

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞ CEPHEDE KULLANILAN CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON
PANELLERİN DURABİLİTESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Şenay TUNA**

Anabilim Dalı : Mimarlık

Programı : Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞ CEPHEDE KULLANILAN CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON
PANELLERİN DURABİLİTESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Şenay TUNA
(502071716)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa E. KARAGÜLER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU (İTÜ)
Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY (MSGSÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı hazırlamam sırasında bilgi, destek ve yardımlarıyla yanımda olan değerli hocam Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER'e; deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımlarından dolayı Teknisyen İbrahim ÖZTÜRK'e, Araş. Gör. Serkan YATAĞAN'a, Araş. Gör. Şebnem KULOĞLU'na; kullandığım deney malzemelerini temin eden Fibrobeton Yapı Elemanları San. İnş. ve Tic. Ltd. Şti.'ye, bilgi ve tecrübelerini paylaşan Fibrobeton icra kurulu üyesi sayın Muhammed MARAŞLI'ya ve İnş. Müh. Beni KOHEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olup, yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Y.Mimar Adlen Ayla HİLMİOĞLU'na; hoşgörü ve destekleri için Mimar Belgin SAYAN'a, Y.Mimar A. Fatih SAYAN'a ve tüm çalışma arkadaşlarıma; hayatım boyunca gösterdikleri sonsuz sevgi ve destekleri için annem Emregül TUNA, babam İsmet TUNA ve tüm aileme teşekkür ederim.

Haziran 2010

Şenay Tuna
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
2. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (CTÇ/GRC).....	3
2.1 CTÇ (GRC)'nin Tanımı ve Tarihi.....	3
2.1.1 Tanımı	3
2.1.2 Tarihi	4
2.2 CTÇ (GRC)'yi Oluşturan Malzemeler	5
2.2.1 Çimento	5
2.2.2 Kum.....	6
2.2.3 Elyaf	6
2.2.4 Kimyasal katkıları	7
2.2.5 Yüzey koruyucular	8
2.2.6 Dekoratif yüzey karışımları	8
2.3 CTÇ (GRC)'nin İmalatı	8
2.3.1 Kalıplar.....	9
2.3.2 Karışım oranları	9
2.3.3 Püskürtme yöntemiyle imalat.....	10
2.3.4 Önceden karıştırma yöntemiyle imalat	11
2.3.5 Yüzey bitişi	11
2.4 CTÇ (GRC)'nin Fiziksel Özellikleri	12
2.4.1 Boyutsal kararlılık.....	12
2.4.2 Geçirimlilik	12
2.4.3 Su buharı difüzyonu	12
2.5 CTÇ (GRC)'nin Kimyasal Özellikleri	13
2.5.1 Alkalilere dayanıklı cam elyaflar	13
2.5.2 Değiştirilmiş çimento matrisleri.....	14
2.6 CTÇ (GRC)'nin Mekanik Özellikleri	14
2.6.1 Çekme ve eğilme dayanımı	15
2.6.1.1 Eskimemiş CTÇ'nin tipik yük-deformasyon tepkisi	16
2.6.1.2 Uzun dönem ışıklamayı simüle etmek için eskime testleri	17
2.6.1.3 Uzun dönem davranış: hızlandırılmış eskime	20
2.6.2 Elastisite modülü.....	20
2.6.3 Basınç mukavemeti	20

