0,09	G

Bu numunelerde, su/çimento oranı sabit tutulup 0,46 olarak alınmıştır. Çelik ve polipropilen lifler de tek tip olarak kullanılmış, sadece oranlarıyla oynanmıştır.

5. DENEY SONUÇLARI

5.1. Taze Betonda Deney Sonuçları

Araştırmada taze betonda işlenebilirliği ölçmek için yapılan çökme deneylerinde kullanılan çökme konisini gösteren fotoğraf aşağıdadır.



Şekil 5.1. İşlenebilirlikte kullanılan çökme konisi

Araştırma için üretilen beton karışım serilerinin kodları, bileşimleri ve özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. 1 m³ Betondaki gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri

Grup No	Beton Serileri	Çimento (kg)	Su (m ³)	Kaba Agrega (kg)	İnce Agrega (kg)	Katkı Melment F10 (gr)	Çelik Lif (kg)	Polipr. Lif (gr)	Taze Beton Δ (kg/m ³)
A	NB	466,1	217	863,09	776,12	490	-	-	2,266
B	ÇLB-05	466,1	217	863,09	776,12	490	40,950	-	2,401
C	ÇLB-1	466,1	217	863,09	776,12	490	81,900	-	2,433
D	ÇLB-1,5	466,1	217	863,09	776,12	490	122,85	-	2,522
E	PLB-0,06	466,1	217	863,09	776,12	490	-	600	2,375
F	PLB-0,08	466,1	217	863,09	776,12	490	-	750	2,388
G	PLB-0,09	466,1	217	863,09	776,12	490	-	900	2,515

5.2. Sertleşmiş Betonda Deney Sonuçları

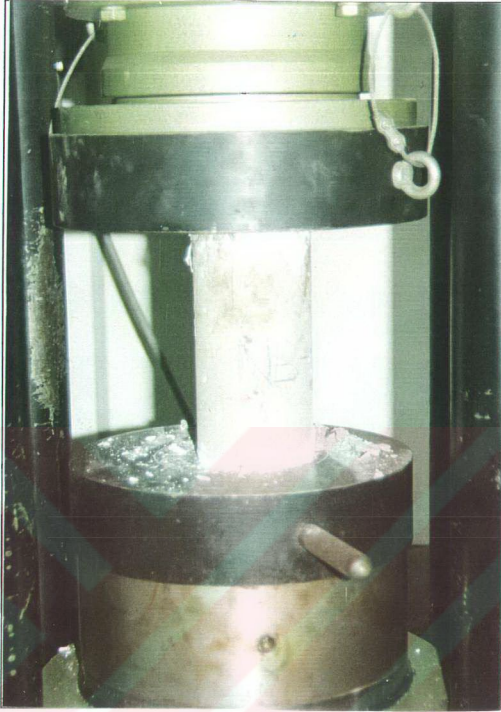
Her grup beton serisi 28. günlerinde aşağıda belirtilen deneylere tabi tutulmuşlardır. Deneyler gün aşırı yapılmıştır. Silindir ve kırış numunelerin deney sonuçları ayrı ayrı belirtilmiştir. TS 3068 de belirtilen ‘Laboratuvarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı’ standardı gereğince bu çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca TS 5929’da belirtilen ‘Beton Deneyleri- Boyutlar Toleranslar ve Deney Numunelerinin Uygunluğu’ standardına uyularak çalışmalara yön verilmiştir.

5.2.1. Normal Beton Silindir Numunelerde Yapılan Deneyler

Bu bölümde normal beton silindir numunelere yapılan basınç mukavemet tayini deneyi TS 3114 standardına uygun olarak yapılmıştır. Yine TS 3114’de belirtilen ‘Betonda Basınç Mukavemet Tayini’ uyarınca deney sonuçları değerlendirilmiştir [50]. Silindir numunelerde deneye başlanmadan önce silindirlerin üst ve alt kısımlarına düz bir satır elde etmek için yüzeyler alçılanmıştır.

5.2.1.1. NBSN(Normal Beton Silindir Numune)’de Basınç Mukavemet Hesapları

Betonlarda basınç mukavemetleri tayini için silindir numuneler kullanıldığını daha önce de belirtilmiştir. Bu deney için 3 adet normal beton silindir numuneye aynı işlemler uygulanarak deney sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Aşağıda basınç mukavemet tayini için kurulan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.2. Normal betonda basınç mukavemet deney düzeneği

Aşağıda normal beton numunelerde basınç mukavemet tayini deney sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.2. Normal Beton Silindir Numunede Basınç Muk. Deneyinin Sonuçları

NB Silindirler	Yükseklik (h) (mm)	Çap (d) (mm)	Uyg. Yük P (N)	Basınç Gerilmesi $\sigma_{\text{basınç}}$ (N/mm ²)
NB - 1	200	99,86	240000	30,69
NB - 2	200	99,64	260000	33,38
NB - 3	200	100,17	240000	30,46

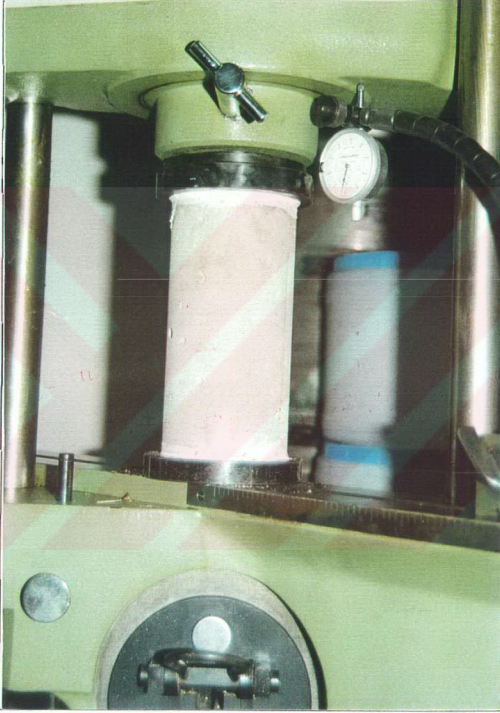
$\sigma_{\text{basınç}} = P / A$ bağıntısına göre, (4.5)

Normal Betonda Silindir Basınç için Aritmetik Ortalaması

$$\sigma_{\text{basınç}} = 31,51 \text{ N/mm}^2$$

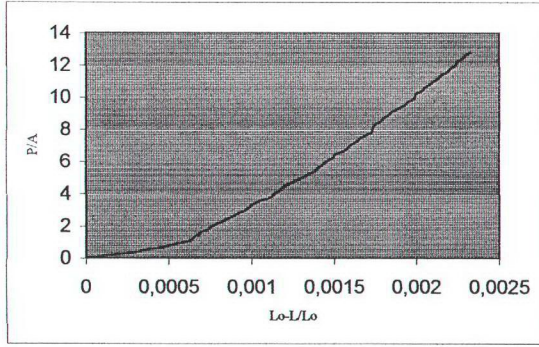
5.2.1.2. NBSN'de Elastiklik Modülü Tayini

Normal beton silindir numunelerde elastiklik için 100 KN'luk kapasiteli 10 N hassasiyetli pres ile 0,01 mm hassasiyetli bir komparatör kullanılmıştır. 1000 N yükleme yaparak komparatörden deformasyon değerleri okunarak hesaplar yapılmıştır. Aşağıda basınç gerilmesi altındaki elastiklik modülü tayini için kurulan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.3. Normal betonda e-modülü tayini deney düzeneği

Ekler listesindeki B1 tablosundaki normal beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerlerine göre hesaplar yapılmış, aşağıdaki grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.4. Normal beton silindir numunede gerilme-deformasyon eğrisi

Bu eğriye teğet doğrunun eğimi için yapılan istatistik hesaplar, (5.1)

$$N = 43$$

$$\Sigma x = 0,06957$$

$$\Sigma y = 319,01281$$

$$\Sigma x^2 = 1,211731 \cdot 10^{-4}$$

$$\Sigma y^2 = 2800,058092$$

$$\Sigma xy = 0,5770551897$$

$$\Sigma x/n = 0,001617906977$$

$$\Sigma y/n = 7,418902558$$

$$x\sigma_n = 4,476115329 \cdot 10^{-4} = x\text{'in standart sapması}$$

$$y\sigma_n = 3,174510178$$

$$x\sigma_n - 1 = 4,529088952 \cdot 10^{-4}$$

$$(y\text{'nin standart sapması})$$

$$y\sigma_n - 1 = 3,212079654$$

$$a = -4,021931801$$

$$b = 7071,37958 \text{ N/mm}^2$$

$$r = 0,9970769902 \text{ (korelasyon katsayısı)}$$

$$(b = \text{eğim} = \text{elastiklik modülü})$$

Teğet olan doğrunun bağıntısı,

$$Y = a + bx = -4,021931801 + 7071,37958x$$

5.2.2. Normal Beton Kiriş Numunelerde Yapılan Deneyler

Bu bölümde normal beton kiriş numunelere yapılan eğilmede çekme mukavemet tayini deneyi TS 3285 standardına uygun olarak yapılmıştır. Yine TS 3287’de belirtilen ‘Betonun Eğilmede Çekme Deneyinden Çıkan Deney Numunesi Parçaları Üzerinde Basınç Dayanımı Deney Metodu’ standardına göre de önceki deneyden çıkan parçalar üzerinde bir de basınç dayanım deneyleri yapılmıştır [52]. Son olarak da kirişlerde elastiklik modülü tayini deneyi uygulanmıştır.

5.2.2.1. NBKN (Normal Beton Kiriş Numune)'de Eğilmede Çekme Mukavemeti Deneyi Hesapları

Aşağıda normal beton numunelerde eğilmede çekme mukavemeti deney sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.3. Normal beton kiriş numunede eğilmede çekme mukavemeti deney sonuçları

NB Kirişler	Yükseklik (h) (mm)	Genişlik (d) (mm)	Uzunluk (mm)	Mesnet aralığı(mm)	Uyg. Yük P (N)	Çeğç (N/mm ²)
NB- 4	100,14	100,4	500	450	3600	2,415
NB- 5	100,13	96,06	500	450	3650	2,559
NB- 6	99,75	100,42	500	450	4900	3,310

$$\sigma_{\text{çeğç}} = 3/2 \times (P \times L) / (b \times h^2) \text{ bağıntısına göre,} \quad (4.6)$$

Normal Betonda Kirişlerde Eğilmede Çekme Mukavemeti için Aritmetik Ortalaması

$$\sigma_{\text{çeğç}} = 2,761 \text{ N/mm}^2$$

5.2.2.2. NBKN'de Elastiklik Modülü Tayini

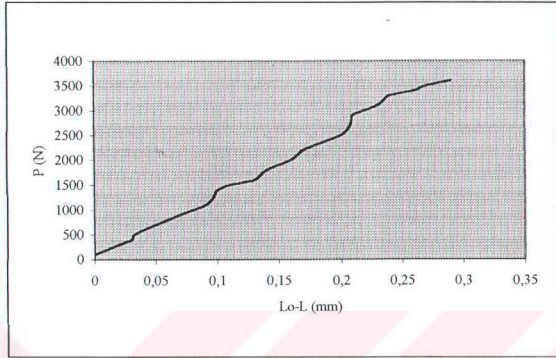
Normal beton kiriş numunelerde elastiklik için 100 KN (10 Ton)'luk kapasiteli 10 N hassasiyetli pres ile 0,01 mm hassasiyetli bir komparatör kullanılmıştır. 100 N yükleme yaparak komparatörden sehîm değêrleri okunarak hesaplar yapılmıştır. Ekteki tabloda eğilmede çekme gerilmesi altında sehîm değêrlerinin değışimleri gösterilmiştir.

Yine, ekler B2 tablosunda normal beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplar'daki değêrler kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir.

Ekteki tabloda yük diye gösterilen sütunda kirişe belirli aralıklarla uygulanan yüklerin değêrleri, Lo-L diye gösterilen sütunda ise komparatörden okunan sehîm değêrleri gösterilmiştir. Elastiklik Modülü içinse,

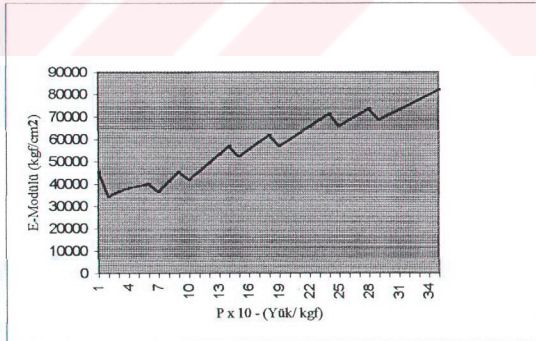
$$E = \frac{P \times L^3}{48 \times \Delta L \times I} \text{ bağıntısı ile hesaplanmıştır. } I = \frac{b \times h^3}{12} = 10^4 / 12 \text{ 'dir.} \quad (4.7)$$

Aşağıdaki grafikte uygulanan yük karşılığında komparatörden okunan sehîm değêrlerinin değışim eğrisi gösterilmiştir. Bu grafikte P (Yük) N olarak y ekseninde, $\Delta L = L_o - L$ (Sehîm) mm olarak x ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Normal beton kiriş numunede yük-sehîm değışim grafiğı

Aşağıdaki grafikte ise, normal betonda elastiklik modülünün değışken yük karşısındaki değışimi verilmiştir. Grafikteki, X ekseninde uygulanan değışken yük değêrleri 10 ile çarpılarak düşünöldüğünden $P \times 10$ kgf olarak gösterilmiş, Y ekseninde ise buna bağılı olarak değışen e-modülü değêrleri gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Normal beton kiriş numunede yük-elastiklik modülü değışim grafiğı

Hesaplardaki değerlerden faydalanarak ortalama elastik modülü bulmak için istatistiksel hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplara göre,

$$X = P \text{ (yük)}$$

$$Y = E\text{-Modülü değeri olarak düşünülmüştür.} \quad (5.1)$$

$$N = 35$$

$$\Sigma x = 6650 \quad \Sigma y = 1070066,601$$

$$\Sigma x^2 = 1620500 \quad \Sigma y^2 = 3,305697957.10^{10}$$

$$\Sigma xy = 198720155,3$$

$$\Sigma x/n = 190 \quad \Sigma y/n = 3057,33 \text{ N/mm}^2$$

Yani, Normal Beton Kiriş için Ortalama E-Modülü=3057,33 N/mm²

5.2.2.3. NBKN'nin Kırılan Parçaları Üzerinde Basınç Mukavemet Hesapları

Normal beton kiriş numunelerde eğilmede çekme deneyinden sonra her kirişin kırılan parçaları üzerinde TS 3287'ye uygun olarak basınç mukavemet deneyleri yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda bu deneyden elde edilen sonuçlar belirtilmiştir. Tabloda P (N) diye gösterilen kırıldığı yükü temsil etmektedir ve deney sırasında aşağıda belirtilen boyutlarda çelik plaka kullanılmıştır.

Tablo 5.4. NBKN'nin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemet deneyinin sonuçları

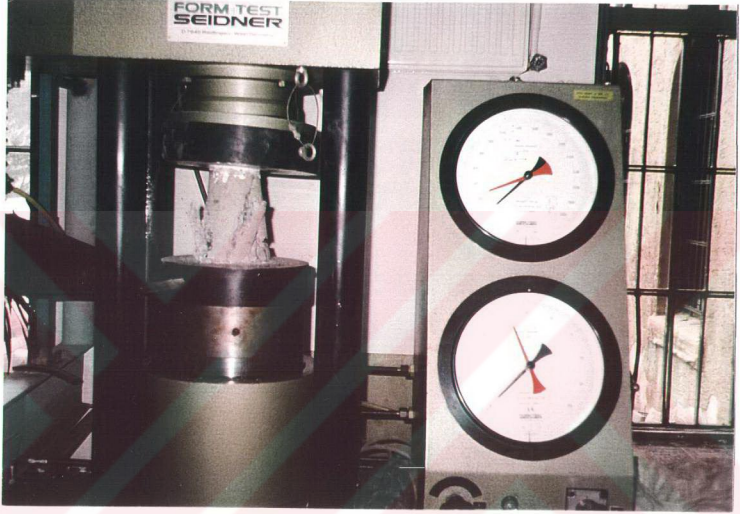
NB	Çelikplak.	1.parça	2.parça	1.parça	2.parça	Ortalama
Kirişler	axb (mm)	P (KN)	P (KN)	$\sigma_b(N/mm^2)$	$\sigma_b(N/mm^2)$	$\sigma_b(N/mm^2)$
NB-4	10,5x10,5	340	360	30,83	32,65	31,74
NB-5	10,5x10,5	310	350	28,10	31,74	29,92
Nb-6	10,5x10,5	410	390	37,18	35,37	36,27

5.2.3. Çelik Lif Takviyeli Beton (Hacimce %0,5-%1-%1,5 oranlarında) Silindir Numunelerde Karşılaştırmalı Yapılan Deney Sonuçları

Bu bölümde normal betondan farklı olarak aynı özellikteki karışıma, TS 10514 standardına uygun belirli oranlarda çelik lifler eklenerek elde edilen beton silindir numunelerde basınç mukavemet tayini, basınç gerilme-deformasyon deneyleri yapılmıştır [7]. Aşağıdaki bölümlerde de bu deneyler daha detaylı olarak anlatılmıştır.

5.2.3.1. ÇLTBSN’de (Çelik Lif Takviyeli Beton Silindir Numune) Basınç Mukavemet Hesapları

Hacimce %0,5-%1-%1,5 oranlarında lif takviyeli beton silindir numunelerde karşılaştırmalı olarak basınç mukavemet deneyleri yapılmıştır. Aşağıda lifli beton numunelerde basınç mukavemet tayini deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.7. Çelik lifli beton numunede basınç mukavemet tayini deney düzeneği

Aşağıdaki tabloda bu deneylerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.5. Farklı oranlardaki çelik lifli beton numunelerin karşılaştırmalı basınç mukavemeti deney sonuçları

ÇLB Silindirler	Örnek No	Yükseklik h (mm)	Çap d (mm)	Kırıl.Yükü P (KN)	Basınç Geril. σ_b (N/mm ²)	Ortalama σ_b (N/mm ²)
ÇLB-05	4	200	99,58	230	29,59	
	5	200	99,99	230	29,35	
	6	200	99,33	230	29,71	29,55
ÇLB-1	4	200	100,98	210	26,27	
	5	200	100,54	200	25,22	
	6	200	100,46	220	27,80	26,43
ÇLB-1,5	1	200	100,08	180	22,89	
	2	200	99,90	220	28,08	
	3	200	100,07	200	25,44	25,47

$\sigma_{basinç} = P / A$ bağıntısına göre değerler bulunmuştur.

(4.5)



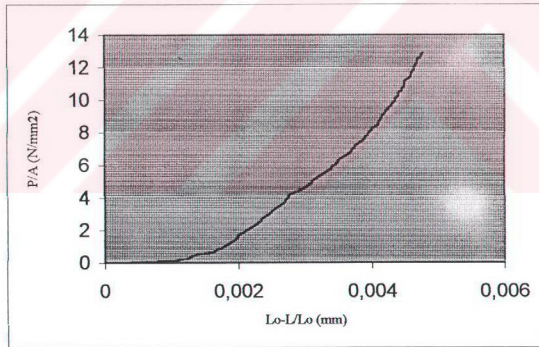
Şekil 5.8. Çelik lifli beton numunenin basınç mukavemet tayini deneyinden sonraki görünüşü

5.2.3.2. ÇLTBSN’de Elastiklik Modülü Tayini

Çelik lifli beton silindir numunelerde elastiklik için 100 KN’luk kapasiteli 10 N hassasiyetli pres ile 0,01 mm hassasiyetli bir komparatör kullanılmıştır. 1000’er N yükleme yaparak komparatörden deformasyon değerleri okunarak hesaplar yapılmıştır. Ekteki tabloda her bir çelik lifli beton numunesi için basınç gerilmesi altında deformasyon değerlerinin değişimleri gösterilmiştir.

Ek B.3’deki Hacimce %0,5 çelik lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerlerine göre hesaplar yapılmış, aşağıdaki grafik çizilmiştir. Bu grafikte, $\Delta L = L_o - L'$ ’dır ve X ekseninde deformasyon $\Delta L / L_o$ (mm) olarak, Y ekseninde ise basınç gerilmesi P/A (N/mm²) olarak gösterilmiştir.

Bu deformasyon deneyi en fazla 100 KN yüklemeye kadar yapıp, bu değere gelinceye kadarki deformasyon değerleri okunup kaydedilmiştir. Bu kaydedilen değerlere göre de çıkan grafik aşağıdaki gibidir. Bu grafikte çıkan eğriye teğet doğrunun bağıntısı ve e-modülü için de eğimi istatistiksel hesaplarla bulunmuştur.