2.6.4 Rötire ve uzama değeri.....	20
2.6.5 Su absorpsiyonu ve yoğunluk	21
2.6.6 Yangına dayanıklılık	21
2.6.7 Darbe mukavemeti	21
2.6.8 Depreme dayanıklılık	21
2.7 CTÇ (GRC)'nin Termik Özellikleri	22
2.7.1 Isıl genleşme katsayısı.....	22
2.7.2 Isıl iletkenlik katsayısı.....	22
2.8 CTÇ (GRC)'nin Montaj Sistemleri	22
2.8.1 Çelik karkaslı iskelet (steel stud frame)	22
2.8.1.1 Esnek ankastre (flex anchor) birleşimler	25
2.8.1.2 Yerçekimli ankastre (gravity anchor) birleşimler	25
2.8.1.3 Deprem bölgeleri için ankastre birleşim detayları	25
2.8.2 Çelik karkaslı iskeletin CTÇ (GRC) panellere montajı	26
2.9 CTÇ (GRC)'nin Kullanım Alanları.....	27
2.9.1 CTÇ (GRC)'nin mimarlık alanında kullanımı	27
2.9.1.1 Cephe kaplaması	28
2.9.1.2 Yüzey bitiş elemanları ve silmeler	29
2.9.1.3 Peyzaj	30
2.9.2 CTÇ (GRC)'nin yapıda kullanımı	30
2.9.2.1 Çatı kaplama malzemesi	31
2.9.2.2 Duvarlar ve pencereler	71
2.9.2.3 Yenileme	32
2.9.2.4 Temeller ve döşemeler	33
2.9.2.5 Modüler yapılar	33
2.9.3 CTÇ (GRC)'nin mühendislik alanında kullanımı	34
2.9.3.1 Kalıcı kalıp	34
2.9.3.2 Kamu hizmetleri	34
2.9.3.3 Akustik	35
2.9.3.4 Köprüler ve tüneller	35
2.9.3.5 Su ve drenaj	35
3. CTÇ (GRC)'NİN KALİTE KONTROL TESTLERİ	37
3.1 Malzeme Kalibrasyon Testleri	37
3.1.1 Sulu çimento akış hızı testi (kova testi)	37
3.1.2 Elyaf akış hızı testi (çanta testi)	37
3.2 Kalınlık Testi	38
3.3 Matriks Kıvamının Ölçülmesi (Slamp Deneyi).....	38
3.4 Suya Daldırma Yoluyla Su Emme ve Kuru Yoğunluk Tayini	40
3.5 Islak Yoğunluk Testi	43
3.6 Taze CTÇ'de Lif İçeriğinin Ölçülmesi (Yıkama Deneyi).....	44
3.7 Püskürtme CTÇ'nin Lif İçeriğinin Ölçülmesi	46
3.8 Güçlendirilmiş CTÇ İçin Testler	48
3.9 Eğilme Dayanımı Tayini (Basit Eğilme Deneyi)	49
3.10 Eğilme Dayanımı Tayini (Tam Eğilme Deneyi)	53
3.11 Rutubet Nedeniyle En Büyük Boyutsal Değişimlerin Ölçülmesi	59
3.12 Tekrarlı Hava Şartlarında Yıpranma Tip Deneyi	63
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	69
4.1 Deneysel Çalışmanın Programlanması.....	69
4.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Örnekler	70
4.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar	70

4.4 Deneyler	70
4.4.1 Fiziksel deneyler	71
4.4.1.1 Suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini deneyi	71
4.4.1.2 Boşluk yapısı ve geçirimsizlik deneyi	74
Su geçirimsizliği deneyi	74
Buhar geçirimsizliği deneyi	74
4.4.2 Durabilite deneyleri.....	81
4.4.2.1 Tekrarlı hava şartlarında yıpranma tip deneyi	81
4.4.2.2 Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi	86
4.4.2.3 Rutubet nedeniyle en büyük boyutsal değişimlerin ölçülmesi	92
4.4.3 Mekanik deneyler.....	97
4.4.3.1 Eğilme deneyi	97
Tekrarlı yıpranma deneyi numuneleriyle eğilme deneyi	97
Don tesirlerine dayanıklılık deneyi numuneleriyle eğilme deneyi	118
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	127
5.1 Deneylerin Değerlendirilmesi	127
5.1.1 Fiziksel deneylerin değerlendirilmesi	127
5.1.1.1 Su emme ve kuru yoğunluk tayini deneyinin değerlendirilmesi	127
5.1.1.2 Boşluk yapısı ve geçirimsizlik deneyinin değerlendirilmesi	127
Su geçirimsizliği deneyinin değerlendirilmesi	129
Buhar geçirimsizliği deneyinin değerlendirilmesi	130
5.1.2 Durabilite deneylerinin değerlendirilmesi	131
5.1.2.1 Tekrarlı hava şartlarında yıpranma tip deneyinin değerlendirilmesi	131
5.1.2.2 Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyinin değerlendirilmesi	133
5.1.2.3 Boyutsal değişimlerin değerlendirilmesi	134
5.1.3 Mekanik deneylerin değerlendirilmesi.....	135
5.1.3.1 Eğilme deneyinin değerlendirilmesi	135
6. SONUÇLAR	145
KAYNAKLAR	149
EKLER.....	151

KISALTMALAR

AR-cam	: Alkalilere Dayanıklı Cam Elyafı
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kuruluşu (American Society for Testing and Materials)
BS	: British Standards
cm	: Santimetre
CTÇ	: Cam Elyaf Takviyeli Çimento
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü (Deutsches Institut Für Normung)
E	: Elastisite Modülü
E-cam	: Elektriki Cam Elyafı
EN Standards:	Avrupa Standartları (European Standards)
gr	: Gram
GRC	: Cam Elyaf Takviyeli Beton (Glass Fibre-Reinforced Concrete)
in	: Inch
ksi	: Kip/Inch Kare
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
N	: Newton
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
μ	: Mikron
μm	: Mikrometre
°F	: Fahrenheit Derece
°C	: Santigrat Derece
%	: Yüzde

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Seçilmiş cam elyafların kimyasal bileşikleri [2]	13
Çizelge 2.2 : Seçilmiş cam elyafların özellikleri [2]	13
Çizelge 3.1 : Daire numarası ve çapları [11]	39
Çizelge 3.2 : Lif dağılımında sapmanın değerlendirilmesi [13]	46
Çizelge 3.3 : Kalınlığa bağlı olarak deney parçalarının uzunlukları (mm) [15]	51
Çizelge 3.4 : Deney parçalarının uzunluklarına bağlı olarak mesnet açıklıkları (boyutlar mm'dir) [15]	52
Çizelge 3.5 : Kalınlığa bağlı olarak deney parçalarının uzunlukları (mm) [16]	55
Çizelge 3.6 : Deney parçalarının uzunluklarına bağlı olarak mesnet açıklıkları (boyutlar mm'dir) [16]	56
Çizelge 4.1 : Suda bekletme ile su emme ve yoğunluk tayini deneyi sonuçları	73
Çizelge 4.2 : Deney parçalarının boyutları	74
Çizelge 4.3 : Deney parçalarının boyutları ve ağırlıkları	77
Çizelge 4.4 : Y2 numunesinin kütle, nem ve sıcaklık değerleri	79
Çizelge 4.5 : E2 numunesinin kütle, nem ve sıcaklık değerleri	80
Çizelge 4.6 : "C" numunelerinin ölçüm sonucu elde edilen değerleri	82
Çizelge 4.7 : "K" numunelerinin ölçüm sonucu elde edilen değerleri	82
Çizelge 4.8 : "C" numunelerinin 20 yıpratma devresi sonrası ölçüm sonuçları	84
Çizelge 4.9 : "E" numunelerinin ölçüm sonucu elde edilen değerleri	85
Çizelge 4.10 : "EK" numunelerinin ölçüm sonucu elde edilen değerleri	85
Çizelge 4.11 : "C" numunelerinin 50 yıpratma devresi sonunda ölçüm sonuçları	86
Çizelge 4.12 : "E" numunelerinin 30 yıpratma devresi sonunda ölçüm sonuçları	86
Çizelge 4.13 : "DÇ-Eski" ve "DÇ-Yeni" numunelerinin boyut ve ağırlık değerleri	89
Çizelge 4.14 : Numunelerin suya doygun haldeki ağırlık değerleri	89
Çizelge 4.15 : "DÇ-Eski" numunelerinin hesaplanan don kaybı değerleri	91
Çizelge 4.16 : "DÇ-Yeni" numunelerinin hesaplanan don kaybı değerleri	92
Çizelge 4.17 : Suda bekletilen "BD" numunelerinin genleşme değerleri	95
Çizelge 4.18 : Suda bekletilen "BD" numunelerinin kütle değişim değerleri	95
Çizelge 4.19 : Etüvde bekletilen "BD" numunelerinin hesaplanan rötre değerleri	96
Çizelge 4.20 : Etüvde bekletilen "BD" numunelerinin kütle değişim değerleri	97
Çizelge 4.21 : Donma-çözülme işlemine maruz kalmış numunelerin boyutları	119
Çizelge 4.22 : Normal ortam koşullarında kontrol numunelerinin boyutları	119
Çizelge 5.1 : Deney parçalarının su emme ve kuru yoğunluk değerleri	127
Çizelge 5.2 : Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi "C" numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri	136
Çizelge 5.3 : Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi "K" numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri	137
Çizelge 5.4 : Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi "E" numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri	138
Çizelge 5.5 : Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi "EK" numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri	139

Çizelge 5.6 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi “DÇ-Eski” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri	140
Çizelge 5.7 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi “Kontrol-Eski” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri.....	141
Çizelge 5.8 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi “DÇ-Yeni” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri	142
Çizelge 5.9 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi “Kontrol-Yeni” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri.....	143