Şekil 5.9. Hacimce %0,5 oranında çelik lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi

Bu eğriye teğet doğrunun eğimi için yapılan istatistik hesaplar, (5.1)

$$N = 43$$

$$\Sigma x = 0,1582$$

$$\Sigma y = 320,90927$$

$$\Sigma x^2 = 6,090588. 10^{-4}$$

$$\Sigma xy = 1,288230202$$

$$\Sigma y/n = 7,463006279$$

$$y_{\sigma n} = 3,193549702$$

(y'nin standart sapması)

$$y_{\sigma n} - 1 = 3,231344506$$

$$b = 3980,124168$$

(b = eğim = elastiklik modülü)

Teğet olan doğrunun bağıntısı,

$$Y = a + bx = - 7,180148217 + 3980,124168x$$

$$\Sigma y^2 = 2833,494564$$

$$\Sigma x/n = 0,003679069767$$

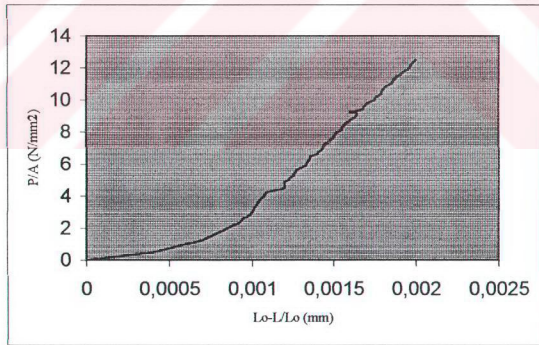
$$x_{\sigma n} = 7,928453732. 10^{-4} = x\text{'in standart sapması}$$

$$x_{\sigma n} - 1 = 8,022284853. 10^{-4}$$

$$a = - 7,180148217$$

$$r = 0,9881239766 \text{ (korelasyon katsayısı)}$$

Buna benzer olarak Hacimce %1 oranında çelik lifli beton için de aynı çalışmalar yapılmıştır. Ekteki B.5. tablosunda Hacimce %1 çelik lifli beton silindirik numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerlerine göre hesaplar yapılmış, aşağıdaki grafik çizilmiştir. Bu grafikte, $\Delta L = L_o - L$ 'dir ve X ekseninde deformasyon $\Delta L / L_o$ (mm) olarak, Y ekseninde ise basınç gerilmesi P/A (N/mm²) olarak gösterilmiştir. Bir öncekinde olduğu gibi kaydedilen değerlere göre de çıkan grafik aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.10. Hacimce %1 oranında çelik lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi

Bu eğriye teğet doğrunun eğimi için yapılan istatistik hesaplar,

$$N = 43$$

$$\Sigma x = 0,06222$$

$$\Sigma y = 312,06592$$

$$\Sigma x^2 = 9,47518. 10^{-5}$$

$$\Sigma y^2 = 2679,485161$$

$$\Sigma xy = 0,4957393744$$

$$\Sigma x/n = 0,001446976744$$

$$\Sigma y/n = 7,257346977$$

$$x\sigma n = 3,313435292. 10^{-4} = x\text{'in standart sapması}$$

$$y\sigma n = 3,105563276$$

$$x\sigma n -1 = 3,352648909. 10^{-4}$$

(y'nin standart sapması)

$$y\sigma n -1 = 3,142316784$$

$$a = -6,286219323$$

$$b = 9359,905993 \text{ N/mm}^2$$

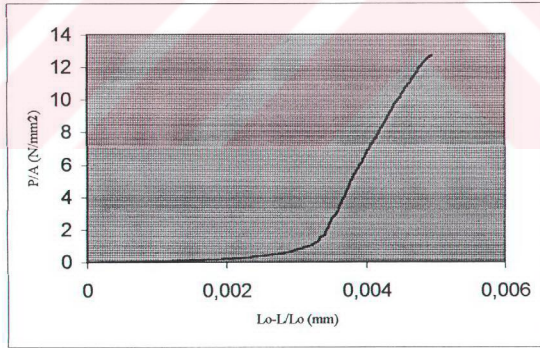
$$r = 0,9986414731 \text{ (korelasyon katsayısı)}$$

(b = eğim = elastiklik modülü)

Teğet olan doğrunun bağıntısı,

$$Y = a + bx = -6,2862 + 9359,90x$$

Son olarak Hacimce %1,5 oranında çelik lifler için de aynı çalışmalar yapılmıştır. Ekteki B.7. tablosunda hacimce %1,5 çelik lifli beton silindirik numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerlerine göre hesaplar yapılmış, aşağıdaki grafik çizilmiştir. Bu grafikte, $\Delta L = L_o - L$ 'dir ve X ekseninde deformasyon $\Delta L / L_o$ (mm) olarak, Y ekseninde ise basınç gerilmesi P/A (N/mm²) olarak gösterilmiştir. Bir öncekinde olduğu gibi kaydedilen değerlere göre de çıkan grafik aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.11. Hacimce %1,5 oranında çelik lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi

Bu eğriye teğet doğrunun eğimi için yapılan istatistik hesaplar,

$$N = 43$$

$$\Sigma x = 0,17726$$

$$\Sigma y = 317,20195$$

$$\Sigma x^2 = 7,387534 \cdot 10^{-4}$$

$$\Sigma y^2 = 2768,409637$$

$$\Sigma xy = 1,366117839$$

$$\Sigma x/n = 0,004122325581$$

$$\Sigma y/n = 7,376789535$$

$$x\sigma_n = 4,321382058 \cdot 10^{-4} = x' \text{ in standart sapması}$$

$$y\sigma_n = 3,156674771$$

$$x\sigma_n - 1 = 4,372524454 \cdot 10^{-4}$$

(y'nin standart sapması)

$$y\sigma_n - 1 = 3,19403317$$

$$a = -22,65939027$$

$$b = 7286,222113 \text{ N/mm}^2$$

$$r = 0,9974594087 \text{ (korelasyon katsayısı)}$$

(b = eğim = elastiklik modülü)

Teğet olan doğrunun bağıntısı,

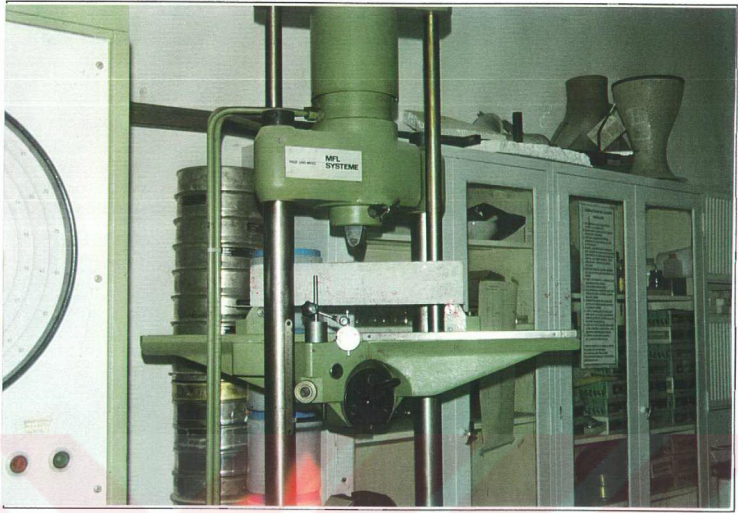
$$Y = a + bx = -22,6593 + 7286,222 x$$

5.2.4. Çelik Lif Takviyeli Beton (Hacimce %0,5-%1-%1,5 oranlarında) Kiriş Numunelerde Karşılaştırmalı Yapılan Deney Sonuçları

Bu bölümde hacimce %0,5-%1-%1,5 oranlarında çelik lifli beton kirişlerde öncelikle eğilmede çekme mukavemet tayini deneyi, ikinci olarak eğilmede çekme deneyinden çıkan deney numunesi parçaları üzerinde basınç dayanımı deney ve son olarak da kirişlerde elastiklik modülü tayini deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları aşağıdaki gibidir.

5.2.4.1. ÇLBKN (Çelik Lifli Beton Kiriş Numune)'de Eğilmede Çekme Mukavemeti Hesapları

Eğilmede çekme deneyinde mesnet aralığı 45 cm olarak alınmıştır. Aşağıda çelik lifli beton numunede eğilmede çekme mukavemeti deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.12. Çelik lifli beton numune eğilmede çekme mukavemeti deney düzeneği

Tablo 5.6. Farklı oranlardaki çelik lifli beton numunelerin karşılaştırılmalı eğilmede çekme mukavemeti deney sonuçları

ÇLB Silindirler	Örn No	Yükseklik h (mm)	Genişlik d (mm)	Uzunluk L (mm)	Kırl. Yük P (N)	$\sigma_{çğç}$ (N/mm ²)	Ort. $\sigma_{çğç}$ (N/mm ²)
ÇLB-05	1	99,91	101,16	500	6500	4,348	
	2	100,42	101,36	500	4800	3,172	
	3	100,38	101,07	500	4550	3,020	3,510
ÇLB-1	1	100,67	101,12	500	9700	6,397	
	2	100,18	102,1	500	4300	2,830	
	3	100,37	101,32	500	5000	3,31	4,179
ÇLB-1,5	5	99,95	102,7	500	5150	3,39	
	6	100,22	102,48	500	9160	6,014	
	7	101,04	103,95	500	6100	3,88	4,42

$\sigma_{çğç} = 3/2 \times (P \times L)/(b \times h^2)$ bağıntısına göre hesaplanmıştır.

(4.6)

5.2.4.2. ÇLBKN’de Elastiklik Modülü Tayini

Çelik lifli kiriş numunelerde elastiklik için 100 KN (10 Ton) ’luk kapasiteli 10 N hassasiyetli pres ile 0,01 mm hassasiyetli bir komparatör kullanılmıştır. 100’er N (10 kg) yükleme yaparak komparatörden sehim değerleri okunarak hesaplar yapılmıştır. Ekteki B.4. tablosunda eğilmede çekme gerilmesi altında sehim değerlerinin değişimleri gösterilmiştir.

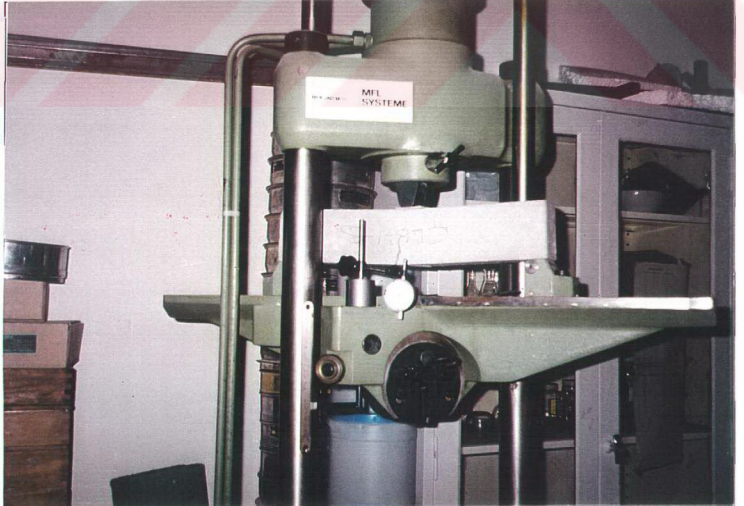
Yine, ekteki B.4. tablosunda hacimce % 0,5 Çelik lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplar’daki değerler kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir.

Ekteki tabloda yük diye gösterilen sütunda kirişe belirli aralıklarla uygulanan yüklerin değerleri, LO-L diye gösterilen sütunda ise komparatörden okunan sehim değerleri gösterilmiştir. Elastiklik Modülü içinse,

$E = \frac{PxL^3}{48x\Delta LxI}$ bağıntısı ile hesaplanmıştır.

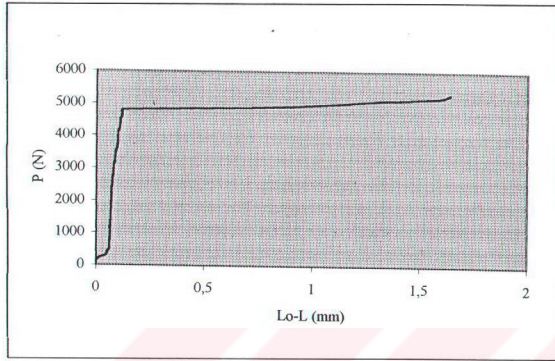
$$I = \text{Atalet momenti} = \frac{bxh^3}{12} = 10^4 / 12 \text{ dir.} \quad (4.7)$$

Aşağıda çelik lifli beton numunede e-modülü tayini deney düzeneği görülmektedir.



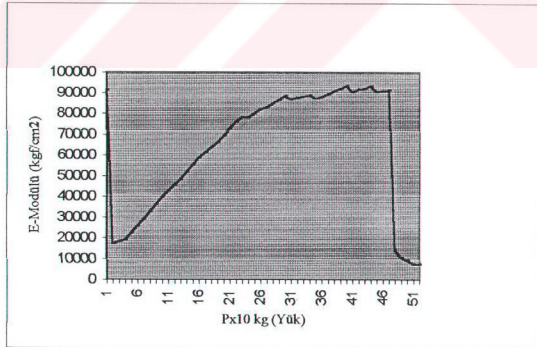
Şekil 5.13. Çelik lifli beton numunede e-modülü tayini deney düzeneği

Aşağıdaki grafikte uygulanan yük karşılığında komparatörden okunan sehim değerlerinin değişim eğrisi gösterilmiştir. Bu grafikte P (Yük) N olarak y ekseninde, $\Delta L = L_o - L$ (Sehim) mm olarak x ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Hacimce %0,5 oranında çelik lifli beton numunede yük- sehim değişim grafiği

Aşağıdaki grafikte ise, %0,5 çelik lifli betonda elastiklik modülünün değişken yük karşısındaki değişimi verilmiştir. Grafikteki, X ekseninde uygulanan değişken yük değerleri 10 ile çarpılarak düşünüldüğünden $P \times 10$ kgf olarak gösterilmiş, Y ekseninde ise buna bağlı olarak değişen e-modülü değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Hacimce %0,5 oranında çelik lifli beton numunede yük- elastiklik modülü değişim grafiği

Ek B.4.'deki % 0,5 çelik lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplardaki değerlerden faydalanarak ortalama elastiklik modülü bulmak için istatistiksel hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplara göre,

$$X = P \text{ (yük) kgf değerleri} \quad (5.1)$$

$$Y = E\text{-Modülü.}$$

$$N = 52$$

$$\Sigma x = 14300 \quad \Sigma y = 3281343,591$$

$$\Sigma x^2 = 5103800 \quad \Sigma y^2 = 2,516305284.10^{11}$$

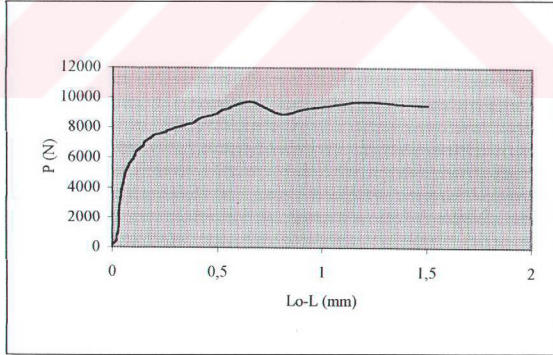
$$\Sigma xy = 969365153,9$$

$$\Sigma x/n = 275 \quad \Sigma y/n = 6310,27$$

Yani, % 0,5 Çelik lifli Beton Kiriş için Ortalama E-Modülü=6310,27 N/mm²

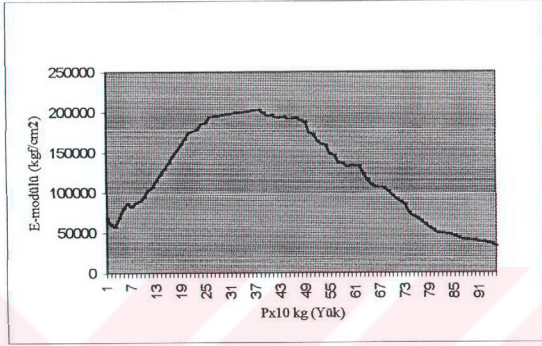
Yine, ekler B.6. 'daki hacimce % 1 Çelik lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplar'daki değerler kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir.

Aşağıdaki grafikte uygulanan yük karşılığında komparatörden okunan sehim değerlerinin değişim eğrisi gösterilmiştir. Bu grafikte P (Yük) N olarak y ekseninde, $\Delta L = L_o - L$ (Sehim) mm olarak x ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Hacimce %1 oranında çelik lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği

Yine, aşağıdaki grafikte ise, %1 çelik lifli betonda elastiklik modülünün değişken yük karşısındaki değişimi verilmiştir. Grafikteki, X ekseninde uygulanan değişken yük değerleri 10 ile çarpılarak düşünüldüğünden Px10 kgf olarak gösterilmiş, Y ekseninde ise buna bağlı olarak değişen e-modülü değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Hacimce %1 oranında çelik lifli beton numunede yük- elastiklik modülü değişim grafiği

Ekler B.6.'daki % 1 çelik lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplardaki değerlerden faydalanarak ortalama elastiklik modülü bulmak için istatistiksel hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplara göre,

$$X = P \text{ (yük) kgf değerleri} \quad (5.1)$$

$$Y = E\text{-Modülü.}$$

$$N = 95$$

$$\Sigma x = 47500 \quad \Sigma y = 11849628,84$$

$$\Sigma x^2 = 30894000 \quad \Sigma y^2 = 1,790368061.10^{12}$$

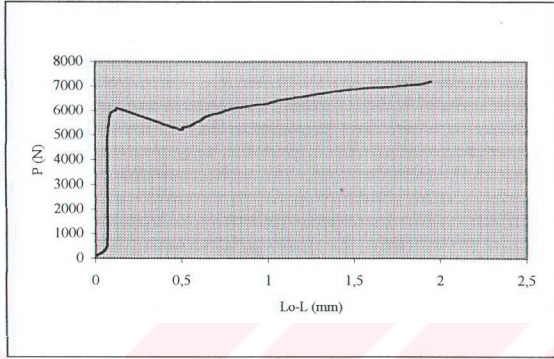
$$\Sigma xy = 5198478862$$

$$\Sigma x/n = 500 \quad \Sigma y/n = 12473,29N/mm^2$$

Yani, % 1 Çelik lifli Beton Kiriş için Ortalama E-Modülü=12473,29/mm² dir.

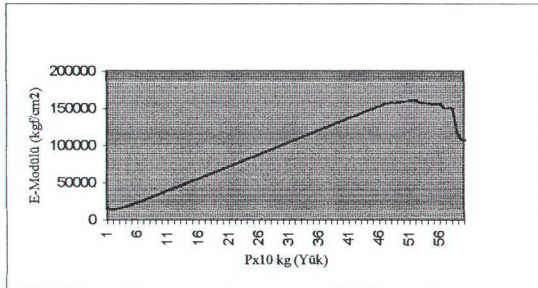
Son olarak, ekteki B.8.'de hacimce % 1,5 Çelik lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplar'daki değerler kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir.

Aşağıdaki grafikte uygulanan yük karşılığında komparatörden okunan sehim değerlerinin değişim eğrisi gösterilmiştir. Bu grafikte P (Yük) N olarak y ekseninde, $\Delta L = L_o - L$ (Sehim) mm olarak x ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Hacimce %1,5 oranında çelik lifli beton numune yük- sehim değişim grafiği

Ve son olarak, aşağıdaki grafikte ise, %1,5 çelik lifli betonda elastiklik modülünün değişken yük karşısındaki değişimi verilmiştir. Grafikteki, X ekseninde uygulanan değişken yük değerleri 10 ile çarpılarak düşünüldüğünden Px10 kgf olarak gösterilmiş, Y ekseninde ise buna bağlı olarak değişen e-modülü değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Hacimce %1,5 oranında çelik lifli beton numune yük-elastiklik modülü değişim grafiği

Ekler B 8.'deki % 1,5 çelik lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplardaki değerlerden faydalanarak ortalama elastiklik modülü bulmak için istatistiksel hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplara göre,

$$X = P \text{ (yük) kgf değerleri} \quad (5.1)$$

$$Y = E\text{-Modülü.}$$

$$N = 60$$

$$\Sigma x = 18900 \quad \Sigma y = 5783221,56$$

$$\Sigma x^2 = 7753000 \quad \Sigma y^2 = 6,97101101.10^{11}$$

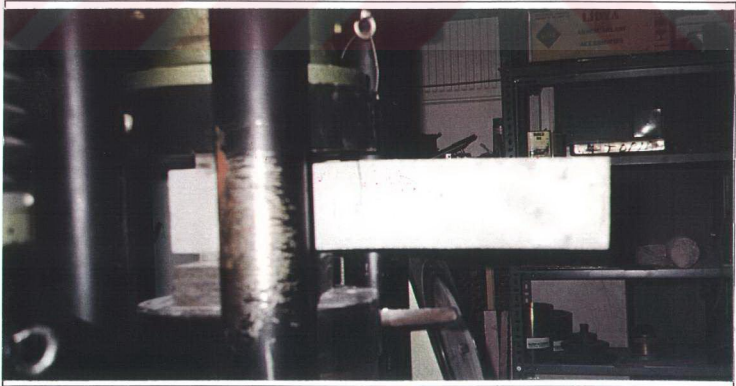
$$\Sigma xy = 2300179514$$

$$\Sigma x/n = 315 \quad \Sigma y/n = 9638,70 \text{ N/mm}^2$$

Yani, % 1,5 Çelik lifli Beton Kiriş için Ortalama E-Modülü=9638,70 N/mm² dir.

5.2.4.3. ÇLBKN'nin Kırılan Parçaları Üzerinde Basınç Mukavemet Hesapları

Hacimce %0,5-%1-%1,5 oranında çelik lifli kiriş numunelerde eğilmede çekme deneyinden sonra her kirişin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemet deneyleri yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda bu deneyden elde edilen sonuçlar belirtilmiştir. Tabloda P (N) diye gösterilen kırıldığı yükü temsil etmektedir ve deney sırasında aşağıda belirtilen boyutlarda çelik plaka kullanılmıştır. Aşağıda çelik lifli beton kiriş numunenin kırılan parçaları üzerinde basınç muk. tayini deney düzeneği verilmektedir.