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : CTÇ (GRC) panel imalatı: elle püskürtme yöntemi [2]	11
Şekil 2.2 : Tipik yük-sapma eğrileri [2].	11
Şekil 2.3 : Bir CTÇ (GRC) kirişin genellenmiş yük-sapma eğrisi [2]	16
Şekil 2.4 : 28 günlük tipik yük-uzama eğrisi: E-polimer CTÇ (GRC) [2]	18
Şekil 2.5 : Hızlandırılmış eskime zamanına karşı kopma modülü [2].....	19
Şekil 2.6 : Hızlandırılmış ve doğal eskimenin karşılaştırılması [2].....	19
Şekil 2.7 : Bükülmüş bağlantılar (a) [2]	23
Şekil 2.8 : Bükülmüş bağlantılar (b) [2]	23
Şekil 2.9 : Ağırlık bağlantıları (a) [2]	24
Şekil 2.10 : Ağırlık bağlantıları (b) [2].....	24
Şekil 2.11 : Deprem bölgeleri için özel ağırlık bağlantıları [2]	26
Şekil 2.12 : CTÇ (GRC)'nin mimaride kullanım örnekleri [4]	28
Şekil 2.13 : CTÇ (GRC)'nin cephe kaplaması olarak kullanım örnekleri [4]	29
Şekil 2.14 : CTÇ (GRC)'nin yüzey bitiş elemanı olarak kullanım örnekleri [4]	30
Şekil 2.15 : CTÇ (GRC)'nin peyzaj alanında kullanım örnekleri [4].....	30
Şekil 2.16 : CTÇ (GRC)'nin yapıda kullanım örnekleri [4].....	31
Şekil 2.17 : CTÇ (GRC)'nin çatı kaplama malzemesi olarak kullanım örnekleri [4].....	31
Şekil 2.18 : CTÇ (GRC)'nin duvar ve pencerelerde kullanım örnekleri [4]	32
Şekil 2.19 : CTÇ (GRC)'nin yenileme alanında kullanım örnekleri [4]	32
Şekil 2.20 : CTÇ (GRC)'nin temel ve döşemelerde kullanım örnekleri [4].....	33
Şekil 2.21 : CTÇ (GRC)'nin modüler yapı alanında kullanım örnekleri [4].....	33
Şekil 2.22 : CTÇ (GRC)'nin kalıcı kalıp olarak kullanım örnekleri [4].....	34
Şekil 2.23 : CTÇ (GRC)'nin kamu hizmetlerinde kullanım örnekleri [4].....	34
Şekil 2.24 : CTÇ (GRC)'nin akustik malzemesi olarak kullanım örnekleri [4].....	35
Şekil 2.25 : CTÇ (GRC)'nin köprü ve tünellerde kullanım örnekleri [4]	35
Şekil 2.26 : CTÇ (GRC)'nin drenaj kanalı olarak kullanım örnekleri [4].....	36
Şekil 3.1 : Deney parçalarının doğru yerleştirilebilmesi için bir cihaz örneği [12] ..	41
Şekil 3.2 : Deney parçalarının doğru yerleri ve isimleri [12]	42
Şekil 3.3 : İşlem [13]	45
Şekil 3.4 : Deney parçalarının yerleri ve işaretlenmesi [15]	50
Şekil 3.5 : Deney parçalarının deney makinesine yerleştirilmesi [15]	52
Şekil 3.6 : Deney parçalarının yerleri ve işaretlenmesi [16]	55
Şekil 3.7 : Deney parçalarının deney makinesine yerleştirilmesi [16]	56
Şekil 3.8 : Yük/sehim eğrisinin örneği [16]	57
Şekil 3.9 : Deney parçalarının yerleri ve isimleri [17]	60
Şekil 3.10 : Deney parçalarının rumuz ile durumları [18].....	65
Şekil 3.11 : “R” rumuzlu numunelerin muhafaza şartlarını gösterir şema [18]	65
Şekil 3.12 : “C” rumuzlu numunelerin muhafaza şartlarını gösterir şema [18]	66
Şekil 3.13 : “C” rumuzlu numunelerin yıpratma etki devreleri detayı [18]	67
Şekil 4.1 : Deney numuneleri	71
Şekil 4.2 : Deney numunelerinin boyutlarının kumpasla ölçülmesi.....	72
Şekil 4.3 : Deney numunelerinin su dolu kap içerisinde bekletilmesi.....	72

Şekil 4.4 : E1 numunesi için hazırlanan deney düzeneği	75
Şekil 4.5 : E1 numunesinin 24 saat sonundaki durumu	75
Şekil 4.6 : Plastik boruya sabitlenen Y1 numunesi	76
Şekil 4.7 : Y1 numunesi için hazırlanan deney düzeneği	76
Şekil 4.8 : E2 ve Y2 numunelerinin tartılması.....	78
Şekil 4.9 : Numunelerin desikatör içerisinde muhafaza edilmesi.....	78
Şekil 4.10 : $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta suda bekletilen “C” numuneleri.....	83
Şekil 4.11 : $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta etüvde bekletilen “C” numuneleri	83
Şekil 4.12 : 20 devre sonunda deneye dahil edilen “E” numuneleri.....	84
Şekil 4.13 : “C” ve “E” numunelerinin suda bekletilmesi.....	85
Şekil 4.14 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi numuneleri.....	87
Şekil 4.15 : Numunelerin desikatörde soğutulması	88
Şekil 4.16 : “DÇ-Yeni” ve “DÇ-Eski” numunelerinin tartım işlemi	88
Şekil 4.17 : Numunelerin soğuk hava dolabında bekletilmesi.....	90
Şekil 4.18 : Numunelerin su dolu kap içerisinde bekletilmesi	90
Şekil 4.19 : Deney için hazırlanan cihaz.....	93
Şekil 4.20 : “BD” deney numunelerinin boyutsal ölçüm işlemi.....	93
Şekil 4.21 : BD-1-2-3 numunelerinin su dolu kapta bekletilmesi	94
Şekil 4.22 : BD-4-5-6 numunelerinin etüvde bekletilmesi	96
Şekil 4.23 : Eğilme deneyi düzeneği	98
Şekil 4.24 : Kırılma sonrası C5-2 deney numunesi	99
Şekil 4.25 : Kırılma sonrası EK1-1 deney numunesi.....	99
Şekil 4.26 : C1-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	100
Şekil 4.27 : C1-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	101
Şekil 4.28 : C2-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	101
Şekil 4.29 : C2-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	102
Şekil 4.30 : C3-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	102
Şekil 4.31 : C3-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	103
Şekil 4.32 : C4-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	103
Şekil 4.33 : C4-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	104
Şekil 4.34 : C5-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	104
Şekil 4.35 : C5-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	105
Şekil 4.36 : C6-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	105
Şekil 4.37 : C6-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	106
Şekil 4.38 : C7-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	106
Şekil 4.39 : C7-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	107
Şekil 4.40 : C8-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	107
Şekil 4.41 : C8-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	108
Şekil 4.42 : K1-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	108
Şekil 4.43 : K1-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	109
Şekil 4.44 : K2-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	109
Şekil 4.45 : K3-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	110
Şekil 4.46 : K3-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	110
Şekil 4.47 : K4-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	111
Şekil 4.48 : K4-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	111
Şekil 4.49 : K5-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	112
Şekil 4.50 : K6-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	112
Şekil 4.51 : K7-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	113
Şekil 4.52 : K8-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	113
Şekil 4.53 : E1-1 numunesi yük-sehim eğrisi	114

Şekil 4.54 : E2-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	114
Şekil 4.55 : E3-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	115
Şekil 4.56 : E4-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	115
Şekil 4.57 : EK1-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	116
Şekil 4.58 : EK1-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	116
Şekil 4.59 : EK2-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	117
Şekil 4.60 : EK2-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	117
Şekil 4.61 : EK3-1 numunesi yük-sehim eğrisi.....	118
Şekil 4.62 : EK4-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	118
Şekil 4.63 : DÇ-Eski-3 numunesi yük-sehim eğrisi	120
Şekil 4.64 : DÇ-Eski-4 numunesi yük-sehim eğrisi	121
Şekil 4.65 : Kontrol-Eski-2 numunesi yük-sehim eğrisi	121
Şekil 4.66 : Kontrol-Eski-3 numunesi yük-sehim eğrisi	122
Şekil 4.67 : Kontrol-Eski-4 numunesi yük-sehim eğrisi	122
Şekil 4.68 : DÇ-Yeni-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	123
Şekil 4.69 : DÇ-Yeni-3 numunesi yük-sehim eğrisi.....	123
Şekil 4.70 : DÇ-Yeni-4 numunesi yük-sehim eğrisi.....	124
Şekil 4.71 : Kontrol-Yeni-2 numunesi yük-sehim eğrisi.....	124
Şekil 4.72 : Kontrol-Yeni-3 numunesi yük-sehim eğrisi.....	125
Şekil 4.73 : Kontrol-Yeni-4 numunesi yük-sehim eğrisi.....	125
Şekil 5.1 : Deney numunelerinin kuru yoğunluk değerleri.....	128
Şekil 5.2 : Deney numunelerinin su emme değerleri.....	128
Şekil 5.3 : Kuru yoğunluğa bağlı su emme yüzdesinin değişimi	129
Şekil 5.4 : E2 numunesi buhar difüzyon eğrisi.....	130
Şekil 5.5 : Y2 numunesi buhar difüzyon eğrisi	130
Şekil 5.6 : Yıpratma devreleri sonrası “C” numunelerindeki ağırlık değişimi.....	131
Şekil 5.7 : Yıpratma devreleri sonrası “C” numunelerindeki hacim değişimi	132
Şekil 5.8 : Yıpratma devreleri sonrası “E” numunelerindeki ağırlık değişimi.....	132
Şekil 5.9 : Yıpratma devreleri sonrası “E” numunelerindeki hacim değişimi.....	133
Şekil 5.10 : Numunelerin don kaybı değerlerinin karşılaştırılması	134