Şekil 5.20. Çelik lifli beton numunenin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemeti tayini deney düzeneği

Tablo 5.7. Farklı oranlardaki çelik lifli beton kiriş numunelerin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemeti deney sonuçları

ÇLB Kirişler	Çelikplak. axb (mm)	1.parça P (KN)	2.parça P (KN)	1.parça $\sigma_b(N/mm^2)$	2.parça $\sigma_b(N/mm^2)$	Ortalama $\sigma_b(N/mm^2)$
ÇLB-05	10,5x10,5	440	350	39,90	31,74	35,82
	10,5x10,5	330	430	29,93	39,00	34,46
	10,5x10,5	440	440	39,90	39,90	39,90
ÇLB-1	10,5x10,5	390	490	35,37	44,44	39,90
	10,5x10,5	380	380	34,46	34,46	34,46
	10,5x10,5	420	380	38,09	34,46	36,27
ÇLB-1,5	10,5x10,5	360	370	32,65	33,56	33,10
	10,5x10,5	430	430	39,00	39,00	39,00
	10,5x10,5	360	380	32,65	34,46	33,55

5.2.5. Polipropilen Lifi Takviyeli Beton (Hacimce %0,06-%0,08-%0,09) Silindir Numunelerde Karşılaştırmalı Yapılan Deney Sonuçları

Bu bölümde normal betondan farklı olarak çelik lif yerine aynı özellikteki karışıma, tavsiye edilen oranlara uygun olarak polipropilen lifler eklenerek elde edilen beton silindir numunelerde basınç mukavemet tayini, basınç gerilme-deformasyon deneyleri yapılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde de bu deneyler daha detaylı olarak anlatılmıştır.

5.2.5.1. PLBSN'de (Polipropilen Lif Takviyeli Beton Silindir Numune) Basınç Mukavemet Hesapları

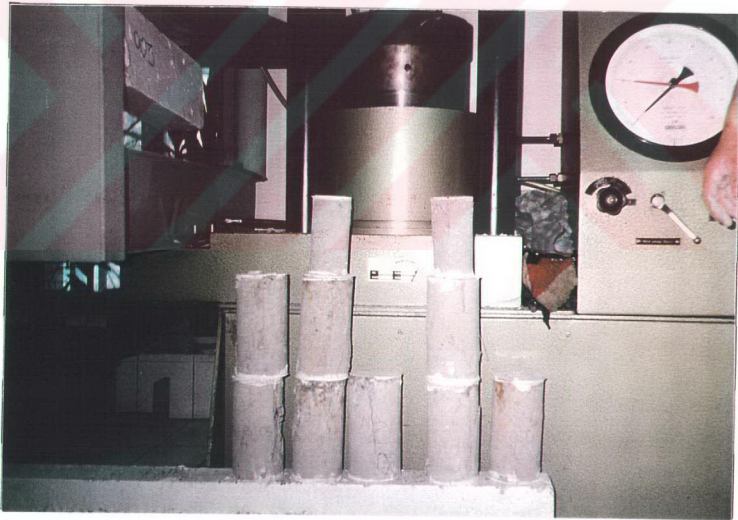
Hacimce %0,06-%0,08-%0,09 oranlarında lif takviyeli beton silindir numunelerde karşılaştırmalı olarak basınç mukavemet deneyleri yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda bu deneylerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.8. Farklı oranlardaki polipropilen lifli beton numunelerinin karşılaştırmalı basınç mukavemeti deney sonuçları

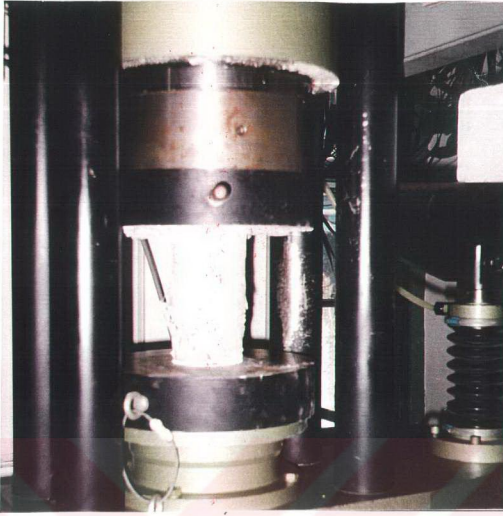
PLB Silindirler	Örnek No	Yükseklik h (mm)	Çap D (mm)	Kırl.Yükü P (KN)	Basınç Geril. σ_b (N/mm ²)	Ortalama σ_b (N/mm ²)
PLB-0,06	4	200	100,28	240	30,40	
	5	200	100,62	240	30,19	
	6	200	99,72	250	32,02	30,87
PLB-0,08	4	200	99,67	230	29,49	
	5	200	99,31	220	28,41	
	6	200	99,62	230	29,52	29,14
PLB-0,09	1	200	99,98	220	28,03	
	2	200	100,21	220	27,90	
	3	200	99,85	210	26,83	27,58

$\sigma_{basinç} = P / A$ bağıntısına göre değerler bulunmuştur.

(4.5)



Şekil 5.21. Beton silindir numunelerin basınç deneyinden çıkmış görüntüleri



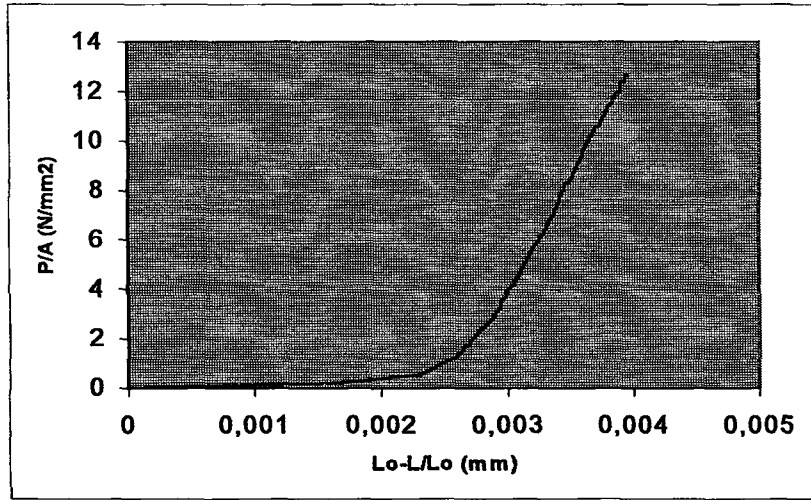
Şekil 5.22. Polipropilen lifli beton numunenin basınç mukavemet tayini deneyinden sonraki görünüşü

5.2.5.2. PLBSN'de Elastiklik Modülü Tayini

Polipropilen Lifli beton silindir numunelerde elastiklik için 100 KN (10 Ton) kapasiteli 10 N hassasiyetli pres ile 0,01 mm hassasiyetli bir komparatör kullanılmıştır. 1000'er N (100 kg) yükleme yaparak komparatörden deformasyon değerleri okunarak hesaplar yapılmıştır.

Ek B.9'daki hacimce %0,06 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerlerine göre hesaplar yapılmış, aşağıdaki grafik çizilmiştir. Bu grafikte, $\Delta L = L_o - L$ 'dir ve X ekseninde deformasyon $\Delta L / L_o$ (mm) olarak, Y ekseninde ise basınç gerilmesi P/A (N/mm²) olarak gösterilmiştir.

Bu deformasyon deneyi en fazla 100 KN yüklemeye kadar yapıлып, bu değere gelinceye kadarki deformasyon değerleri okunup kaydedilmiştir. Bu kaydedilen değerlere göre de çıkan grafik aşağıdaki gibidir. Bu grafikte çıkan eğriye teğet doğrunun bağıntısı ve e-modülü için de eğimi istatistiksel hesaplarla bulunmuştur.



Şekil 5.23. Hacimce %0,06 oranında polipropilen lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi

Bu eğriye teğet doğrunun eğimi için yapılan istatistik hesaplar,

$$N = 43 \quad (5.1)$$

$$\Sigma x = 0,1451$$

$$\Sigma y = 315,93437$$

$$\Sigma x^2 = 4,946738 \cdot 10^{-4}$$

$$\Sigma y^2 = 2746,335469$$

$$\Sigma xy = 1,112337674$$

$$\Sigma x/n = 0,003374418605$$

$$\Sigma y/n = 7,34731093$$

$$x_{\sigma n} = 3,425506402 \cdot 10^{-4} = x' \text{ in standart sapması}$$

$$y_{\sigma n} = 3,144087914$$

$$x_{\sigma n} - 1 = 3,46604635 \cdot 10^{-4}$$

(y'nin standart sapması)

$$y_{\sigma n} - 1 = 3,18129735$$

$$a = -23,57882078$$

$$b = 9164,877074 \text{ N/mm}^2$$

$$r = 0,9985199 \text{ (korelasyon katsayısı)}$$

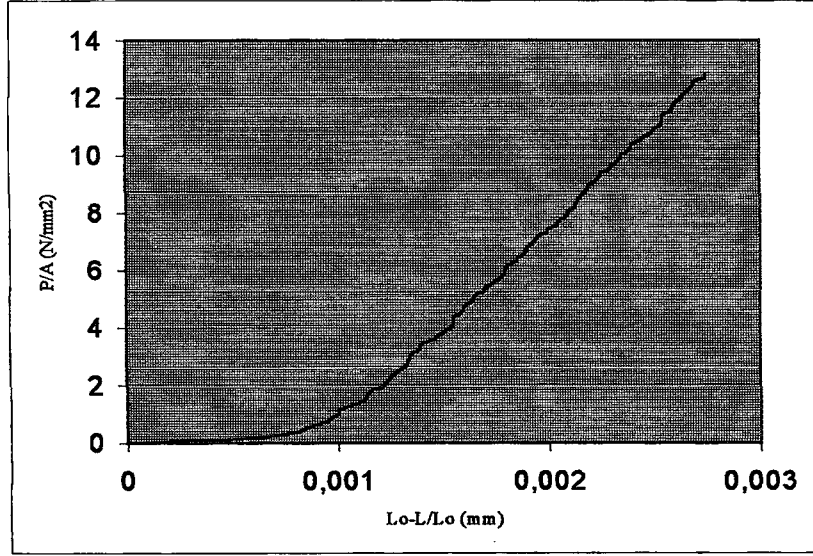
(b = eğim = elastiklik modülü)

Teğet olan doğrunun bağıntısı,

$$Y = a + bx = -235788 + 9164,877x$$

Buna benzer olarak Hacimce %0,08 oranında polipropilen lifler için de aynı çalışmalar yapılmıştır. Ek B.11'deki hacimce %0,08 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerlerine göre hesaplar yapılmış, aşağıdaki grafik çizilmiştir. Bu grafikte, $\Delta L = L_0 - L$ 'dir ve X ekseninde deformasyon $\Delta L / L_0$ (mm) olarak, Y ekseninde ise basınç gerilmesi P/A (N/mm²) olarak gösterilmiştir.

Bir öncekinde olduğu gibi kaydedilen değerlere göre de çıkan grafik aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.24. Hacimce %0,08 oranında polipropilen lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi

Bu eğriye teğet doğrunun eğimi için yapılan istatistik hesaplar,

$$N = 43 \quad (5.1)$$

$$\Sigma x = 0,08727$$

$$\Sigma y = 323,66168$$

$$\Sigma x^2 = 1,821743 \cdot 10^{-4}$$

$$\Sigma y^2 = 2829,003148$$

$$\Sigma xy = 0,7057261436$$

$$\Sigma x/n = 0,001983409091$$

$$\Sigma y/n = 7,355947273$$

$$x_{\sigma n} = 4,54327390 \cdot 10^{-4} = x\text{'in standart sapması}$$

$$y_{\sigma n} = 3,191483325$$

$$x_{\sigma n} - 1 = 4,595799052 \cdot 10^{-4}$$

(y'nin standart sapması)

$$y_{\sigma n} - 1 = 3,228380312$$

$$a = -6,571004638$$

$$b = 7021,72435 \text{ N/mm}^2$$

$$r = 0,9995858912 \text{ (korelasyon katsayısı)}$$

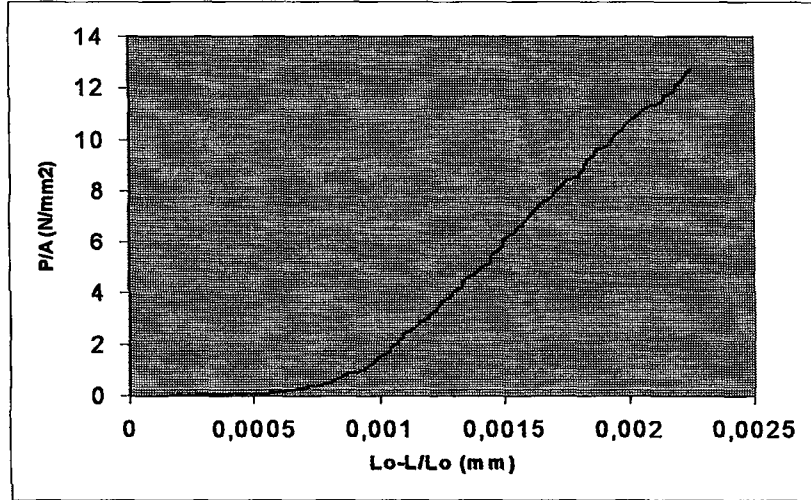
(b = eğim = elastiklik modülü)

Teğet olan doğrunun bağıntısı,

$$Y = a + bx = -6,571004 + 7021,72435x$$

Son olarak Hacimce %0,09 oranında polipropilen lifler için de aynı çalışmalar yapılmıştır. Ek B.13'deki hacimce %0,09 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerlerine göre hesaplar

yapılmış, aşağıdaki grafik çizilmiştir. Bu grafikte, $\Delta L = L_0 - L$ 'dir ve X ekseninde deformasyon $\Delta L / L_0$ (mm) olarak, Y ekseninde ise basınç gerilmesi P/A (N/mm^2) olarak gösterilmiştir. Bir öncekinde olduğu gibi kaydedilen değerlere göre de çıkan grafik aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.25. Hacimce %0,09 oranında polipropilen lifli beton numunede gerilme-deformasyon eğrisi

Bu eğriye teğet doğrunun eğimi için yapılan istatistik hesaplar,

$$N = 43$$

$$(5.1)$$

$$\Sigma x = 0,07129$$

$$\Sigma y = 317,83422$$

$$\Sigma x^2 = 1,233201 \cdot 10^{-4}$$

$$\Sigma y^2 = 2779,457444$$

$$\Sigma xy = 0,5738755878$$

$$\Sigma x/n = 0,001657906977$$

$$\Sigma y/n = 7,391493488$$

$$x_{\sigma n} = 3,453313754 \cdot 10^{-4} = x' \text{ in standart sapması}$$

$$y_{\sigma n} = 3,162968417$$

$$x_{\sigma n} - 1 = 3,494182795 \cdot 10^{-4}$$

(y'nin standart sapması)

$$y_{\sigma n} - 1 = 3,200401299$$

$$a = -7,783407271$$

$$b = 9153,047168 \text{ N/mm}^2$$

$$r = 0,9993253015 \text{ (korelasyon katsayısı)}$$

(b = eğim = elastiklik modülü)

Teğet olan doğrunun bağıntısı,

$$Y = a + bx = -7,7834072 + 9153,0471x$$

5.2.6. Polipropilen Lifi Takviyeli Beton (Hacimce %0,06-%0,08-%0,09) Kiriş Numunelerde Karşılaştırmalı Yapılan Deney Sonuçları

Bu bölümde hacimce %0,06-%0,08-%0,09 oranlarında lif takviyeli beton kiriş numunelerde öncelikle eğilmede çekme mukavemet tayini deneyi, ikinci olarak eğilmede çekme deneyinden çıkan deney numunesi parçaları üzerinde basınç mukavemet tayini deneyleri ve son olarak da kirişlerde elastiklik modülü tayini deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları aşağıdaki gibidir.

5.2.6.1. PLBKN (Polipropilen Lifli Beton Kiriş Numune)'de Eğilmede Çekme Mukavemeti Hesapları

Eğilmede çekme deneyinde mesnet aralığı 45 cm olarak alınmıştır.

Tablo 5.9. Farklı oranlardaki polipropilen lifli beton numunelerin karşılaştırmalı eğilmede çekme mukavemeti deney sonuçları

PLB Silindirler	Örn. No	Yükseklik h (mm)	Genişlik d (mm)	Uzunluk L (mm)	Kırl. Yük P (N)	$\sigma_{eğç}$ (N/mm ²)	Ort. $\sigma_{eğç}$ (N/mm ²)
PLB-0,06	1	100,49	101,87	500	4830	3,16	
	2	99,83	101,95	500	6210	4,12	
	3	100,68	101,59	500	3970	2,60	3,29
PLB-0,08	1	100,78	101,68	500	5920	3,86	
	2	100,18	101,14	500	4800	3,19	
	3	100,17	101,60	500	5180	3,42	3,49
PLB-0,09	5	100,32	100,76	500	4375	2,91	
	6	100,34	100,82	500	5350	3,55	
	7	100,66	102,64	500	5660	3,67	3,37

$\sigma_{eğç} = 3/2 \times (P \times L) / (b \times h^2)$ bağıntısına göre hesaplanmıştır. (4.6)

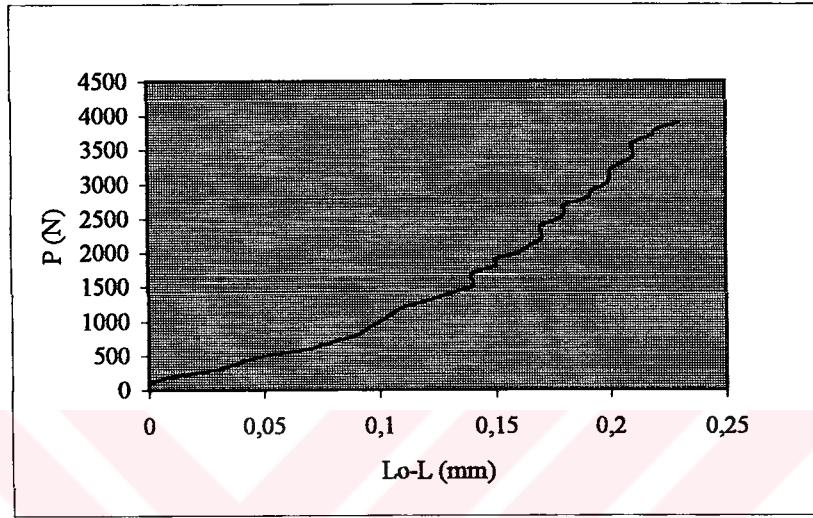
5.2.6.2. PLBKN'de Elastiklik Modülü Tayini

Polipropilen lifli beton kiriş numunelerde elastiklik için 100 KN (10 Ton)'luk kapasiteli 10 N hassasiyetli pres ile 0,01 mm hassasiyetli bir komparatör kullanılmıştır. 100'er N (10 kg) yükleme yaparak komparatörden sehim değerleri okunarak hesaplar yapılmıştır.

Ek B.10'daki % 0,06 Polipropilen lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplar'daki değerler kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir.

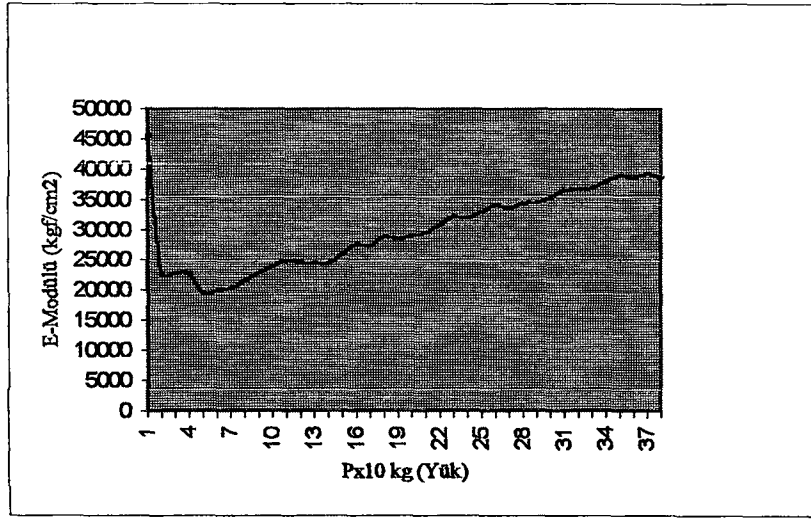
Ekteki tabloda yük diye gösterilen sütunda kirişe belirli aralıklarla uygulanan yüklerin değerleri, Lo-L diye gösterilen sütunda ise komparatörden okunan sehim değerleri gösterilmiştir.

Aşağıdaki grafikte uygulanan yük karşılığında komparatörden okunan sehim değerlerinin değişim eğrisi gösterilmiştir. Bu grafikte P (Yük) N olarak y ekseninde, $\Delta L = L_o - L$ (Sehim) mm olarak x ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 5.26.Hacimce % 0,06 oranında polipropilen lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği

Aşağıdaki grafikte ise, % 0,06 polipropilen lifli betonda elastiklik modülünün değişken yük karşısındaki değişimi verilmiştir. Grafikteki, X ekseninde uygulanan değişken yük değerleri 10 ile çarpılarak düşünüldüğünden $P \times 10$ kgf olarak gösterilmiş, Y ekseninde ise buna bağlı olarak değişen e-modülü değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Hacimce % 0,06 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik Modülü değişim grafiği

Tablo B.10'daki % 0,06 Polipropilen lifli kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplardaki değerlerden faydalanarak ortalama elastik modülü bulmak için istatistiksel hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplara göre,

$$X = P \text{ (yük) kgf değerleri} \quad (5.1)$$

$$Y = E\text{-Modülü} .$$

$$N = 38$$

$$\Sigma x = 7790 \quad \Sigma y = 1140704,88$$

$$\Sigma x^2 = 2053900 \quad \Sigma y^2 = 3,588855569.10^{10}$$

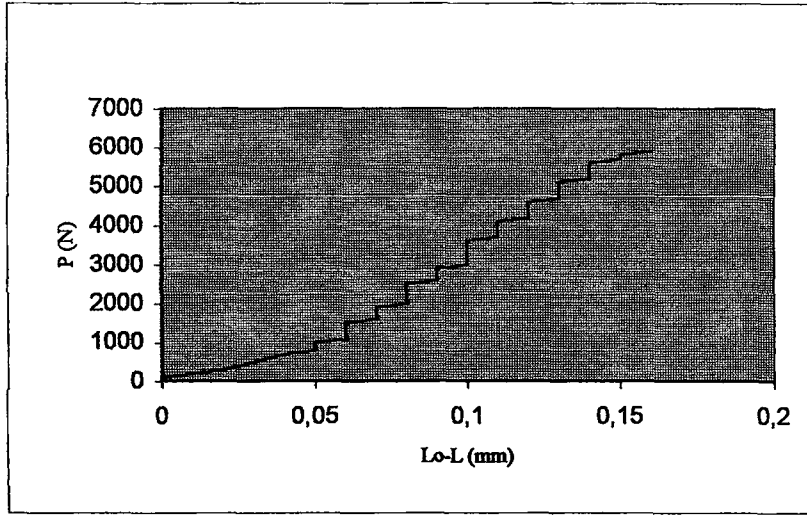
$$\Sigma xy = 254754663,4$$

$$\Sigma x/n = 205 \quad \Sigma y/n = 3001,8549 \text{ N/mm}^2$$

Yani, % 0,06 Polipropilen lifli Beton Kiriş için Ortalama E-Modülü=3001,854 N/mm²'dir.

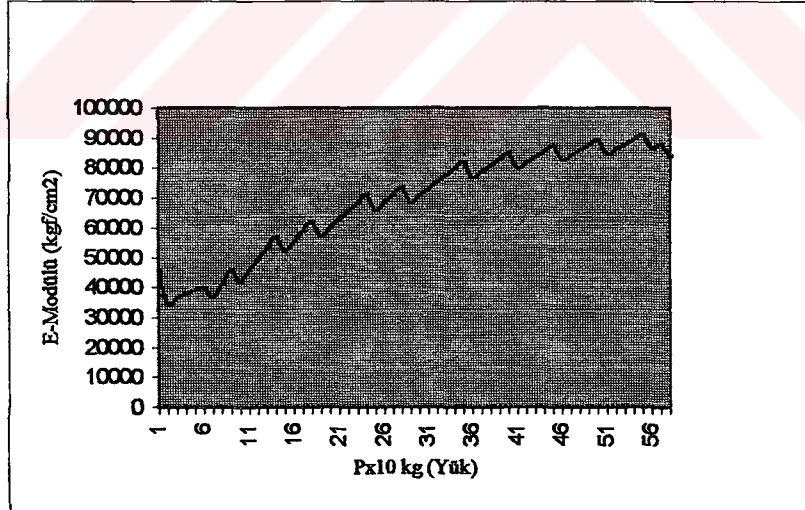
Ekteki Tablo B.12. % 0,08 Polipropilen lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplar'daki değerler kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir.

Aşağıdaki grafikte uygulanan yük karşılığında komparatörden okunan sehim değerlerinin değişim eğrisi gösterilmiştir. Bu grafikte P (Yük) N olarak y ekseninde, $\Delta L = L_0 - L$ (Sehim) mm olarak x ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 5.28. Hacimce % 0,08 oranında polipropilen lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği

Aşağıdaki grafikte ise, % 0,08 polipropilen lifli betonda elastiklik modülünün değişken yük karşısındaki değişimi verilmiştir. Grafikteki, X ekseninde uygulanan değişken yük değerleri 10 ile çarpılarak düşünüldüğünden $P \times 10$ kgf olarak gösterilmiş, Y ekseninde ise buna bağlı olarak değişen e-modülü değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.29. Hacimce % 0,08 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği

Ek tablo B.12.'deki % 0,08 Polipropilen lifli kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplardaki değerlerden faydalanarak ortalama elastiklik modülü bulmak için istatistiksel hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplara göre,

$$X = P \text{ (yük) kgf değerleri} \quad (5.1)$$

$$Y = E\text{-Modülü}$$

$$N = 58$$

$$\Sigma x = 17690 \quad \Sigma y = 3968679,38$$

$$\Sigma x^2 = 7020900 \quad \Sigma y^2 = 2,888883406.10^{11}$$

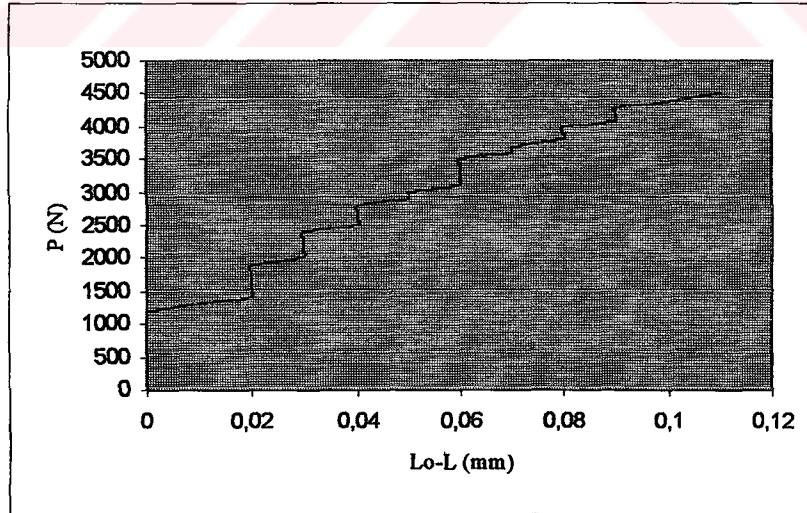
$$\Sigma xy = 1371704743$$

$$\Sigma x/n = 305 \quad \Sigma y/n = 6842,550 \text{ N/mm}^2$$

Yani, % 0,08 Polipropilen lifli Beton Kiriş için Ortalama E-Modülü=6842,550 N/mm²'dir.

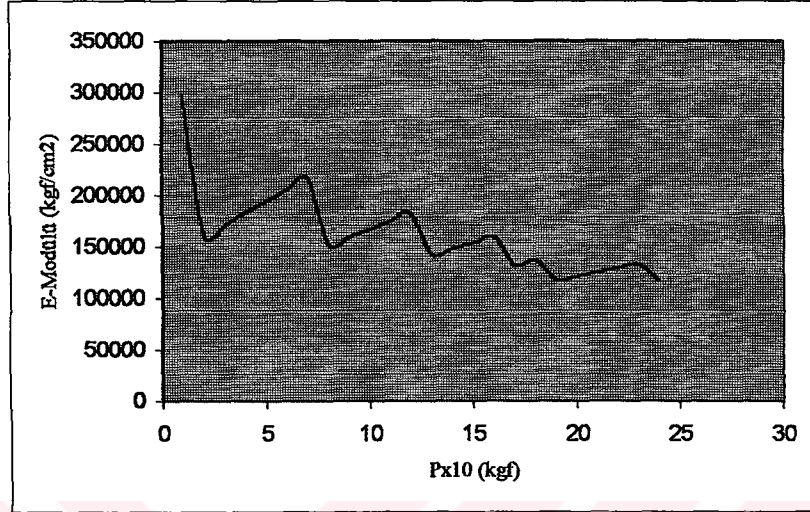
Ekteki tablo B.14. % 0,09 Polipropilen lifli beton kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplar'daki değerler kullanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir.

Aşağıdaki grafikte uygulanan yük karşılığında komparatörden okunan sehim değerlerinin değişim eğrisi gösterilmiştir. Bu grafikte P (Yük) N olarak y ekseninde, $\Delta L = L_o - L$ (Sehim) mm olarak x ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 5.30. Hacimce % 0,09 oranında çelik lifli beton numunede yük-sehim değişim grafiği

Son olarak aşağıdaki grafikte ise, % 0,09 polipropilen lifli betonda elastiklik modülünün değişken yük karşısındaki değişimi verilmiştir. Grafikteki, X ekseninde uygulanan değişken yük değerleri 10 ile çarpılarak düşünüldüğünden Px10 kgf olarak gösterilmiş, Y ekseninde ise buna bağlı olarak değişen e-modülü değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.31. Hacimce % 0,09 oranında çelik lifli beton numunede yük-elastiklik modülü değişim grafiği

Ek tablo B.14'deki % 0,09 Polipropilen lifli kiriş numunelerde elastiklik modülü için yapılan hesaplardaki değerlerden faydalanarak ortalama elastiklik modülü bulmak için istatistiksel hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplara göre,

$$X = P \text{ (yük) kgf değerleri} \quad (5.1)$$

$$Y = E\text{-Modülü.}$$

$$N = 33$$

$$\Sigma x = 9570 \quad \Sigma y = 4841269,57$$

$$\Sigma x^2 = 3074500 \quad \Sigma y^2 = 7,66002772.10^{11}$$

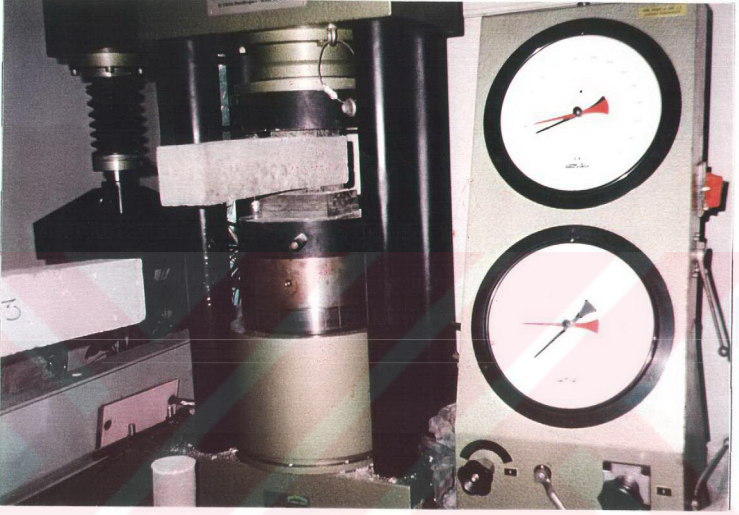
$$\Sigma xy = 1294571661$$

$$\Sigma x/n = 290 \quad \Sigma y/n = 14670,5138 \text{ N/mm}^2$$

Yani, % 0,09 Polipropilen lifli Beton Kiriş için Ortalama E-Modülü=14670,513 N/mm² dir.

5.2.6.3. PLBKN'nin Kırılan Parçaları Üzerinde Basınç Mukavemet Hesapları

Hacimce %0,06-%0,08-%0,09 oranında polipropilen lifli kiriş numunelerde eğilmede çekme deneyinden sonra her kirişin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemet deneyleri yapılmıştır.



Şekil 5.32. Polipropilen lifli beton kiriş numunenin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemet tayini deney düzeneği.

Aşağıdaki tabloda bu deneyden elde edilen sonuçlar belirtilmiştir. Tabloda P (N) diye gösterilen kırıldığı yükü temsil etmektedir ve deney sırasında aşağıda belirtilen boyutlarda çelik plaka kullanılmıştır.

Tablo 5.10. Farklı oranlardaki polipropilen lifli beton kiriş numunelerin kırılan parçaları üzerinde basınç mukavemeti deney sonuçları

PLB Kirişler	Çelikplak. axb (mm)	1.parça P (KN)	2.parça P (KN)	1.parça $\sigma_b(N/mm^2)$	2.parça $\sigma_b(N/mm^2)$	Ortalama $\sigma_b(N/mm^2)$
PLB-0,06	10,5x10,5	270	190	24,48	17,23	20,85
	10,5x10,5	390	360	35,37	32,65	34,01
	10,5x10,5	440	480	39,90	43,53	41,71
PLB-0,08	10,5x10,5	320	320	29,02	29,02	29,02
	10,5x10,5	410	390	37,18	35,37	36,27
	10,5x10,5	310	320	28,11	29,02	28,56
PLB-0,09	10,5x10,5	290	210	26,30	19,04	22,67
	10,5x10,5	400	360	36,28	32,65	34,46
	10,5x10,5	420	440	38,09	39,90	38,99

5.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

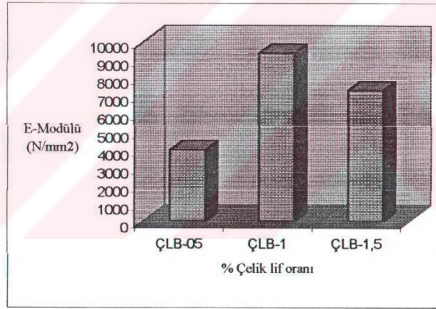
Bu bölümde, ilk olarak çelik lifli betonlarla yapılan deney sonuçları çelik lif oranlarındaki değişim ile karşılaştırılmış ve polipropilen lifli betonlarla yapılan deney sonuçları da polipropilen lif oranlarındaki değişim ile karşılaştırılmıştır. Son olarak da, çelik ve polipropilen lifli betonlarla yapılan deneylerin sonuçları normal beton ile yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılarak grafikler halinde sunulmuştur.

5.3.1. Çelik Lifli Betonların Özellikleri ile ilgili Bulunan Sonuçlar

Aşağıdaki grafiklerde, çelik lifli betonlarla yapılan basınç, eğilmede çekme ve e-modülü deney sonuçları çelik lif oranlarındaki değişim ile karşılaştırılmıştır.

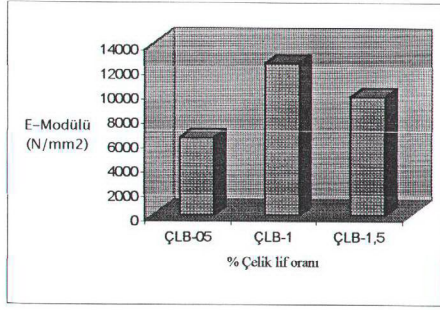
5.3.1.1. Çelik Lif Oranı ile E-Modülü İlişkisi

Aşağıda çelik lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri ölçülerek bulunan e-modüllerine ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 5.33. Çelik lifli beton silindir numunelerde E-modülü ilişkisi

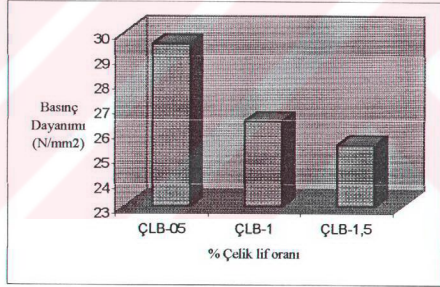
Aşağıda çelik lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesinde sehim değerleri ölçülerek bulunan e-modüllerine ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 5.34. Çelik lifli beton kiriş numunelerde E-modülü ilişkisi

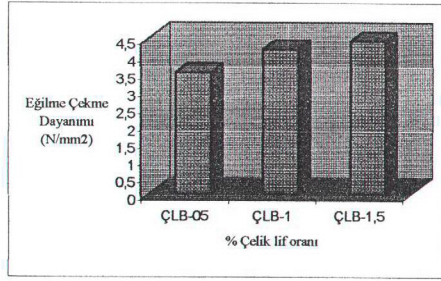
5.3.1.2. Çelik Lif Oranı ile Basınç ve Eğilmede Çekme Dayanımı İlişkisi

Aşağıda çelik lifli beton silindir numunelerde çelik lif oranlarına bağlı olarak basınç mukavemetlerindeki değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.35. Çelik lifli betonlarda basınç mukavemeti değişimleri

Aşağıda çelik lifli beton kiriş numunelerde çelik lif oranlarına bağlı olarak eğilmede çekme mukavemetlerindeki değişim grafiği gösterilmiştir.



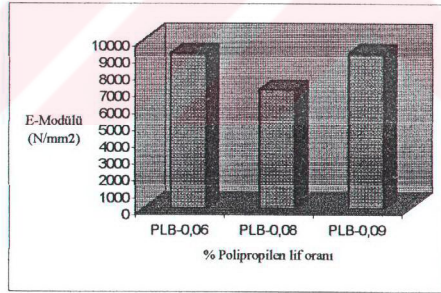
Şekil 5.36. Çelik lifli betonlarda eğilmede çekme mukavemeti değişimleri

5.3.2. Polipropilen Lifli Betonların Özellikleri ile ilgili Bulunan Sonuçlar

Aşağıdaki grafiklerde, polipropilen lifli betonlarla yapılan basınç, eğilmede çekme ve e-modülü deney sonuçları polipropilen lif oranlarındaki değişim ile karşılaştırılmıştır.

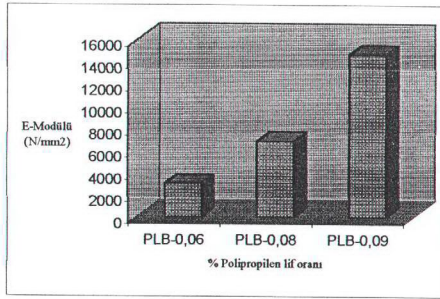
5.3.2.1. Polipropilen Lif Oranı ile E-Modülü İlişkisi

Aşağıda polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri ölçülerek bulunan e-modüllerine ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 5.37 Polipropilen lifli beton silindir numunelerde e-modülü ilişkisi

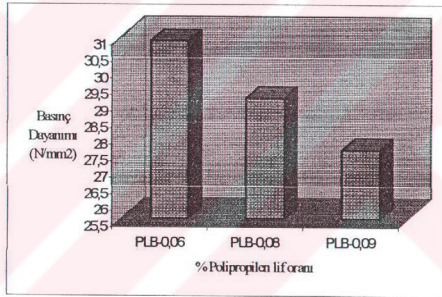
Aşağıda polipropilen lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesinde sehim değerleri ölçülerek bulunan e-modüllerine ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 5.38. Polipropilen lifli beton kiriş numunelerde E-modülü ilişkisi

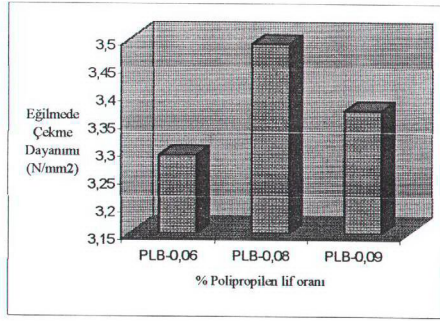
5.3.2.2. Polipropilen Lif Oranı ile Basınç ve Eğilmede Çekme Dayanımı İlişkisi

Aşağıda polipropilen lifli beton silindir numunelerde polipropilen lif oranlarına bağlı olarak basınç mukavemetlerindeki değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.39. Polipropilen lifli betonlarda basınç mukavemeti değişimleri

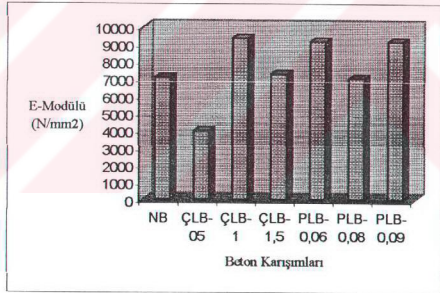
Aşağıda polipropilen lifli beton kiriş numunelerde polipropilen lif oranlarına bağlı olarak eğilmede çekme mukavemetlerindeki değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.40. Polipropilen lifli betonlarda eğilmede çekme mukavemeti değişimleri

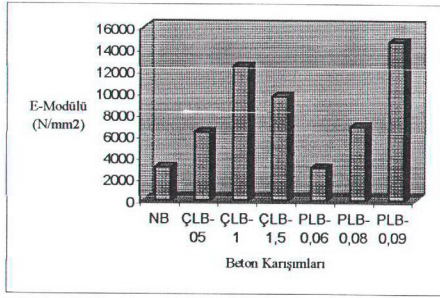
5.3.3. NB ile Lifli Betonların Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Aşağıdaki grafikte Normal beton ile çeşitli oranlarda Çelik ve Polipropilen lifli betonların silindirik numunelerinde basınç gerilmesi altında e-modülü değerlerinin karşılaştırması verilmiştir.



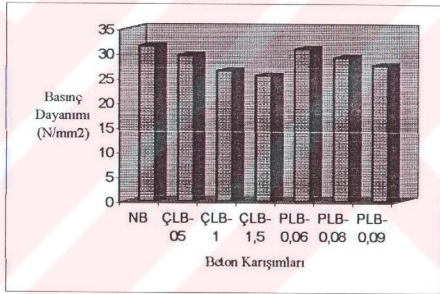
Şekil 5.41. Normal beton ile lifli beton numunelerde e-modülü karşılaştırması

Aşağıdaki grafikte ise Normal beton ile çeşitli oranlarda Çelik ve Polipropilen lifli betonların kiriş numunelerinde eğilmede çekme gerilmesi altında e-modülü değerlerinin karşılaştırması verilmiştir.



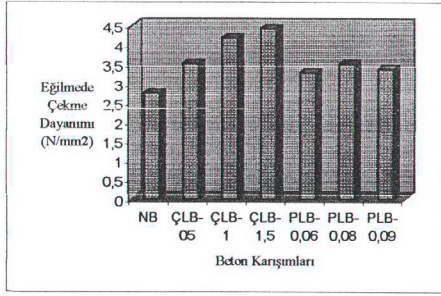
Şekil 5.42. Normal beton ile lifli betonların kiriş numunelerde e-modülü karşılaştırması

Aşağıdaki bu grafikte ise Normal beton ile çeşitli oranlarda Çelik ve Polipropilen lifli betonların basınç mukavemetleri karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 5.43. Normal beton ile lifli betonların silindir numunelerde basınç mukavemet değerlerinin karşılaştırılması

Son olarak aşağıdaki bu grafikte ise Normal beton ile çeşitli oranlarda Çelik ve Polipropilen lifli betonların eğilmede çekme mukavemetleri karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 5.44. Normal beton ile lifli betonların silindir numunelerde eğilmede çekme mukavemet değerlerinin karşılaştırılması

6. SONUÇLAR

Aşağıda çelik lif takviyeli beton ve polipropilen lif takviyeli betonlarla İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvar'ında yapılan deneysel çalışmaların sonuçları yer almaktadır. Sonuçlar iki ayrı başlık altında toplanmaktadır.