DIŞ CEPHEDE KULLANILAN CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON PANELLERİN DURABİLİTESİ

ÖZET

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemelerden üretilen paneller günümüzde yaygın olarak kullanılan cephe kaplama malzemeleridir. Yapılan çalışmada, yapının kabuğunu oluşturan cam elyaf takviyeli çimento cephe panellerinin, bileşim özelliklerine, tasarım şekline, üretim yöntemlerine ve dış etkenlere bağı olarak durabilitesinin incelenmesi amaçlanmıştır.

İlk bölüm, giriş bölümüdür. Bu bölümde, çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, öncelikle cam elyaf takviyeli betonun (CTÇ/GRC) tanımı yapılmış ve tarihçesi anlatılmıştır. Ardından, cam elyaf takviyeli betonu oluşturan malzemeler ve özelliklerinden, cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) panellerin üretim yöntemleri ve sürecinden, cam elyaf takviyeli betonun (CTÇ/GRC) fiziksel, kimyasal, mekanik, termik özelliklerinden ve montaj sistemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca, malzemenin mimarlık, yapı ve mühendislik alanlarındaki kullanım çeşitliliğı üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde, cam elyaf takviyeli betona (CTÇ/GRC) uygulanan kalite kontrol testleri standartlara dayanarak anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, yapılan literatür araştırması doğrultusunda deneysel çalışma programlanmıştır. İlk olarak, su emme, boşluk yapısı ve geçirimsizlik deneyleriyle malzemenin fiziksel özellikleri incelenmiştir. Daha sonra, tekrarlı hava şartlarında yıpranma, don tesirlerine dayanıklılık ve rutubet nedeniyle en büyük boyutsal değişimlerin ölçülmesi deneyleriyle malzemenin durabilite özellikleri üzerinde durulmuştur. Son olarak, tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi numunelerine, tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi numunelerine ve kontrol numunelerine eğilme deneyi yapılmış ve malzemenin mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Beşinci bölümde, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler çizelgeler ve grafik anlatım yöntemi kullanılarak özetlenmiştir.

Altıncı ve son bölümde ise deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, literatür araştırmasıyla edinilen bilgilere göre değerlendirilip yorumlanmıştır.

DURABILITY OF EXTERIOR GLASS FIBRE-REINFORCED CONCRETE PANELS

SUMMARY

Nowadays glass fibre-reinforced concrete (GRC) panels are building materials which are extensively used for cladding of facade. The durability of glass fibre-reinforced concrete panels is studied according to properties of material's composition, design, production methods and environmental effects at this thesis.

First part of this study is introduction. In this part purpose and scope of the thesis are explained.

In second part, firstly definition, history and development of glass fibre-reinforced concrete is mentioned. Then, materials forming glass fibre-reinforced concrete and their properties, production methods and process of glass fibre-reinforced concrete panels, physical, chemical, mechanical, thermic properties of glass fibre-reinforced concrete and the assembly systems are explained. Also, applications of this composite material in architecture, building and engineering areas are described.

In third part some of the quality control tests needed for glass fibre-reinforced concrete (GRC) are explained according to standards.

In fourth part of the thesis, experimental studies are described. Firstly, physical experiments that consist of water absorption, porosity and permeability tests have done. Then, durability experiments which consist of aging due to repetitive environmental conditions, resistance to freezing effects and measuring dimensional changes by reason of moisture have done. Finally, samples those had aging experiments, resistance to freezing effects experiments and control samples were broken in the flexural strength test.

Datas from experimental studies are abstracted with tables and graphical methods in the fifth part.

In the final part of the thesis, datas obtained from experimental studies were evaluated according to literature study.

1. GİRİŞ

Cephe, bir yapının karakterini ifade eden en önemli unsurdur. Bu nedenle, tasarım aşamasında cepheyle ilgili kararlar alınırken, kullanılacak malzemelerin seçimine büyük özen gösterilmektedir.