Çelik Lif Takviyeli Beton Numunelerinde Elde Edilen Sonuçlar,

- Betona katılan çelik tellerin karışım oranlarına bağlı olarak bu betonların işlenebilirlik özelliklerini etkilediği ve hatta çelik tel hacim oranı arttıkça betonların işlenebilirliğinin azaldığı ve boşluk miktarlarının arttığı görülmüştür.
- Çelik tel donatı malzemesinin bu betonların e-modülü değerlerini yaklaşık 4 kat arttırdığı söylenebilir. En çok artışın hacimce % 1 çelik lifli betonlarda olduğu gözlenmiştir.
- Çelik liflerin en belirgin faydası eğilmede çekme gerilmesinde görülmüştür. Normal betonun eğilmede çekme mukavemetini yaklaşık 2 kat arttırmıştır. Çelik tel oranı arttıkça betonun eğilmede çekme mukavemetlerinin de doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Eğilmede çekme deneyi sırasında normal beton kırış numunesi ilk çatlamada kırılırken, çelik lif takviyeli kırış numunelerin ilk çatlattan sonra da bir süre daha taşıma gücünü koruduğu gözlenmiştir.
- Basınç mukavemet deney sonuçlarından da anlaşılacağı üzere çelik tellerin bu mekanik özelliğe pek de etkili olmadığı görülmüştür. Hatta çelik lif oranı arttıkça basınç mukavemetinde daha da azalma olduğu dikkat çekmiştir.
- Son olarak eğilmede çekme deneyinden kırılan parçalar üzerinde yapılan basınç dayanım testinde çelik lifli betonda normal betona göre daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Polipropilen Lif Takviyeli Beton Numunelerinde Elde Edilen Sonuçlar,

- Betona katılan polipropilen liflerin karışım oranlarına bağlı olarak bu betonların çelik liflere kıyasla işlenebilirlik özelliklerini daha iyi yönde etkiledikleri

söylenir. Betona katıldığında çok kolay bir şekilde ayrışma özelliğinden dolayı betona yapışıp daha iyi bağ yaptığı görülmüştür.

- Polipropilen lif donatı malzemesinin bu betonların e-modülü değerleri üzerinde etkili olduğu söylenir. Beton silindir numunelerde uygulanan basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri % 0,06 oranındaki polipropilen lifli betonlarda yüksek çıkarken, kiriş numunelerde ise eğilmede çekme gerilmesi altında sehim değerleri % 0,09 oranındaki polipropilen lifli betonlarda yüksek çıkmıştır. Normal betonlara göre kirişlerde elastiklikliği 3 kat, silindirlerde 1,5 kat arttırdığı görülmüştür.
- Basınç mukavemet deney sonuçlarına göre % 0,06 oranındaki polipropilen lifli betonlarda diğer oranlara göre daha iyi çıksa da normal betona kıyasla pek de etkili olmadığı gözlenmiştir.
- Polipropilen liflerin de betonda eğilmede çekme mukavemetini çelik teller kadar olmasa da yaklaşık 1,5 kat arttırmış olduğu görülmüştür.

Şimdiye kadar çelik lif takviyeli betonlarla ilgili birçok mekanik mukavemet deneyleri yapılmıştır ve bu çalışmalara ulaşmak mümkün olmaktadır. Fakat bu tür betonların yangına dayanıklılık, ısı iletkenlik ve su geçirimsizlik özellikleri ile ilgili fazla bir bilgiye rastlanmamaktadır. Bu konularda daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Yine, Polipropilen lif takviyeli betonlarla ilgili mekanik mukavemet deneyleri de çok az sayıda yapılmıştır ve dolayısıyla az sayıda kaynak bulunmaktadır. Polipropilen lif ile takviye edilmiş betonların mekanik ve fiziksel özellikleri ile ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- [1] Gököz, N. Ü., 1978. Ön yorulmanın yalın ve ince tellerle donatılı betonların özelliklerine etkisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Beksa Firması, 1998. Çelik tel takviyeli betonların özellikleri, Beksa broşürleri basım evi, İzmit.
- [3] Shah, B., 1995. Fiber reinforced composites, American Concrete Institute, Detroit, USA.
- [4] Türker, S. ve Balanlı A., 1992. Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- [5] Akman, S., 1987. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [6] TS-10513, 1992. Beton takviyesinde kullanılan çelik teller, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [7] TS-10514, 1992. Beton takviyesinde kullanılan çelik tellerin betona karıştırma ve kontrol kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [8] Uyan, M., 1984. Lifli betonların genel özellikleri ve gelişimi, Malzeme Semineri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [9] Kurugöl, S., 1997. Çelik tel donatı ve polimer katkının normal ve hafif betonların mukavemet özelliklerine etkileri, *Doktora Tezi*, M.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Yerlikaya, M., 1999. Kişisel görüşme.
- [11] Bekaert, 1993. The properties of dramix fiber concrete, Bekaert, Belgium.
- [12] ACI Committee 544, 1988 . Design considerations for steel fiber reinforced concrete , ACI Structural Journal, Committee Report, Detroit, USA September 1988.
- [13] Soroushian, P., Bayasi, Z., 1991. Fiber-Type effect on the performance of steel fiber reinforced concrete, ACI Materials Journal, Detroit, USA, No: 88-M16, Marc-April 1991.
- [14] Craig, R.J., 1984. Structural aplication of reinforced fibrous concrete, Concrete Internationnal, December 1984.

- [15] Williams, G., 1992. The effects of steel fibers on the compressive strength of concrete, Fiber Reinforced Concrete, SP-44, ACI, Detroit, USA.
- [16] Ramakrishnan, V., 1988. Materials and properties of fiber reinforced concrete, Civil Engineering, London, April .
- [17] Mizukoshi, M., Shimauchi, H., Kaguma, H., Matsui, S., 1994. Properties of flexural fatigue of steel fiber reinforced concrete, Transaction of the Japan Concrete Enstitute, Japan, Vol.16.
- [18] Taşdemir, M.A., 1999. Çelik tel takviyeli yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışı, Beksa sempozyum notları, İzmit.
- [19] Trottier, J.F., Banthia, N., 1994. Toughness characterization of steel fiber reinforced concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 6 No. 2, May 1994.
- [20] Özlökmacı, M., 1999. Kişisel görüşme.
- [21] Abrishami, H., Mitchell, D., 1997. Influence of steel fibers on tension stiffening, ACI Structural Journal, Detroit, USA, Vol. 94, No: 6 November- December 1997.
- [22] Arslan, A., 1999. Lifli betonların darbe etkisi altında genel özellikleri, Beksa sempozyum notları, İzmit.
- [23] Lok, T.S., Pei, J.S., 1998. Flexural behavior of steel fiber reinforced concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 10, No:2, May 1998
- [24] Ünal, O., 1999. Isıl işlem uygulanan lifli betonun mekanik özelliklerine etkileri, Beksa sempozyum notları, İzmit.
- [25] Maalej, M.L., 1994. Flexural strength of fiber cementitious composites, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 6, No:3, August 1994.
- [26] Yılmaz, K., 1999. Agrega granülometrisindeki değişimin çelik tel takviyeli betonların üzerine etkisi, Beksa sempozyum notları, İzmit.
- [27] Chern, J.C., Young, C.H., 1989. Compressive creep shrinkage of steel fiber reinforced concrete, The international journal of cement composites and lightweight concrete, Vol. 11, No: 4, November 1989.
- [28] Uğurlu, A., 1999. Çelik liflerle güçlendirilmiş betonun prefabrike yapılarda kullanılması, Beton Prefabrikasyon, İstanbul, Ocak 1999, s.49.

- [29] Arıoğlu, E., Yüksel, A., 1999. Tünel ve yer altı mühendislik yapılarında çözümlü püskürtme beton problemleri, TMMOB Maden Müh. Odası, Kozan matbaası, Ankara .
- [30] Beksa Firması, 1999. Püskürtme betonun özellikleri, Beksa broşürleri basım evi, İzmit.
- [31] Yaşar, L., 1999. Shotcrete Teknolojisi, betonların üzerine etkisi, Beksa sempozyum notları, İzmit.
- [32] Arıoğlu, E., 1999. Tünellerde çelik lifli püskürtme beton kaplama tasarımı, mekanik büyüklükler ve kalite kontrol ilkeleri, Beksa sempozyum notları, İzmit.
- [33] Kolcuoğlu, Ö., 2000. Kişisel görüşme.
- [34] Yıldırım, M., 1999. Hafif ve yarı hafif betonlarda çelik lif kullanımının etkisi, Beksa sempozyum notları, İzmit.
- [35] Sancak, E. ve Ünal O., 1999. Çelik liflerin hafif betonlarda kullanılması üzerine bir araştırma, Beksa sempozyum notları, İzmit.
- [36] Karagüler, M.E., 1988. Isıl işlem parametrelerinin hafif beton özelliklerine etkisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37] Taşdemir, M.A., 1976. Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [38] Arda, A., 1994. Hafif betonlarda agrega konsantrasyonunun mekanik özelliklere etkisi, *Y. Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [39] Zhang, M., Gjorv, O., 1991. Mechanical properties of leightweight concrete, ACI Materials Journal, Detroit, USA, May.
- [40] Balaguru, P., Foden, A., 1996. Properties of fiber reinforced structural leightweight concrete, ACI Structural Journal, Detroit, USA, No:1, Vol. 7, January.
- [41] Bekaert, 1998 . Duomix hakkında genel bilgiler klavuzu, Bekaert, Belgium.

- [42] Currie, B., Gardiner, T., 1989. Bond between polypropylene fibres and cement matrix, *The International Journal of Cement Composites and Lightweight concrete*, Vol. 11, No:1, February.
- [43] Colville, J., Amde, M., Miltenberger, M., 1999. Tensile bond strenght polymer modified mortar, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 11, No: 1, February .
- [44] Kordon, B.J., 1997. Polymer-modified concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 9, No: 2, May 1997.
- [45] Akçansa Çimento Fabrikası, 1995. Portland kompoze çimento kullanım bilgi klavuzu, İstanbul.
- [46] YKS Firması, 1998 . Betona katılan kimyasal katkılardan melment F10 kullanım bilgi klavuzu, YKS Firması Matbaası, İstanbul .
- [47] TS-2871, 1977. Taze beton kıvam deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [48] TS-802, 1985. Beton karışım hesap esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [49] TS-3068, 1990. Laboratuvarı beton deney numunelerinin hazırlanması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [50] TS-3114, 1990. Betonda basınç mukavemet tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [51] TS-3285, 1979. Betonda eğilmede çekme mukavemet tayini (Orta noktadan yüklenen basit giriş metodu ile) , *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [52] TS-3287, 1979. Betonda eğilmede çekme deneyinde çıkan deney numunesi parçaları üzerinde basınç dayanım deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.



EKLER

EK – 1

Tablo A.1. Çelik Lifli Betonların Karışım Oranları

Karışım	Su/Çimento Oranı	Çimento	Lifler	Su Azaltıcı Katkı	Hava Sarıktayıcılar
F1	0.36	611	55	1	0.2
F2.F2R	0.32	564	65	0.8	0.5
F3.F3R	0.32	658	65	0.8	0.2
F4.F4R	0.4	564	65	0.8	0.1
F5.F5R	0.4	658	65	0.8	0.13
F6.F6R	0.32	564	65	1,2	0.2
F7.F7R	0.32	658	65	1,2	0.13
F8.F8R	0.4	564	65	1,2	0.1
F9.F9R	0.4	658	65	1,2	0.1
F10	0.36	611	75	0.6	0.2
F11	0.28	611	75	1	0.4
F12	0.36	517	75	1	0.2
F13	0.36	705	75	1	0.1
F14	0.44	611	75	1	0.1
F15	0.36	611	75	1,4	0.2
F16.F16R	0.32	564	85	0.8	0.3
F17.F17R	0.32	658	85	0.8	0.2
F18.F18R	0.4	564	85	0.8	0.13
F19.F19R	0.4	658	85	0.8	0.16
F20.F20R	0.32	564	85	1,2	0.4
F21.F21R	0.4	658	85	1,2	0.2
F22.F22R	0.4	564	85	1,2	0.13
F23.F23R	0.36	658	85	1,2	0.13
F24	0.36	611	95	1	0.2
F25	0.36	611	75	1	0.3
F26	0.36	611	75	1	0.25
F27	0.36	611	75	1	0.4
F28	0.36	611	75	1	0.25
F29	0.36	611	75	1	0.3
F30	0.36	611	75	1	0.13
F31	0.36	611	75	1	0.2
F32.F32R	0.4	611	75	1	0.15
F33.F33R	0.3	799	75	1,2	0.2
F34	0.4	611	75	1	0.15
F35	0.3	799	75	1,2	0.2
F36	0.4	611	75	1	0.15
F37	0.3	799	75	1,2	0.2
F38	0.4	611	75	1	0.15
F39	0.4	611	75	1	0.15
F40	0.4	611	75	1	0.15
F41	0.43	690	100	1,3	
F42	0.5	690	100		
F43	0.43	690	100	0.86	0.101
F44	0.43	690	100	1,09	0.185
F45	0.43	690	100	1	0.254
F46.F46R	0.3	799	75	1,2	0.2
F47.F47R	0.4	611	75	1	0.15
F48	0.4	611	75	1	0.15
F49	0.3	799	75	1,2	0.1

Tablo A.2. Normal Betonların Karışım Oranları

Karışım	Su/Cimento Oranı	Cimento	Su Azaltıcı Katsa	Hava Sarılcayıcılar
S1	0.38	611	1	0,1
S2.S2R	0.33	654	0.8	0.095
S3.S3R	0.33	658	0.8	0.095
S4.S4R	0.43	564	0.8	0.07
S5.S5R	0.43	658	0.8	0.095
S6.S6R	0.33	564	1.2	0.13
S7.S7R	0.33	658	1.2	0.12
S8.S8R	0.43	564	1.2	0.095
S9.S9R	0.43	658	1.2	0.085
S10	0.38	611	0.6	0.095
S11	0.28	611	1	0.12
S12	0.38	517	1	0.2
S13	0.38	611	1	0.05
S14	0.38	705	1	0.095
S15	0.48	611	1	0.05
S16	0.38	611	1.4	0.095
S17.S17R	0.33	564	0.8	0.13
S18.S18R	0.33	658	0.8	0.12
S19.S19R	0.43	564	0.8	0.13
S20.S20R	0.43	658	0.8	0.095
S21.S21R	0.38	564	1.2	0.15
S22.S22R	0.28	658	1.2	0.095
S23.S23R	0.28	564	1.2	0.095
S24.S24R	0.3	658	1.2	0.095
S25	0.3	611	1	0.085
S26	0.28	705	1.2	0.095
S27	0.28	705	1.6	0.095
S28	0.28	705	1.2	0.095
S29	0.29	705	1.6	0.012
S30	0.30	752	1.2	0.012
S31	0.31	752	1.4	0.13
S32	0.32	752	1.4	0.13
S33	0.33	799	1.2	0.13
S34	0.34	799	1	0.13
S35	0.35	799	1	0.16
S36	0.36	846	1	0.13
S37	0.37	846	1.2	0.13
S38	0.38	846	0.8	0.13
S39	0.3	799	0.8	0.13
S40	0.3	799	1	0.13
S41	0.43	564	0.8	0.13
S42	0.43	564	0.8	0.095
S43	0.33	564	1.2	0.095
S44	0.33	658	1.2	0.095
S45	0.28	611	1	0.12
S46	0.38	517	1	0.12
S47	0.38	611	1	0.095
S48	0.38	611	1	0.07
S49	0.38	611	1.4	0.095
S50	0.33	564	0.8	0.095
S51	0.43	564	0.8	0.095
S52	0.33	564	1.2	0.11
S53.S53R	0.38	611	1	0,08
S54.S54R	0.28	799	1.2	0,18
S55	0.38	611	1	0,08
S56	0.28	799	1.2	0,18

S57	0,38	611	1	0,08
S58	0,28	799	1,2	0,18
S59	0,38	611	1	0,08
S60	0,28	799	1,2	0,18
S61	0,38	611	1	0,08
S62	0,28	799	1,2	0,18
S63	0,38	611	1	0,08
S64	0,28	799	1,2	0,18



Tablo A.3. Plastik Kıvam Lifli Betonların Karışım Oranlarına Göre Çökme ve VeBe Değerleri

Karışım	Hava Sıklığı (f)	Hava Mik. %	Çökme	V-B Zamanı (s)
F1	88	5,7	2,25	8
F2	80	4,4	0	15
F2R	72	3,4	0	9
F3	80	9,6	6,25	1,5
F3R	76	5,2	0,625	6
F4	79	4,2	1,75	8,6
F4R	73	7,2	2	8
F5	80	6,8	4,5	1,5
F5R	70	9,8	7,625	0
F6	80	4,2	0	16
F6R	74	5,4	1	13,5
F7	80	6,8	7,875	0
F7R	78	6	2,75	5,5
F8	80	8	8	0
F8R	78	8,2	7,875	0
F9	84	10,2	7,5	0
F9R	70	10	9,25	0
F10	84	3,5	0	27
F11	80	3,8	0	16
F12	84	3,2	0	19,5
F13	80	9,2	9,125	0
F14	77	7,2	8	0
F15	85	7,5	5,25	3
F16	80	4,8	0	19
F16R	72	3	0	15
F17	83	3,6	0	28
F17R	74	5,8	0	14,5
F18	79	3,8	0,375	16
F18R	75	5	0,5	10,8
F19	80	9,6	7,3	0
F19R	78	8	6	3
F20	83	5,2	0	16
F20R	76	7	1,375	6
F21	86	4,2	0,5	7,8
F21R	74	5,4	1	11
F22	86	5	1,625	11
F22R	75	5,8	0	8
F23	80	8,8	8,5	0
F23R	74	11,2	8,25	0
F24	88	4,6	0,25	11,7
F25	81	9,2	4,5	4,4
F26	83	8,6	4,5	4,6
F27	82	7,4	1,5	6,2
F28	83	6,8	2,5	6
F29	90	6	1,3	6,4
F30	80	4	1,75	11,7
F31	81	4,5	1,5	9,4
F32	68	9,6	7	0
F32R	72	5,2	3,125	4
F33	68	3,3	0,75	11
F33R	70	3,8	1,5	6
F34	76	8	4,25	3
F35	76	4,4	2,5	8
F36	74	10,8	7,75	0

F37	78	6,6	4	3
F38	68	4,2	2,25	8
F39	66	3,8	2	7,5
F40	75	4,2	1	9,5
F41	72	2,2	1	14
F42	68	1,2	6	1,8
F43	73	2,6	3,25	3
F44	71	3	4	4,8
F45	71	4,5	4	4,2
F46	71	7,4	5	5
F46R	69	8,4	3,75	8
F47	71	8,2	6,375	0
F47R	70	10,8	7,5	0
F48	71	9,1	7	0
F49	70	3,6	0	11
F50	74	4,8	4	3



Tablo A.4. Plastik Kıvam Normal Betonların Karışım Oranlarına Göre Çökme ve VeBe Değerleri

Karışım	Hava Sıcaklığı (°C)	Hava Nem. %	Çökme	VeBe Zamanı (s)
S1	76	9,3	7,5	0
S2	68	3,6	0	6,5
S2R	68	3,9	0,5	4
S3	69	4,1	1,5	4
S3R	70	3	0	11
S4	70	7,2	7,625	0
S4R	68	4,6	2,75	2,5
S5	67	8,6	9	0
S5R	67	8	9,625	0
S6	66	4,9	1,125	5
S6R	70	3,7	0	5
S7	71	9,2	8,125	9
S7R	71	11	8,5	0
S8	76	7,2	7,625	0
S8R	71	9	4	0
S9	67	9,2	10,5	2,5
S9R	69	6,6	9,75	0
S10	72	7,4	3,625	0
S11	76	4,4	0	1,5
S12	73	6,8	1,625	7,5
S13	74	8	8,625	4,5
S14	72	9	8,25	0
S15	68	4	10,25	0
S16	70	10,2	9,5	0
S17	68	6,4	0	0
S17R	68	6,6	0	7,5
S18	71	7	3,125	7,5
S18R	69	6,8	3,5	
S19	71	8,8	3,25	2,5
S19R	66	11,8	7,375	3
S20	69	9,6	8,125	0
S20R	74	9,2	7,5	0
S21	68	5,6	1,125	0
S21R	68	9,2	4,375	5,5
S22	67	7,6	5,5	2,5
F22	68	5,4	2	1,5
S22R	68	11,2	9,25	0
S23	72	9,2	7	0
S23R	75	9	9,5	0
S24	72	9,8	9,75	0
S24R	68	10,4	8,125	0
S25	75	4,8	0	7,5
S26	71	4,3	3,5	6
S27	68	4,6	2,25	5
S28	68	4,2	7,5	0
S29	70	3	0	7,5
S30	65	9,6	9	0
S31	68	7	9	0
S32	70	6,9	4,5	1,5
S33	70	3,8	2	3,5
S34	70	4,3	5,75	1
S35	70	4	4	3,5
S36	67	4,6	7,125	0
S37	69	3,4	0	7

S38	70	3,4	1,375	4,7
S39				
S40	70	4	2,125	3,5
S41	73	11,4	7,625	0
S42	68	10,6	8	0
S43	67	5,3	2	5
S44	72	6,1	4,125	
S45	74	5,6	0	7,5
S46	73	4,2	1,125	6
S47	68	11,8	9	0
S48	74	8	8,625	0
S49	70	10,2	9,5	0
S50	68	5	0	8
S51	70	4,5	1,5	5
S52	68	6	1,75	4,5
S53	69	9,2	7	0
S53R	71	8,6	6	1
S54	70	8,6	3	2
S54R	72	8,6	4	2
S55	83	3,2	2,5	3,8
S56	84	4	0	7,6
S57	72	8,1	3,375	2
S58	74	9,8	5,375	2
S59	70	4,2	2,25	3
S60	70	6,2	2	3
S61	71	9,8	8,5	0
S62	71	5	3,125	3
S63	70	10,2	8	0
S64	72	6,8	6,125	1



Tablo B.1. Normal beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri

Normal Beton Silindir Numunelerde Basınç Gerilmesi Altında Deformasyon Değerleri									
Lo = 200					A = 7818,6mm ²				
Yük (N)	L ₀ (0,01) mm	L ₀ -L ₁ (0,01) mm	L ₀ -L ₁ /L ₀ X	P/A Y	Yük (N)	L ₀ (0,01) mm	L ₀ -L ₁ (0,01) mm	L ₀ -L ₁ /L ₀ X	P/A Y
100 (0)	2,15	0	0	0	51000	2,455	0,305	0,00153	6,52291
1000	2,17	0,02	0,0001	0,1279	52000	2,46	0,31	0,00155	6,65081
2000	2,19	0,04	0,0002	0,2558	53000	2,465	0,315	0,00158	6,77871
3000	2,21	0,06	0,0003	0,3837	54000	2,468	0,318	0,00159	6,90661
4000	2,22	0,07	0,00035	0,5116	55000	2,47	0,32	0,0016	7,03451
5000	2,24	0,09	0,00045	0,6395	56000	2,475	0,325	0,00163	7,16241
6000	2,25	0,1	0,0005	0,7674	57000	2,478	0,328	0,00164	7,29031
7000	2,26	0,11	0,00055	0,8953	58000	2,48	0,33	0,00165	7,41821
8000	2,27	0,12	0,0006	1,0232	59000	2,485	0,335	0,00168	7,54611
9000	2,278	0,128	0,00064	1,1511	60000	2,49	0,34	0,0017	7,67401
10000	2,28	0,13	0,00065	1,279	61000	2,495	0,345	0,00173	7,80191
11000	2,285	0,135	0,00068	1,4069	62000	2,496	0,346	0,00173	7,92981
12000	2,288	0,138	0,00069	1,5348	63000	2,497	0,347	0,00174	8,05771
13000	2,29	0,14	0,0007	1,6627	64000	2,498	0,348	0,00174	8,18561
14000	2,298	0,148	0,00074	1,7906	65000	2,5	0,35	0,00175	8,31351
15000	2,3	0,15	0,00075	1,9185	66000	2,505	0,355	0,00178	8,44141
16000	2,305	0,155	0,00078	2,0464	67000	2,508	0,358	0,00179	8,56931
17000	2,31	0,16	0,0008	2,1743	68000	2,51	0,36	0,0018	8,69721
18000	2,315	0,165	0,00083	2,3022	69000	2,515	0,365	0,00183	8,82511
19000	2,32	0,17	0,00085	2,4301	70000	2,518	0,368	0,00184	8,95301
20000	2,325	0,175	0,00088	2,558	71000	2,52	0,37	0,00185	9,08091
21000	2,33	0,18	0,0009	2,6859	72000	2,525	0,375	0,00188	9,20881
22000	2,335	0,185	0,00093	2,8138	73000	2,53	0,38	0,0019	9,33671
23000	2,34	0,19	0,00095	2,9417	74000	2,535	0,385	0,00193	9,46461
24000	2,345	0,195	0,00098	3,0696	75000	2,538	0,388	0,00194	9,59251
25000	2,348	0,198	0,00099	3,1975	76000	2,54	0,39	0,00195	9,72041
26000	2,35	0,2	0,001	3,3254	77000	2,545	0,395	0,00198	9,84831
27000	2,355	0,205	0,00103	3,4533	78000	2,548	0,398	0,00199	9,97621
28000	2,36	0,21	0,00105	3,5812	79000	2,549	0,399	0,002	10,1041
29000	2,37	0,22	0,0011	3,7091	80000	2,55	0,4	0,002	10,232
30000	2,375	0,225	0,00113	3,837	81000	2,555	0,405	0,00203	10,3599
31000	2,378	0,228	0,00114	3,9649	82000	2,558	0,408	0,00204	10,4878
32000	2,38	0,23	0,00115	4,0928	83000	2,56	0,41	0,00205	10,6157
33000	2,385	0,235	0,00118	4,2207	84000	2,565	0,415	0,00208	10,7436
34000	2,388	0,238	0,00119	4,3486	85000	2,568	0,418	0,00209	10,8715
35000	2,39	0,24	0,0012	4,4765	86000	2,57	0,42	0,0021	10,9994
36000	2,395	0,245	0,00123	4,6044	87000	2,575	0,425	0,00213	11,1273
37000	2,4	0,25	0,00125	4,73231	88000	2,578	0,428	0,00214	11,2552
38000	2,405	0,255	0,00128	4,86021	89000	2,58	0,43	0,00215	11,3831
39000	2,41	0,26	0,0013	4,98811	90000	2,585	0,435	0,00218	11,511
40000	2,415	0,265	0,00133	5,11601	91000	2,588	0,438	0,00219	11,6389
41000	2,42	0,27	0,00135	5,24391	92000	2,59	0,44	0,0022	11,7668
42000	2,425	0,275	0,00138	5,37181	93000	2,595	0,445	0,00223	11,8947
43000	2,428	0,278	0,00139	5,49971	94000	2,598	0,448	0,00224	12,0226
44000	2,43	0,28	0,0014	5,62761	95000	2,599	0,449	0,00225	12,1505
45000	2,435	0,285	0,00143	5,75551	96000	2,6	0,45	0,00225	12,2784
46000	2,438	0,288	0,00144	5,88341	97000	2,605	0,455	0,00228	12,4063
47000	2,44	0,29	0,00145	6,01131	98000	2,608	0,458	0,00229	12,5342
48000	2,445	0,295	0,00148	6,13921	99000	2,61	0,46	0,0023	12,6621
49000	2,45	0,3	0,0015	6,26711	100000	2,615	0,465	0,00233	12,79
50000	2,45	0,3	0,0015	6,39501					

Tablo B.2. Normal beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehım ve elastisite modülü değerleri

Normal Beton Kiriş Numunelerde Eğilmede Çekme Gerilmesi Altında Sehım Değerleri					
Yük (N) Y	L (0,01) mm	L ₀ -L X	Px0,1xL ³	48xALx0,1x 10000/l2	E-Modülü kg/cm ²
100	0,01	0	911250	0	
200	0,02	0,01	1822500	39,99984	45562,682
300	0,03	0,02	2733750	79,99968	34172,012
400	0,04	0,03	3645000	119,9995	30375,122
500	0,042	0,032	4556250	127,9995	35595,846
600	0,05	0,04	5467500	159,9994	34172,012
700	0,06	0,05	6378750	199,9992	31893,878
800	0,07	0,06	7290000	239,999	30375,122
900	0,08	0,07	8201250	279,9989	29290,296
1000	0,09	0,08	9112500	319,9987	28476,676
1100	0,1	0,09	10023750	359,9986	27843,861
1200	0,105	0,095	10935000	379,9985	28776,431
1300	0,108	0,098	11846250	391,9984	30220,146
1400	0,11	0,1	12757500	399,9984	31893,878
1500	0,12	0,11	13668750	439,9982	31065,465
1600	0,14	0,13	14580000	519,9979	28038,574
1700	0,145	0,135	15491250	539,9978	28687,615
1800	0,15	0,14	16402500	559,9978	29290,296
1900	0,16	0,15	17313750	599,9976	28856,365
2000	0,17	0,16	18225000	639,9974	28476,676
2100	0,175	0,165	19136250	659,9974	28994,434
2200	0,18	0,17	20047500	679,9973	29481,736
2300	0,19	0,18	20958750	719,9971	29109,491
2400	0,2	0,19	21870000	759,997	28776,431
2500	0,21	0,2	22781250	799,9968	28476,676
2600	0,215	0,205	23692500	819,9967	28893,408
2700	0,218	0,208	24603750	831,9967	29571,933
2800	0,219	0,209	25515000	835,9967	30520,457
2900	0,22	0,21	26426250	839,9966	31459,947
3000	0,23	0,22	27337500	879,9965	31065,465
3100	0,24	0,23	28248750	919,9963	30705,286
3200	0,245	0,235	29160000	939,9962	31021,401
3300	0,25	0,24	30071250	959,9962	31324,344
3400	0,27	0,26	30982500	1039,996	29790,985
3500	0,28	0,27	31893750	1079,996	29531,368
3600	0,3	0,29	32805000	1159,995	28280,286

Tablo B.3. Hacimce %0,5 çelik lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri

%0,5 Çelik Lifli Beton Silindirik Numunelerde Deformasyon Değerleri					Lo=200		A=7771,69 mm ²		
Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y	Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y
100 (0)	0	0	0	0	51000	0,72	0,72	0,0036	6,56228
1000	0,2	0,2	0,001	0,12867	52000	0,73	0,73	0,00365	6,69095
2000	0,25	0,25	0,00125	0,25734	53000	0,738	0,738	0,00369	6,81962
3000	0,26	0,26	0,0013	0,38602	54000	0,74	0,74	0,0037	6,9483
4000	0,28	0,28	0,0014	0,51469	55000	0,748	0,748	0,00374	7,07697
5000	0,32	0,32	0,0016	0,64336	56000	0,75	0,75	0,00375	7,20564
6000	0,33	0,33	0,00165	0,77203	57000	0,76	0,76	0,0038	7,33431
7000	0,35	0,35	0,00175	0,9007	58000	0,77	0,77	0,00385	7,46298
8000	0,36	0,36	0,0018	1,02938	59000	0,778	0,778	0,00389	7,59166
9000	0,37	0,37	0,00185	1,15805	60000	0,78	0,78	0,0039	7,72033
10000	0,38	0,38	0,0019	1,28672	61000	0,788	0,788	0,00394	7,849
11000	0,39	0,39	0,00195	1,41539	62000	0,79	0,79	0,00395	7,97767
12000	0,398	0,398	0,00199	1,54407	63000	0,798	0,798	0,00399	8,10634
13000	0,4	0,4	0,002	1,67274	64000	0,8	0,8	0,004	8,23502
14000	0,41	0,41	0,00205	1,80141	65000	0,81	0,81	0,00405	8,36369
15000	0,42	0,42	0,0021	1,93008	66000	0,818	0,818	0,00409	8,49236
16000	0,43	0,43	0,00215	2,05875	67000	0,82	0,82	0,0041	8,62103
17000	0,44	0,44	0,0022	2,18743	68000	0,825	0,825	0,00413	8,74971
18000	0,45	0,45	0,00225	2,3161	69000	0,828	0,828	0,00414	8,87838
19000	0,46	0,46	0,0023	2,44477	70000	0,83	0,83	0,00415	9,00705
20000	0,468	0,468	0,00234	2,57344	71000	0,837	0,837	0,00419	9,13572
21000	0,47	0,47	0,00235	2,70211	72000	0,84	0,84	0,0042	9,26439
22000	0,48	0,48	0,0024	2,83079	73000	0,848	0,848	0,00424	9,39307
23000	0,49	0,49	0,00245	2,95946	74000	0,85	0,85	0,00425	9,52174
24000	0,498	0,498	0,00249	3,08813	75000	0,858	0,858	0,00429	9,65041
25000	0,5	0,5	0,0025	3,2168	76000	0,86	0,86	0,0043	9,77908
26000	0,51	0,51	0,00255	3,34548	77000	0,868	0,868	0,00434	9,90775
27000	0,52	0,52	0,0026	3,47415	78000	0,87	0,87	0,00435	10,0364
28000	0,53	0,53	0,00265	3,60282	79000	0,876	0,876	0,00438	10,1651
29000	0,538	0,538	0,00269	3,73149	80000	0,879	0,879	0,0044	10,2938
30000	0,54	0,54	0,0027	3,86016	81000	0,88	0,88	0,0044	10,4224
31000	0,548	0,548	0,00274	3,98884	82000	0,889	0,889	0,00445	10,5511
32000	0,55	0,55	0,00275	4,11751	83000	0,89	0,89	0,00445	10,6798
33000	0,56	0,56	0,0028	4,24618	84000	0,896	0,896	0,00448	10,8085
34000	0,58	0,58	0,0029	4,37485	85000	0,898	0,898	0,00449	10,9371
35000	0,59	0,59	0,00295	4,50352	86000	0,899	0,899	0,0045	11,0658
36000	0,6	0,6	0,003	4,6322	87000	0,9	0,9	0,0045	11,1945
37000	0,61	0,61	0,00305	4,76087	88000	0,91	0,91	0,00455	11,3231
38000	0,618	0,618	0,00309	4,88954	89000	0,916	0,916	0,00458	11,4518
39000	0,62	0,62	0,0031	5,01821	90000	0,918	0,918	0,00459	11,5805
40000	0,63	0,63	0,00315	5,14689	91000	0,92	0,92	0,0046	11,7092
41000	0,64	0,64	0,0032	5,27556	92000	0,926	0,926	0,00463	11,8378
42000	0,65	0,65	0,00325	5,40423	93000	0,928	0,928	0,00464	11,9665
43000	0,66	0,66	0,0033	5,5329	94000	0,93	0,93	0,00465	12,0952
44000	0,67	0,67	0,00335	5,66157	95000	0,936	0,936	0,00468	12,2239
45000	0,678	0,678	0,00339	5,79025	96000	0,938	0,938	0,00469	12,3525
46000	0,68	0,68	0,0034	5,91892	97000	0,94	0,94	0,0047	12,4812
47000	0,69	0,69	0,00345	6,04759	98000	0,949	0,949	0,00475	12,6099
48000	0,698	0,698	0,00349	6,17626	99000	0,95	0,95	0,00475	12,7385
49000	0,7	0,7	0,0035	6,30493	100000	0,955	0,955	0,00478	12,8672
50000	0,71	0,71	0,00355	6,43361					

Tablo B.4. Hacimce % 0,5 çelik lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehîm ve elastisite modülü değeri

%0,5 Çelik Lifli Beton Kiriş Numunelerinde Eğilmede Sehîm Değeri					
Yük (N) Y	L (0,01) mm	L ₀ -L _x X	P _x 0,1x ³	48xAL ₀ 1x 10000/12	E-Modülü kg/cm ²
100	0,01	0	911250	0	
200	0,015	0,005	1822500	20	91125
300	0,05	0,04	2733750	160	17085,9375
400	0,06	0,05	3645000	200	18225
500	0,07	0,06	4556250	240	18984,375
600	0,071	0,061	5467500	244	22407,7869
700	0,072	0,062	6378750	248	25720,7661
800	0,073	0,063	7290000	252	28928,5714
900	0,073	0,063	8201250	252	32544,6429
1000	0,073	0,063	9112500	252	36160,7143
1100	0,073	0,063	10023750	252	39776,7857
1200	0,074	0,064	10935000	256	42714,8438
1300	0,075	0,065	11846250	260	45562,5
1400	0,076	0,066	12757500	264	48323,8636
1500	0,076	0,066	13668750	264	51775,5682
1600	0,076	0,066	14580000	264	55227,2727
1700	0,076	0,066	15491250	264	58678,9773
1800	0,077	0,067	16402500	268	61203,3582
1900	0,078	0,068	17313750	272	63653,4926
2000	0,079	0,069	18225000	276	66032,6087
2100	0,079	0,069	19136250	276	69334,2391
2200	0,079	0,069	20047500	276	72635,8696
2300	0,079	0,069	20958750	276	75937,5
2400	0,08	0,07	21870000	280	78107,1429
2500	0,083	0,073	22781250	292	78017,9795
2600	0,084	0,074	23692500	296	80042,2297
2700	0,085	0,075	24603750	300	82012,5
2800	0,087	0,077	25515000	308	82840,9091
2900	0,088	0,078	26426250	312	84699,5192
3000	0,089	0,079	27337500	316	86511,0759
3100	0,09	0,08	28248750	320	88277,3438
3200	0,094	0,084	29160000	336	86785,7143
3300	0,096	0,086	30071250	344	87416,4244
3400	0,098	0,088	30982500	352	88018,4659
3500	0,1	0,09	31893750	360	88593,75
3600	0,104	0,094	32805000	376	87247,3404
3700	0,106	0,096	33716250	384	87802,7344
3800	0,107	0,097	34627500	388	89246,134
3900	0,108	0,098	35538750	392	90660,0765
4000	0,109	0,099	36450000	396	92045,4545
4100	0,11	0,1	37361250	400	93403,125
4200	0,116	0,106	38272500	424	90265,3302
4300	0,117	0,107	39183750	428	91550,8178
4400	0,119	0,109	40095000	436	91961,0092
4500	0,12	0,11	41006250	440	93196,0227
4600	0,126	0,116	41917500	464	90339,4397
4700	0,128	0,118	42828750	472	90738,8771
4800	0,13	0,12	43740000	480	91125
4900	0,8	0,79	44651250	3160	14130,1424
5000	1,1	1,09	45562500	4360	10450,1147
5100	1,3	1,29	46473750	5160	9006,5407
5200	1,6	1,59	47385000	6360	7450,4717
5300	1,65	1,64	48296250	6560	7362,23323

Tablo B.5. Hacimce %1 çelik lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri

%1 Çelik Lifli Beton Silindirik Numunelerde Deformasyon Değ.					Lo=200		A=7991,9 mm ²		
Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y	Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y
100 (0)	0,78	0	0	0	51000	1,051	0,271	0,00136	6,38146
1000	0,8	0,02	0,0001	0,12513	52000	1,052	0,272	0,00136	6,50659
2000	0,82	0,04	0,0002	0,25025	53000	1,06	0,28	0,0014	6,63171
3000	0,84	0,06	0,0003	0,37538	54000	1,06	0,28	0,0014	6,75684
4000	0,86	0,08	0,0004	0,50051	55000	1,065	0,285	0,00143	6,88197
5000	0,87	0,09	0,00045	0,62563	56000	1,067	0,287	0,00144	7,00709
6000	0,88	0,1	0,0005	0,75076	57000	1,068	0,288	0,00144	7,13222
7000	0,89	0,11	0,00055	0,87589	58000	1,07	0,29	0,00145	7,25735
8000	0,9	0,12	0,0006	1,00101	59000	1,075	0,295	0,00148	7,38247
9000	0,91	0,13	0,00065	1,12614	60000	1,076	0,296	0,00148	7,5076
10000	0,92	0,14	0,0007	1,25127	61000	1,08	0,3	0,0015	7,63273
11000	0,925	0,145	0,00073	1,37639	62000	1,081	0,301	0,00151	7,75785
12000	0,93	0,15	0,00075	1,50152	63000	1,083	0,303	0,00152	7,88298
13000	0,935	0,155	0,00078	1,62665	64000	1,085	0,305	0,00153	8,00811
14000	0,94	0,16	0,0008	1,75177	65000	1,09	0,31	0,00155	8,13323
15000	0,945	0,165	0,00083	1,8769	66000	1,09	0,31	0,00155	8,25836
16000	0,95	0,17	0,00085	2,00203	67000	1,092	0,312	0,00156	8,38349
17000	0,955	0,175	0,00088	2,12715	68000	1,095	0,315	0,00158	8,50861
18000	0,96	0,18	0,0009	2,25228	69000	1,098	0,318	0,00159	8,63374
19000	0,965	0,185	0,00093	2,37741	70000	1,1	0,32	0,0016	8,75887
20000	0,968	0,188	0,00094	2,50253	71000	1,105	0,325	0,00163	8,884
21000	0,97	0,19	0,00095	2,62766	72000	1,107	0,327	0,00164	9,00912
22000	0,975	0,195	0,00098	2,75279	73000	1,108	0,328	0,00164	9,13425
23000	0,978	0,198	0,00099	2,87791	74000	1,1	0,32	0,0016	9,25938
24000	0,98	0,2	0,001	3,00304	75000	1,115	0,335	0,00168	9,3845
25000	0,982	0,202	0,00101	3,12817	76000	1,116	0,336	0,00168	9,50963
26000	0,983	0,203	0,00102	3,25329	77000	1,118	0,338	0,00169	9,63476
27000	0,985	0,205	0,00103	3,37842	78000	1,12	0,34	0,0017	9,75988
28000	0,986	0,206	0,00103	3,50355	79000	1,125	0,345	0,00173	9,88501
29000	0,988	0,208	0,00104	3,62867	80000	1,13	0,35	0,00175	10,0101
30000	0,99	0,21	0,00105	3,7538	81000	1,131	0,351	0,00176	10,1353
31000	0,992	0,212	0,00106	3,87893	82000	1,135	0,355	0,00178	10,2604
32000	0,995	0,215	0,00108	4,00405	83000	1,138	0,358	0,00179	10,3855
33000	0,996	0,216	0,00108	4,12918	84000	1,138	0,358	0,00179	10,5106
34000	1	0,22	0,0011	4,25431	85000	1,14	0,36	0,0018	10,6358
35000	1,01	0,23	0,00115	4,37943	86000	1,142	0,362	0,00181	10,7609
36000	1,02	0,24	0,0012	4,50456	87000	1,145	0,365	0,00183	10,886
37000	1,02	0,24	0,0012	4,62969	88000	1,15	0,37	0,00185	11,0111
38000	1,02	0,24	0,0012	4,75481	89000	1,152	0,372	0,00186	11,1363
39000	1,02	0,24	0,0012	4,87994	90000	1,153	0,373	0,00187	11,2614
40000	1,025	0,245	0,00123	5,00507	91000	1,155	0,375	0,00188	11,3865
41000	1,026	0,246	0,00123	5,13019	92000	1,16	0,38	0,0019	11,5117
42000	1,03	0,25	0,00125	5,25532	93000	1,162	0,382	0,00191	11,6368
43000	1,032	0,252	0,00126	5,38045	94000	1,165	0,385	0,00193	11,7619
44000	1,033	0,253	0,00127	5,50557	95000	1,17	0,39	0,00195	11,887
45000	1,035	0,255	0,00128	5,6307	96000	1,172	0,392	0,00196	12,0122
46000	1,04	0,26	0,0013	5,75583	97000	1,173	0,393	0,00197	12,1373
47000	1,045	0,265	0,00133	5,88095	98000	1,175	0,395	0,00198	12,2624
48000	1,046	0,266	0,00133	6,00608	99000	1,178	0,398	0,00199	12,3875
49000	1,048	0,268	0,00134	6,13121	100000	1,18	0,4	0,002	12,5127
50000	1,05	0,27	0,00135	6,25633					