Ancak, günümüz yapı teknolojisinin sunduğu imkanlar dikkate alındığında, bir cephe malzemesinin yalnızca estetik açıdan isteneni vermesi kullanıcıların tatmini için yeterli olmamaktadır. Yapıda kullanılan cephe malzemesinin görselliğin yanı sıra kullanıcıların konforu açısından maksimum performansı göstermesi beklenir.

Malzemeden beklenen ısı tutuculuk, su, ses ve buhar geçirmezlik, yanmazlık, rijitlik, hafiflik gibi yüksek performans unsurları araştırmacıları kompozit malzeme geliştirme çabalarına götürmüştür. Bu sayede, malzemeler bir araya getirilerek yetersiz yönleri geliştirilmiş, tek bir malzemenin farklı malzemelerin öne çıkan özelliklerine sahip olması sağlanmıştır.

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) da mimarlık ve mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılan, hafif ve ince kesitli kompozit bir malzemedir. GRC’de kullanılan alkaliye dayanıklı cam elyaflar, yüksek oranda kullanılan çimento miktarından kaynaklanan hidratasyon ısısı sonucu çekme gerilmelerini almakta, aynı zamanda yüzeyde oluşması kuvvetle muhtemel olan çatlakların oluşumunu önlemektedir.

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada, yapının kabuğunu oluşturan cam elyaf takviyeli çimento (CTÇ/GRC) cephe panellerinin, bileşim özelliklerine, tasarım şekline, üretim yöntemlerine ve dış etkenlere bağlı olarak durabilitesinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Öncelikle, GRC bileşimleri, imalatı, bileşik davranışı ve uygulamaları ile ilgili temel bilgileri içeren literatür incelemesi sunulmaktadır. Yaygın olarak mimari cephe kaplaması alanında kullanılan ince tabaka ürünler üzerine odaklanılmıştır. Cam elyaf takviyeli betonu oluşturan malzemeler ve özelliklerinden, cam elyaf takviyeli beton panellerin üretim yöntemleri ve sürecinden, malzemenin fiziksel, kimyasal, mekanik, termik özelliklerinden, montaj sistemlerinden ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir.

İkinci aşamada ise, malzemenin zamana karşı dayanıklılığını belirleme amaçlı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneylerle malzemenin fiziksel, durabilite ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen veriler literatür araştırmasıyla birleştirilerek yorumlanmıştır.

2. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (CTÇ/GRC)

2.1 CTÇ (GRC)'nin Tanımı ve Tarihi

2.1.1 Tanımı

Cam elyaf takviyeli beton (GRC/CTÇ), cam elyaf ile takviye edilmiş hidrolik bağlayıcılı (çimento) matriksten meydana gelen kompozit bir malzemedir [1].

“Cam Elyaf Takviyeli Çimento” olarak da bilinen “Cam Elyaf Takviyeli Beton”un uluslar arası kaynaklardaki karşılığı “Glass Fiber-Reinforced Concrete”dir ve GFRC/GRC kısaltmaları kullanılmaktadır.

GRC’yi oluşturan ana elemanlar matriks ve cam elyafıdır. Çimento ve cam elyaf birbiriyle uyumlu malzemelerdir [1]. Bunlara matriksin özelliklerini değiştiren veya iyileştiren kimyasal ve mineral katkı maddeleri eklenebildiği gibi, kullanılan cam elyafı da çeşitlilik göstermektedir.

Matriks, cam elyaf ile takviye edilmiş bağlayıcının, kum, su, çimento ve gerekliyse mineral katkı ve kimyasal katkı ihtiva eden kısmıdır. Cam lifi ise, çapı 10µm ile 30µm arasında olan 100 – 200 adet iplikçiğin birleşmesinden oluşur [1].

Yaygın olarak mimari cephe kaplaması amaçlı kullanılan cam elyaf takviyeli çimentonun elyafları çoğunlukla alkalilere dayanıklı cam (AR-cam)’dır [2]. AR cam elyafı (alkalilere dayanıklı), hidrolik bağlayıcının oluşturduğu alkali matriks ortamına dayanıklı cam elyafıdır. Bu dayanıklılık camın özel bileşiminden kaynaklanır [1]. CTÇ’de kullanılan cam elyafı çeşitlerinden bir diğeri de E cam elyafıdır. E cam elyafı (elektriki), genellikle organik bağlayıcılı kompozitlerde kullanılan cam elyafı türüdür. Cam bileşimi nedeniyle bu tip elyaf alkali ihtiva eden çevreden olumsuz şekilde etkilenir [1].