Tablo B.6. Hacimce % 1 çelik lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastisite modülü değerleri

%1 Çelik Lifli Beton Kiriş Numune Eğ. de. Sehim Değerleri					
Yük (N) Y	L (0,01) mm	L ₀ -L X	Px0,1xL ²	48xALx0,1x 10000/12	E-Modülü kg/cm ²
100	0	0	911250	0	
200	0	0	1822500	0	
300	0,01	0,01	2733750	40	68343,75
400	0,015	0,015	3645000	60	60750
500	0,02	0,02	4556250	80	56953,125
600	0,02	0,02	5467500	80	68343,75
700	0,02	0,02	6378750	80	79734,375
800	0,021	0,021	7290000	84	86785,7143
900	0,025	0,025	8201250	100	82012,5
1000	0,026	0,026	9112500	104	87620,1923
1100	0,028	0,028	10023750	112	89497,7679
1200	0,029	0,029	10935000	116	94267,2414
1300	0,029	0,029	11846250	116	102122,845
1400	0,03	0,03	12757500	120	106312,5
1500	0,03	0,03	13668750	120	113906,25
1600	0,03	0,03	14580000	120	121500
1700	0,03	0,03	15491250	120	129093,75
1800	0,03	0,03	16402500	120	136687,5
1900	0,03	0,03	17313750	120	144281,25
2000	0,03	0,03	18225000	120	151875
2100	0,03	0,03	19136250	120	159468,75
2200	0,03	0,03	20047500	120	167062,5
2300	0,03	0,03	20958750	120	174656,25
2400	0,031	0,031	21870000	124	176370,968
2500	0,032	0,032	22781250	128	177978,516
2600	0,032	0,032	23692500	128	185097,656
2700	0,033	0,033	24603750	132	186392,045
2800	0,033	0,033	25515000	132	193295,455
2900	0,034	0,034	26426250	136	194310,662
3000	0,035	0,035	27337500	140	195267,857
3100	0,036	0,036	28248750	144	196171,875
3200	0,037	0,037	29160000	148	197027,027
3300	0,038	0,038	30071250	152	197837,171
3400	0,039	0,039	30982500	156	198605,769
3500	0,04	0,04	31893750	160	199335,938
3600	0,041	0,041	32805000	164	200030,488
3700	0,042	0,042	33716250	168	200691,964
3800	0,043	0,043	34627500	172	201322,674
3900	0,044	0,044	35538750	176	201924,716
4000	0,045	0,045	36450000	180	202500
4100	0,047	0,047	37361250	188	198730,053
4200	0,049	0,049	38272500	196	195267,857
4300	0,05	0,05	39183750	200	195918,75
4400	0,052	0,052	40095000	208	192764,423
4500	0,053	0,053	41006250	212	193425,708
4600	0,054	0,054	41917500	216	194062,5
4700	0,056	0,056	42828750	224	191199,777
4800	0,057	0,057	43740000	228	191842,105
4900	0,058	0,058	44651250	232	192462,284
5000	0,06	0,06	45562500	240	189843,75
5100	0,062	0,062	46473750	248	187394,153
5200	0,068	0,068	47385000	272	174209,559
5300	0,07	0,07	48296250	280	172486,607
5400	0,075	0,075	49207500	300	164025

5500	0,078	0,078	50118750	312	160637,019
5600	0,08	0,08	51030000	320	159468,75
5700	0,088	0,088	51941250	352	147560,369
5800	0,09	0,09	52852500	360	146812,5
5900	0,098	0,098	53763750	392	137152,423
6000	0,1	0,1	54675000	400	136687,5
6100	0,105	0,105	55586250	420	132348,214
6200	0,106	0,106	56497500	424	133248,821
6300	0,108	0,108	57408750	432	132890,625
6400	0,11	0,11	58320000	440	132545,455
6500	0,12	0,12	59231250	480	123398,438
6600	0,13	0,13	60142500	520	115658,654
6700	0,14	0,14	61053750	560	109024,554
6800	0,145	0,145	61965000	580	106836,207
6900	0,148	0,148	62876250	592	106209,882
7000	0,15	0,15	63787500	600	106312,5
7100	0,16	0,16	64698750	640	101091,797
7200	0,17	0,17	65610000	680	96485,2941
7300	0,18	0,18	66521250	720	92390,625
7400	0,19	0,19	67432500	760	88726,9737
7500	0,2	0,2	68343750	800	85429,6875
7600	0,23	0,23	69255000	920	75277,1739
7700	0,25	0,25	70166250	1000	70166,25
7800	0,26	0,26	71077500	1040	68343,75
7900	0,28	0,28	71988750	1120	64275,6696
8000	0,3	0,3	72900000	1200	60750
8100	0,33	0,33	73811250	1320	55917,6136
8200	0,35	0,35	74722500	1400	53373,2143
8300	0,38	0,38	75633750	1520	49759,0461
8400	0,39	0,39	76545000	1560	49067,3077
8500	0,4	0,4	77456250	1600	48410,1563
8600	0,41	0,41	78367500	1640	47785,061
8700	0,43	0,43	79278750	1720	46092,2965
8800	0,46	0,46	80190000	1840	43581,5217
8900	0,49	0,49	81101250	1960	41378,1888
9000	0,5	0,5	82012500	2000	41006,25
9100	0,51	0,51	82923750	2040	40648,8971
9200	0,52	0,52	83835000	2080	40305,2885
9300	0,55	0,55	84746250	2200	38521,0227
9400	0,56	0,56	85657500	2240	38239,9554
9500	0,58	0,58	86568750	2320	37314,1164
9600	0,6	0,6	87480000	2400	36450
9700	0,67	0,67	88391250	2680	32981,8097
8900	0,8	0,8	81101250	3200	25344,1406
9200	0,9	0,9	83835000	3600	23287,5
9400	1	1	85657500	4000	21414,375
9500	1,05	1,05	86568750	4200	20611,6071
9600	1,1	1,1	87480000	4400	19881,8182
9700	1,15	1,15	88391250	4600	19215,4891
9710	1,25	1,25	88482375	5000	17696,475
9600	1,35	1,35	87480000	5400	16200
9500	1,5	1,5	86568750	6000	14428,125

Tablo B.7. Hacimce %1,5 çelik lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri

% 1,5 Çelik Lifli Beton Silindirik Numunelerde Deformasyon Değ.					Lo= 200		A= 7862,5 mm ²		
Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y	Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y
100 (0)	0,4	0	0	0	51000	1,195	0,795	0,00398	6,48649
1000	0,71	0,31	0,00155	0,12719	52000	1,196	0,796	0,00398	6,61367
2000	0,84	0,44	0,0022	0,25437	53000	1,2	0,8	0,004	6,74086
3000	0,9	0,5	0,0025	0,38156	54000	1,201	0,801	0,00401	6,86804
4000	0,94	0,54	0,0027	0,50874	55000	1,208	0,808	0,00404	6,99523
5000	0,98	0,58	0,0029	0,63593	56000	1,21	0,81	0,00405	7,12242
6000	1	0,6	0,003	0,76312	57000	1,215	0,815	0,00408	7,2496
7000	1,02	0,62	0,0031	0,8903	58000	1,22	0,82	0,0041	7,37679
8000	1,04	0,64	0,0032	1,01749	59000	1,223	0,823	0,00412	7,50397
9000	1,05	0,65	0,00325	1,14467	60000	1,228	0,828	0,00414	7,63116
10000	1,06	0,66	0,0033	1,27186	61000	1,23	0,83	0,00415	7,75835
11000	1,065	0,665	0,00333	1,39905	62000	1,235	0,835	0,00418	7,88553
12000	1,067	0,667	0,00334	1,52623	63000	1,238	0,838	0,00419	8,01272
13000	1,08	0,68	0,0034	1,65342	64000	1,24	0,84	0,0042	8,1399
14000	1,082	0,682	0,00341	1,7806	65000	1,245	0,845	0,00423	8,26709
15000	1,083	0,683	0,00342	1,90779	66000	1,248	0,848	0,00424	8,39428
16000	1,085	0,685	0,00343	2,03498	67000	1,25	0,85	0,00425	8,52146
17000	1,09	0,69	0,00345	2,16216	68000	1,255	0,855	0,00428	8,64865
18000	1,092	0,692	0,00346	2,28935	69000	1,258	0,858	0,00429	8,77583
19000	1,095	0,695	0,00348	2,41653	70000	1,26	0,86	0,0043	8,90302
20000	1,098	0,698	0,00349	2,54372	71000	1,265	0,865	0,00433	9,03021
21000	1,1	0,7	0,0035	2,67091	72000	1,268	0,868	0,00434	9,15739
22000	1,105	0,705	0,00353	2,79809	73000	1,27	0,87	0,00435	9,28458
23000	1,11	0,71	0,00355	2,92528	74000	1,275	0,875	0,00438	9,41176
24000	1,115	0,715	0,00358	3,05246	75000	1,278	0,878	0,00439	9,53895
25000	1,118	0,718	0,00359	3,17965	76000	1,28	0,88	0,0044	9,66614
26000	1,12	0,72	0,0036	3,30684	77000	1,285	0,885	0,00443	9,79332
27000	1,122	0,722	0,00361	3,43402	78000	1,29	0,89	0,00445	9,92051
28000	1,125	0,725	0,00363	3,56121	79000	1,295	0,895	0,00448	10,0477
29000	1,128	0,728	0,00364	3,68839	80000	1,3	0,9	0,0045	10,1749
30000	1,13	0,73	0,00365	3,81558	81000	1,301	0,901	0,00451	10,3021
31000	1,135	0,735	0,00368	3,94277	82000	1,305	0,905	0,00453	10,4293
32000	1,138	0,738	0,00369	4,06995	83000	1,31	0,91	0,00455	10,5564
33000	1,14	0,74	0,0037	4,19714	84000	1,312	0,912	0,00456	10,6836
34000	1,142	0,742	0,00371	4,32432	85000	1,318	0,918	0,00459	10,8108
35000	1,145	0,745	0,00373	4,45151	86000	1,32	0,92	0,0046	10,938
36000	1,148	0,748	0,00374	4,5787	87000	1,328	0,928	0,00464	11,0652
37000	1,15	0,75	0,00375	4,70588	88000	1,33	0,93	0,00465	11,1924
38000	1,152	0,752	0,00376	4,83307	89000	1,335	0,935	0,00468	11,3196
39000	1,153	0,753	0,00377	4,96025	90000	1,34	0,94	0,0047	11,4467
40000	1,159	0,759	0,0038	5,08744	91000	1,342	0,942	0,00471	11,5739
41000	1,16	0,76	0,0038	5,21463	92000	1,348	0,948	0,00474	11,7011
42000	1,163	0,763	0,00382	5,34181	93000	1,35	0,95	0,00475	11,8283
43000	1,168	0,768	0,00384	5,469	94000	1,353	0,953	0,00477	11,9555
44000	1,17	0,77	0,00385	5,59618	95000	1,36	0,96	0,0048	12,0827
45000	1,175	0,775	0,00388	5,72337	96000	1,363	0,963	0,00482	12,2099
46000	1,178	0,778	0,00389	5,85056	97000	1,37	0,97	0,00485	12,337
47000	1,18	0,78	0,0039	5,97774	98000	1,375	0,975	0,00488	12,4642
48000	1,185	0,785	0,00393	6,10493	99000	1,38	0,98	0,0049	12,5914
49000	1,189	0,789	0,00395	6,23211	100000	1,39	0,99	0,00495	12,7186
50000	1,19	0,79	0,00395	6,3593					

Tablo B.8. Hacimce % 1,5 çelik lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastisite modülü değerleri

%1,5 Çelik Lifli Beton Kiriş Numunelerinde Eğilme Altında Sehim Değerleri					
Yük (N) Y	L (0,01) mm	Lo/L X	P (0,1) kN	48x48x0,1x 10000/12	E-Modülü kg/cm ²
100	0,05	0	911250	0	
200	0,08	0,03	1822500	120	15187,5
300	0,1	0,05	2733750	200	13668,75
400	0,11	0,06	3645000	240	15187,5
500	0,115	0,065	4556250	260	17524,0385
600	0,118	0,068	5467500	272	20101,1029
700	0,119	0,069	6378750	276	23111,413
800	0,12	0,07	7290000	280	26035,7143
900	0,12	0,07	8201250	280	29290,1786
1000	0,12	0,07	9112500	280	32544,6429
1100	0,12	0,07	10023750	280	35799,1071
1200	0,12	0,07	10935000	280	39053,5714
1300	0,12	0,07	11846250	280	42308,0357
1400	0,12	0,07	12757500	280	45562,5
1500	0,12	0,07	13668750	280	48816,9643
1600	0,12	0,07	14580000	280	52071,4286
1700	0,12	0,07	15491250	280	55325,8929
1800	0,12	0,07	16402500	280	58580,3571
1900	0,12	0,07	17313750	280	61834,8214
2000	0,12	0,07	18225000	280	65089,2857
2100	0,12	0,07	19136250	280	68343,75
2200	0,12	0,07	20047500	280	71598,2143
2300	0,12	0,07	20958750	280	74852,6786
2400	0,12	0,07	21870000	280	78107,1429
2500	0,12	0,07	22781250	280	81361,6071
2600	0,12	0,07	23692500	280	84616,0714
2700	0,12	0,07	24603750	280	87870,5357
2800	0,12	0,07	25515000	280	91125
2900	0,12	0,07	26426250	280	94379,4643
3000	0,12	0,07	27337500	280	97633,9286
3100	0,12	0,07	28248750	280	100888,393
3200	0,12	0,07	29160000	280	104142,857
3300	0,12	0,07	30071250	280	107397,321
3400	0,12	0,07	30982500	280	110651,786
3500	0,12	0,07	31893750	280	113906,25
3600	0,12	0,07	32805000	280	117160,714
3700	0,12	0,07	33716250	280	120415,179
3800	0,12	0,07	34627500	280	123669,643
3900	0,12	0,07	35538750	280	126924,107
4000	0,12	0,07	36450000	280	130178,571
4100	0,12	0,07	37361250	280	133433,036
4200	0,12	0,07	38272500	280	136687,5
4300	0,12	0,07	39183750	280	139941,964
4400	0,12	0,07	40095000	280	143196,429
4500	0,12	0,07	41006250	280	146450,893
4600	0,12	0,07	41917500	280	149705,357
4700	0,12	0,07	42828750	280	152959,821
4800	0,12	0,07	43740000	280	156214,286
4900	0,121	0,071	44651250	284	157222,711
5000	0,122	0,072	45562500	288	158203,125
5100	0,123	0,073	46473750	292	159156,678
5200	0,124	0,074	47385000	296	160084,459
5300	0,125	0,075	48296250	300	160987,5
5400	0,128	0,078	49207500	312	157716,346

5500	0,13	0,08	50118750	320	156621,094
5600	0,132	0,082	51030000	328	155579,268
5700	0,133	0,083	51941250	332	156449,548
5800	0,138	0,088	52852500	352	150149,148
5900	0,14	0,09	53763750	360	149343,75
6000	0,17	0,12	54675000	480	113906,25
6100	0,18	0,13	55586250	520	106896,635
5200	0,55	0,5	47385000	2000	23692,5
5300	0,56	0,51	48296250	2040	23674,6324
5400	0,61	0,56	49207500	2240	21967,6339
5500	0,63	0,58	50118750	2320	21602,9095
5600	0,66	0,61	51030000	2440	20913,9344
5700	0,68	0,63	51941250	2520	20611,6071
5800	0,71	0,66	52852500	2640	20019,8864
5900	0,77	0,72	53763750	2880	18667,9688
6000	0,81	0,76	54675000	3040	17985,1974
6100	0,85	0,8	55586250	3200	17370,7031
6200	0,95	0,9	56497500	3600	15693,75
6300	1,05	1	57408750	4000	14352,1875
6400	1,1	1,05	58320000	4200	13885,7143
6500	1,18	1,13	59231250	4520	13104,2588
6600	1,28	1,23	60142500	4920	12224,0854
6700	1,37	1,32	61053750	5280	11563,2102
6800	1,47	1,42	61965000	5680	10909,331
6900	1,58	1,53	62876250	6120	10273,8971
7000	1,8	1,75	63787500	7000	9112,5
7100	1,95	1,9	64698750	7600	8512,99342
7200	2	1,95	65610000	7800	8411,53846



Tablo B.9. Hacimce % 0,06 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri

% 0,06 Polipropilen Lifli Beton Silindirik Numunelerde Deform. Değ.					L ₀ = 200		A = 7894,02 mm ²		
Yük (N)	L (0,01) mm	L ₀ -L (0,01) mm	L ₀ -L/L ₀ X	P/A Y	Yük (N)	L (0,01) mm	L ₀ -L (0,01) mm	L ₀ -L/L ₀ X	P/A Y
100 (0)	0,08	0	0	0	51000	0,74	0,66	0,0033	6,46059
1000	0,28	0,2	0,001	0,12668	52000	0,742	0,662	0,00331	6,58726
2000	0,43	0,35	0,00175	0,25336	53000	0,745	0,665	0,00333	6,71394
3000	0,48	0,4	0,002	0,38003	54000	0,748	0,668	0,00334	6,84062
4000	0,53	0,45	0,00225	0,50671	55000	0,75	0,67	0,00335	6,9673
5000	0,55	0,47	0,00235	0,63339	56000	0,755	0,675	0,00338	7,09398
6000	0,56	0,48	0,0024	0,76007	57000	0,756	0,676	0,00338	7,22066
7000	0,57	0,49	0,00245	0,88675	58000	0,758	0,678	0,00339	7,34733
8000	0,58	0,5	0,0025	1,01343	59000	0,76	0,68	0,0034	7,47401
9000	0,59	0,51	0,00255	1,1401	60000	0,762	0,682	0,00341	7,60069
10000	0,6	0,52	0,0026	1,26678	61000	0,763	0,683	0,00342	7,72737
11000	0,602	0,522	0,00261	1,39346	62000	0,765	0,685	0,00343	7,85405
12000	0,61	0,53	0,00265	1,52014	63000	0,768	0,688	0,00344	7,98072
13000	0,611	0,531	0,00266	1,64682	64000	0,769	0,689	0,00345	8,1074
14000	0,62	0,54	0,0027	1,77349	65000	0,77	0,69	0,00345	8,23408
15000	0,622	0,542	0,00271	1,90017	66000	0,778	0,698	0,00349	8,36076
16000	0,625	0,545	0,00273	2,02685	67000	0,78	0,7	0,0035	8,48744
17000	0,63	0,55	0,00275	2,15353	68000	0,783	0,703	0,00352	8,61412
18000	0,635	0,555	0,00278	2,28021	69000	0,785	0,705	0,00353	8,74079
19000	0,64	0,56	0,0028	2,40689	70000	0,788	0,708	0,00354	8,86747
20000	0,645	0,565	0,00283	2,53356	71000	0,79	0,71	0,00355	8,99415
21000	0,65	0,57	0,00285	2,66024	72000	0,793	0,713	0,00357	9,12083
22000	0,655	0,575	0,00288	2,78692	73000	0,795	0,715	0,00358	9,24751
23000	0,658	0,578	0,00289	2,9136	74000	0,798	0,718	0,00359	9,37418
24000	0,66	0,58	0,0029	3,04028	75000	0,799	0,719	0,0036	9,50086
25000	0,665	0,585	0,00293	3,16695	76000	0,8	0,72	0,0036	9,62754
26000	0,668	0,588	0,00294	3,29363	77000	0,803	0,723	0,00362	9,75422
27000	0,669	0,589	0,00295	3,42031	78000	0,805	0,725	0,00363	9,8809
28000	0,67	0,59	0,00295	3,54699	79000	0,808	0,728	0,00364	10,0076
29000	0,675	0,595	0,00298	3,67367	80000	0,81	0,73	0,00365	10,1343
30000	0,678	0,598	0,00299	3,80035	81000	0,815	0,735	0,00368	10,2609
31000	0,68	0,6	0,003	3,92702	82000	0,816	0,736	0,00368	10,3876
32000	0,685	0,605	0,00303	4,0537	83000	0,82	0,74	0,0037	10,5143
33000	0,688	0,608	0,00304	4,18038	84000	0,825	0,745	0,00373	10,641
34000	0,69	0,61	0,00305	4,30706	85000	0,828	0,748	0,00374	10,7676
35000	0,695	0,615	0,00308	4,43374	86000	0,83	0,75	0,00375	10,8943
36000	0,698	0,618	0,00309	4,56041	87000	0,833	0,753	0,00377	11,021
37000	0,7	0,62	0,0031	4,68709	88000	0,835	0,755	0,00378	11,1477
38000	0,702	0,622	0,00311	4,81377	89000	0,838	0,758	0,00379	11,2744
39000	0,705	0,625	0,00313	4,94045	90000	0,84	0,76	0,0038	11,401
40000	0,708	0,628	0,00314	5,06713	91000	0,845	0,765	0,00383	11,5277
41000	0,71	0,63	0,00315	5,1938	92000	0,848	0,768	0,00384	11,6544
42000	0,715	0,635	0,00318	5,32048	93000	0,85	0,77	0,00385	11,7811
43000	0,715	0,635	0,00318	5,44716	94000	0,855	0,775	0,00388	11,9077
44000	0,718	0,638	0,00319	5,57384	95000	0,858	0,778	0,00389	12,0344
45000	0,72	0,64	0,0032	5,70052	96000	0,859	0,779	0,0039	12,1611
46000	0,725	0,645	0,00323	5,8272	97000	0,86	0,78	0,0039	12,2878
47000	0,728	0,648	0,00324	5,95387	98000	0,866	0,786	0,00393	12,4145
48000	0,73	0,65	0,00325	6,08055	99000	0,867	0,787	0,00394	12,5411
49000	0,735	0,655	0,00328	6,20723	100000	0,87	0,79	0,00395	12,6678
50000	0,738	0,658	0,00329	6,33391					

Tablo B.10. Hacimce % 0,06 polipropilen lifli beton kırış numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastisite modülü değerleri

%0,06 Poliprop Lifli Beton Kırış Numune Eğ. de Schim Değerleri					
Ynk (N) Y	L(0,01) mm	L ₀ -L X	Px0,1x1 ³	48x31x0,1x 10000/12	E-Modülü kg/cm ²
100	0,05	0	911250	0	
200	0,06	0,01	1822500	40	45562,5
300	0,08	0,03	2733750	120	22781,25
400	0,09	0,04	3645000	160	22781,25
500	0,1	0,05	4556250	200	22781,25
600	0,12	0,07	5467500	280	19526,7857
700	0,13	0,08	6378750	320	19933,5938
800	0,14	0,09	7290000	360	20250
900	0,145	0,095	8201250	380	21582,2368
1000	0,15	0,1	9112500	400	22781,25
1100	0,155	0,105	10023750	420	23866,0714
1200	0,16	0,11	10935000	440	24852,2727
1300	0,17	0,12	11846250	480	24679,6875
1400	0,18	0,13	12757500	520	24533,6538
1500	0,19	0,14	13668750	560	24408,4821
1600	0,19	0,14	14580000	560	26035,7143
1700	0,19	0,14	15491250	560	27662,9464
1800	0,2	0,15	16402500	600	27337,5
1900	0,2	0,15	17313750	600	28856,25
2000	0,21	0,16	18225000	640	28476,5625
2100	0,215	0,165	19136250	660	28994,3182
2200	0,22	0,17	20047500	680	29481,6176
2300	0,22	0,17	20958750	680	30821,6912
2400	0,22	0,17	21870000	680	32161,7647
2500	0,228	0,178	22781250	712	31996,1376
2600	0,23	0,18	23692500	720	32906,25
2700	0,23	0,18	24603750	720	34171,875
2800	0,24	0,19	25515000	760	33572,3684
2900	0,242	0,192	26426250	768	34409,1797
3000	0,248	0,198	27337500	792	34517,0455
3100	0,25	0,2	28248750	800	35310,9375
3200	0,25	0,2	29160000	800	36450
3300	0,255	0,205	30071250	820	36672,2561
3400	0,26	0,21	30982500	840	36883,9286
3500	0,26	0,21	31893750	840	37968,75
3600	0,26	0,21	32805000	840	39053,5714
3700	0,268	0,218	33716250	872	38665,4243
3800	0,27	0,22	34627500	880	39349,4318
3900	0,28	0,23	35538750	920	38629,0761

Tablo B11. Hacimce % 0,08 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri

% 0,08 Polipropilen Lifli Beton Silindirik Numunelerde Deformasyon Değ.					Lo=200		A=7798,27 mm ²		
Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y	Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y
100 (0)	0,05	0	0	0	51000	0,425	0,375	0,00188	6,53991
1000	0,15	0,1	0,0005	0,12823	52000	0,428	0,378	0,00189	6,66815
2000	0,19	0,14	0,0007	0,25647	53000	0,43	0,38	0,0019	6,79638
3000	0,21	0,16	0,0008	0,3847	54000	0,435	0,385	0,00193	6,92461
4000	0,22	0,17	0,00085	0,51293	55000	0,438	0,388	0,00194	7,05285
5000	0,23	0,18	0,0009	0,64117	56000	0,44	0,39	0,00195	7,18108
6000	0,24	0,19	0,00095	0,7694	57000	0,448	0,398	0,00199	7,30931
7000	0,244	0,194	0,00097	0,89763	58000	0,45	0,4	0,002	7,43755
8000	0,25	0,2	0,001	1,02587	59000	0,458	0,408	0,00204	7,56578
9000	0,25	0,2	0,001	1,1541	60000	0,46	0,41	0,00205	7,69401
10000	0,26	0,21	0,00105	1,28234	61000	0,465	0,415	0,00208	7,82225
11000	0,27	0,22	0,0011	1,41057	62000	0,468	0,418	0,00209	7,95048
12000	0,275	0,225	0,00113	1,5388	63000	0,47	0,42	0,0021	8,07871
13000	0,278	0,228	0,00114	1,66704	64000	0,475	0,425	0,00213	8,20695
14000	0,28	0,23	0,00115	1,79527	65000	0,476	0,426	0,00213	8,33518
15000	0,29	0,24	0,0012	1,9235	66000	0,478	0,428	0,00214	8,46342
16000	0,295	0,245	0,00123	2,05174	67000	0,48	0,43	0,00215	8,59165
17000	0,298	0,248	0,00124	2,17997	68000	0,485	0,435	0,00218	8,71988
18000	0,3	0,25	0,00125	2,3082	69000	0,488	0,438	0,00219	8,84812
19000	0,305	0,255	0,00128	2,43644	70000	0,49	0,44	0,0022	8,97635
20000	0,31	0,26	0,0013	2,56467	71000	0,495	0,445	0,00223	9,10458
21000	0,315	0,265	0,00133	2,6929	72000	0,498	0,448	0,00224	9,23282
22000	0,316	0,266	0,00133	2,82114	73000	0,5	0,45	0,00225	9,36105
23000	0,318	0,268	0,00134	2,94937	74000	0,508	0,458	0,00229	9,48928
24000	0,32	0,27	0,00135	3,07761	75000	0,51	0,46	0,0023	9,61752
25000	0,325	0,275	0,00138	3,20584	76000	0,515	0,465	0,00233	9,74575
26000	0,328	0,278	0,00139	3,33407	77000	0,518	0,468	0,00234	9,87398
27000	0,33	0,28	0,0014	3,46231	78000	0,52	0,47	0,00235	10,0022
28000	0,34	0,29	0,00145	3,59054	79000	0,525	0,475	0,00238	10,1305
29000	0,345	0,295	0,00148	3,71877	80000	0,528	0,478	0,00239	10,2587
30000	0,35	0,3	0,0015	3,84701	81000	0,53	0,48	0,0024	10,3869
31000	0,355	0,305	0,00153	3,97524	82000	0,538	0,488	0,00244	10,5152
32000	0,358	0,308	0,00154	4,10347	83000	0,54	0,49	0,00245	10,6434
33000	0,359	0,309	0,00155	4,23171	84000	0,548	0,498	0,00249	10,7716
34000	0,36	0,31	0,00155	4,35994	85000	0,55	0,5	0,0025	10,8999
35000	0,365	0,315	0,00158	4,48817	86000	0,556	0,506	0,00253	11,0281
36000	0,368	0,318	0,00159	4,61641	87000	0,558	0,508	0,00254	11,1563
37000	0,37	0,32	0,0016	4,74464	88000	0,559	0,509	0,00255	11,2846
38000	0,375	0,325	0,00163	4,87288	89000	0,56	0,51	0,00255	11,4128
39000	0,378	0,328	0,00164	5,00111	90000	0,566	0,516	0,00258	11,541
40000	0,38	0,33	0,00165	5,12934	91000	0,568	0,518	0,00259	11,6693
41000	0,388	0,338	0,00169	5,25758	92000	0,57	0,52	0,0026	11,7975
42000	0,39	0,34	0,0017	5,38581	93000	0,575	0,525	0,00263	11,9257
43000	0,395	0,345	0,00173	5,51404	94000	0,578	0,528	0,00264	12,054
44000	0,4	0,35	0,00175	5,64228	95000	0,58	0,53	0,00265	12,1822
45000	0,405	0,355	0,00178	5,77051	96000	0,585	0,535	0,00268	12,3104
46000	0,408	0,358	0,00179	5,89874	97000	0,588	0,538	0,00269	12,4387
47000	0,409	0,359	0,0018	6,02698	98000	0,59	0,54	0,0027	12,5669
48000	0,41	0,36	0,0018	6,15521	99000	0,598	0,548	0,00274	12,6951
49000	0,418	0,368	0,00184	6,28344	100000	0,6	0,55	0,00275	12,8234
50000	0,42	0,37	0,00185	6,41168					

Tablo B.12. Hacimce % 0,08 polipropilen lifli beton kiriş numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastisite modülü değerleri

%0,08 Poliprop. Lifli Beton Kiriş Numune Eğ. de Sehim Değeri					
Yük (N) Y	L (0,01) mm	L ₀ -L X	P ₀ (N)	ΔL (0,01) mm 10000/ΔL	E-Modülü kg/cm ²
100	0	0	911250	0	
200	0,01	0,01	1822500	40	45562,5
300	0,02	0,02	2733750	80	34171,875
400	0,025	0,025	3645000	100	36450
500	0,03	0,03	4556250	120	37968,75
600	0,035	0,035	5467500	140	39053,57143
700	0,04	0,04	6378750	160	39867,1875
800	0,05	0,05	7290000	200	36450
900	0,05	0,05	8201250	200	41006,25
1000	0,05	0,05	9112500	200	45562,5
1100	0,06	0,06	10023750	240	41765,625
1200	0,06	0,06	10935000	240	45562,5
1300	0,06	0,06	11846250	240	49359,375
1400	0,06	0,06	12757500	240	53156,25
1500	0,06	0,06	13668750	240	56953,125
1600	0,07	0,07	14580000	280	52071,42857
1700	0,07	0,07	15491250	280	55325,89286
1800	0,07	0,07	16402500	280	58580,35714
1900	0,07	0,07	17313750	280	61834,82143
2000	0,08	0,08	18225000	320	56953,125
2100	0,08	0,08	19136250	320	59800,78125
2200	0,08	0,08	20047500	320	62648,4375
2300	0,08	0,08	20958750	320	65496,09375
2400	0,08	0,08	21870000	320	68343,75
2500	0,08	0,08	22781250	320	71191,40625
2600	0,09	0,09	23692500	360	65812,5
2700	0,09	0,09	24603750	360	68343,75
2800	0,09	0,09	25515000	360	70875
2900	0,09	0,09	26426250	360	73406,25
3000	0,1	0,1	27337500	400	68343,75
3100	0,1	0,1	28248750	400	70621,875
3200	0,1	0,1	29160000	400	72900
3300	0,1	0,1	30071250	400	75178,125
3400	0,1	0,1	30982500	400	77456,25
3500	0,1	0,1	31893750	400	79734,375
3600	0,1	0,1	32805000	400	82012,5
3700	0,11	0,11	33716250	440	76627,84091
3800	0,11	0,11	34627500	440	78698,86364
3900	0,11	0,11	35538750	440	80769,88636
4000	0,11	0,11	36450000	440	82840,90909
4100	0,11	0,11	37361250	440	84911,93182
4200	0,12	0,12	38272500	480	79734,375
4300	0,12	0,12	39183750	480	81632,8125
4400	0,12	0,12	40095000	480	83531,25
4500	0,12	0,12	41006250	480	85429,6875
4600	0,12	0,12	41917500	480	87328,125
4700	0,13	0,13	42828750	520	82362,98077
4800	0,13	0,13	43740000	520	84115,38462
4900	0,13	0,13	44651250	520	85867,78846
5000	0,13	0,13	45562500	520	87620,19231
5100	0,13	0,13	46473750	520	89372,59615
5200	0,14	0,14	47385000	560	84616,07143
5300	0,14	0,14	48296250	560	86243,30357
5400	0,14	0,14	49207500	560	87870,53571
5500	0,14	0,14	50118750	560	89497,76786
5600	0,14	0,14	51030000	560	91125
5700	0,15	0,15	51941250	600	86568,75
5800	0,15	0,15	52852500	600	88087,5
5900	0,16	0,16	53763750	640	84005,85938

Tablo B.13. Hacimce % 0,09 polipropilen lifli beton silindir numunelerde basınç gerilmesi altında deformasyon değerleri

% 0,09 Polipropilen Lifli Beton Silindirik Numunelerde Defor. Deg.					Lo-200		A= 7846,86 mm ²		
Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y	Yük (N)	L (0,01) mm	Lo-L (0,01) mm	Lo-L/Lo X	P/A Y
100 (0)	0,65	0	0	0	51000	0,96	0,31	0,00155	6,49942
1000	0,75	0,1	0,0005	0,12744	52000	0,963	0,313	0,00157	6,62685
2000	0,78	0,13	0,00065	0,25488	53000	0,965	0,315	0,00158	6,75429
3000	0,8	0,15	0,00075	0,38232	54000	0,968	0,318	0,00159	6,88173
4000	0,81	0,16	0,0008	0,50976	55000	0,97	0,32	0,0016	7,00917
5000	0,815	0,165	0,00083	0,6372	56000	0,973	0,323	0,00162	7,13661
6000	0,82	0,17	0,00085	0,76464	57000	0,975	0,325	0,00163	7,26405
7000	0,83	0,18	0,0009	0,89208	58000	0,978	0,328	0,00164	7,39149
8000	0,838	0,188	0,00094	1,01952	59000	0,98	0,33	0,00165	7,51893
9000	0,84	0,19	0,00095	1,14696	60000	0,985	0,335	0,00168	7,64637
10000	0,845	0,195	0,00098	1,2744	61000	0,988	0,338	0,00169	7,77381
11000	0,848	0,198	0,00099	1,40183	62000	0,99	0,34	0,0017	7,90125
12000	0,85	0,2	0,001	1,52927	63000	0,993	0,343	0,00172	8,02869
13000	0,855	0,205	0,00103	1,65671	64000	0,995	0,345	0,00173	8,15613
14000	0,858	0,208	0,00104	1,78415	65000	0,998	0,348	0,00174	8,28357
15000	0,86	0,21	0,00105	1,91159	66000	1	0,35	0,00175	8,41101
16000	0,865	0,215	0,00108	2,03903	67000	1,01	0,36	0,0018	8,53845
17000	0,866	0,216	0,00108	2,16647	68000	1,011	0,361	0,00181	8,66589
18000	0,868	0,218	0,00109	2,29391	69000	1,013	0,363	0,00182	8,79333
19000	0,87	0,22	0,0011	2,42135	70000	1,015	0,365	0,00183	8,92077
20000	0,875	0,225	0,00113	2,54879	71000	1,016	0,366	0,00183	9,04821
21000	0,878	0,228	0,00114	2,67623	72000	1,018	0,368	0,00184	9,17564
22000	0,88	0,23	0,00115	2,80367	73000	1,02	0,37	0,00185	9,30308
23000	0,885	0,235	0,00118	2,93111	74000	1,023	0,373	0,00187	9,43052
24000	0,889	0,239	0,0012	3,05855	75000	1,024	0,374	0,00187	9,55796
25000	0,89	0,24	0,0012	3,18599	76000	1,03	0,38	0,0019	9,6854
26000	0,895	0,245	0,00123	3,31343	77000	1,035	0,385	0,00193	9,81284
27000	0,896	0,246	0,00123	3,44087	78000	1,036	0,386	0,00193	9,94028
28000	0,898	0,248	0,00124	3,56831	79000	1,038	0,388	0,00194	10,0677
29000	0,9	0,25	0,00125	3,69575	80000	1,04	0,39	0,00195	10,1952
30000	0,905	0,255	0,00128	3,82319	81000	1,043	0,393	0,00197	10,3226
31000	0,908	0,258	0,00129	3,95062	82000	1,045	0,395	0,00198	10,45
32000	0,91	0,26	0,0013	4,07806	83000	1,048	0,398	0,00199	10,5775
33000	0,915	0,265	0,00133	4,2055	84000	1,05	0,4	0,002	10,7049
34000	0,916	0,266	0,00133	4,33294	85000	1,055	0,405	0,00203	10,8324
35000	0,918	0,268	0,00134	4,46038	86000	1,058	0,408	0,00204	10,9598
36000	0,92	0,27	0,00135	4,58782	87000	1,06	0,41	0,00205	11,0872
37000	0,925	0,275	0,00138	4,71526	88000	1,063	0,413	0,00207	11,2147
38000	0,928	0,278	0,00139	4,8427	89000	1,07	0,42	0,0021	11,3421
39000	0,93	0,28	0,0014	4,97014	90000	1,075	0,425	0,00213	11,4696
40000	0,935	0,285	0,00143	5,09758	91000	1,078	0,428	0,00214	11,597
41000	0,938	0,288	0,00144	5,22502	92000	1,08	0,43	0,00215	11,7244
42000	0,939	0,289	0,00145	5,35246	93000	1,085	0,435	0,00218	11,8519
43000	0,94	0,29	0,00145	5,4799	94000	1,086	0,436	0,00218	11,9793
44000	0,943	0,293	0,00147	5,60734	95000	1,088	0,438	0,00219	12,1068
45000	0,945	0,295	0,00148	5,73478	96000	1,09	0,44	0,0022	12,2342
46000	0,948	0,298	0,00149	5,86222	97000	1,093	0,443	0,00222	12,3616
47000	0,949	0,299	0,0015	5,98966	98000	1,095	0,445	0,00223	12,4891
48000	0,95	0,3	0,0015	6,1171	99000	1,098	0,448	0,00224	12,6165
49000	0,953	0,303	0,00152	6,24454	100000	1,1	0,45	0,00225	12,744
50000	0,958	0,308	0,00154	6,37198					

Tablo B.14. Hacimce % 0,09 polipropilen lifli beton kırış numunelerde eğilmede çekme gerilmesi altında sehim ve elastisite modülü değeri

%0,09 Poliprop. Lifli Beton Kırış Numune Eğ. de Sehim Değeri					
Yük (N) Y	L (0,01) mm	Lo/L %	Px0,1x1 ²	48x41x0,1x 10000/12	E-Modülü kg/cm ²
100	0	0	911250	0	
200	0	0	1822500	0	
300	0	0	2733750	0	
400	0	0	3645000	0	
500	0	0	4556250	0	
600	0	0	5467500	0	
700	0	0	6378750	0	
800	0	0	7290000	0	
900	0	0	8201250	0	
1000	0	0	9112500	0	
1100	0	0	10023750	0	
1200	0	0	10935000	0	
1300	0,01	0,01	11846250	40	296156,25
1400	0,02	0,02	12757500	80	159468,75
1500	0,02	0,02	13668750	80	170859,375
1600	0,02	0,02	14580000	80	182250
1700	0,02	0,02	15491250	80	193640,625
1800	0,02	0,02	16402500	80	205031,25
1900	0,02	0,02	17313750	80	216421,875
2000	0,03	0,03	18225000	120	151875
2100	0,03	0,03	19136250	120	159468,75
2200	0,03	0,03	20047500	120	167062,5
2300	0,03	0,03	20958750	120	174656,25
2400	0,03	0,03	21870000	120	182250
2500	0,04	0,04	22781250	160	142382,813
2600	0,04	0,04	23692500	160	148078,125
2700	0,04	0,04	24603750	160	153773,438
2800	0,04	0,04	25515000	160	159468,75
2900	0,05	0,05	26426250	200	132131,25
3000	0,05	0,05	27337500	200	136687,5
3100	0,06	0,06	28248750	240	117703,125
3200	0,06	0,06	29160000	240	121500
3300	0,06	0,06	30071250	240	125296,875
3400	0,06	0,06	30982500	240	129093,75
3500	0,06	0,06	31893750	240	132890,625
3600	0,07	0,07	32805000	280	117160,714
3700	0,07	0,07	33716250	280	120415,179
3800	0,08	0,08	34627500	320	108210,938
3900	0,08	0,08	35538750	320	111058,594
4000	0,08	0,08	36450000	320	113906,25
4100	0,09	0,09	37361250	360	103781,25
4200	0,09	0,09	38272500	360	106312,5
4300	0,09	0,09	39183750	360	108843,75
4400	0,1	0,1	40095000	400	100237,5
4500	0,11	0,11	41006250	440	93196,0227

ÖZGEÇMİŞ

Eylül, 1974 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini İskender Paşa İlkokulu'nda, Orta öğrenimini A. Merter Ortaokulu'nda, Lise öğrenimini Özel Tercüman Lisesi'nde yaptı. 1993-1998 yılları arasında öğrenim gördüğü Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nden mezun oldu. Lisans döneminde ve mezun olduktan sonra İnşaat ve Dekorasyon firmalarında çalıştı. Seden ACUN halen 1999 yılında yüksek lisans için başladığı İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi Birimi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