GRC imalatında önceden karıştırma ve püskürtme yöntemleri olmak üzere iki üretim şekli uygulanır. Rulo halindeki cam elyafın, püskürtme tabancası içerisinden geçerek, basınçlı hava sayesinde çalışan kesme düzeneği sayesinde, 25 mm boyda kesilerek, operatörün kararı ile beton harca uygulama sırasında katılması şeklinde yapılan üretim en çok tercih edilen yöntemdir. Bu yöntemde harç sürekli pompalanarak püskürtülür ve elyaf operatörün kontrolünde atılır. Elyaf içeriği bileşik ağırlığının % 4-6'sı kadardır.

Cam elyaf takviyeli çimento önceden karıştırma yöntemiyle de üretilebilir. Bu yöntemde, elyaf uzunluğu ve matriksteki içerik miktarı işlenebilirlik problemleri nedeniyle sınırlandırılmak zorundadır. Elyaf uzunlukları ise genellikle 38 – 50 mm (1.5 – 2 in) arasında değişir. Polimer – değiştirilmiş matriks sistemleri de geleneksel elektrikli cam (E-cam) elyaflarla kullanılmıştır. Daha uzun süre dayanıklılık sağlayan yeni çimento türleri geliştirilmektedir [2].

CTÇ'nin geliştirilmesinde öncelikli mesele yüksek alkalın beton matriksin içine gömülmüş olan cam elyafların dayanıklılığıdır. Araştırma çabalarının çoğunluğu elyafın ve uzun süre dayanıklılığı sağlanmış matriks bileşimlerinin geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır [2].

2.1.2 Tarihi

Günümüzde kompozit malzemenin donatılmasında yaygın olarak kullanılan liflerle ilgili uygulamaların çok yeni olmadığı eldeki bulgulardan anlaşılmaktadır. Örneğin, cam liflerin üretimi, Eski Mısır'a kadar uzanmaktadır. Daha M.Ö. 1600 yıllarında Mısır'da ince cam liflerinin yapımının bilindiği, XVIII. Hanedan Devri'nden kalan, çeşitli kalınlık ve renkte cam lifleriyle bezenmiş amforaların mevcudiyetinden anlaşılmaktadır [3].

Liflerle donatılı kompozitler, özellikle harç ve betonlar konusundaki çalışmalar, başlangıçta Danimarka'da West ile Krenchel, Amerika Birleşik Devletleri'nde Romualdi, İngiltere'de Yapı Araştırma Kurumu (Building Research Establishment) 'nda Nurse ve Majumdar'ın öncülüğünde başlamış ve çeşitli ülkelerde bu alandaki araştırmacıların çalışmalarıyla devam etmiştir [3].

İngiltere’de Yapı Araştırma Kurumu (Building Research Establishment) 1966 yılından itibaren cam elyafı ile donatı, buna uygun matris malzemesinin seçimi ve donatıda kullanılacak cam lifinin özelliklerinin iyileştirilmesi üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmıştır [3].

Kırılğan çimento matrislerini takviye etmek için çalışan araştırmacılar, ilk olarak geleneksel elektriki cam elyafları (E-cam) ve soda-lime-silika cam elyafları (A-cam) kullandılar. Bu elyaflar çok yüksek çekme mukavemetine (450-500 ksi, 280-3500 MPa) ve diğerlerine göre yüksek elastisite modülüne (9400-10400 ksi, 3.1-3.5 GPa) sahipti. Bu nedenle, sonuçta oluşan elyaf çimento bileşimi yüksek kopma/kırılma modülüne (matris gücünün 3-4 katı) ve iyi süneklığe sahipti. Ancak, elyafların takviye etkilerini oldukça çabuk kaybettikleri görüldü. Kimyasal bileşikler Çizelge 2.1’de belirtilmiş olan E ve A cam elyafların, çimento bazlı yüksek alkali özellikli ($\text{pH} \geq 12.5$) matriksin içine yerleştirildiğinde güçlerini kaybettikleri görüldü. Bu tip bileşiklerin uzun süre kullanım için uygun olmadığı araştırmacılar tarafından anlaşıldığından bu yana elyafların uzun süre dayanıklılığını geliştirme yolları aranmaya başlandı [2].

Araştırmacılar, CTÇ’nin geliştirilmesine yönelik iki yol kabul ettiler. Bu yollardan birincisi alkali özelliğe sahip ortama dayanıklı elyafların gelişimini kapsıyordu. Diğerisi ise daha az alkali matriks geliştirme üzerine odaklanmıştı. Birinci yaklaşım tarzı araştırmacıları alkalilere dayanıklı cam (AR-cam) elyaflara götürmüştür. İkinci yaklaşım ise polimer-değiştirilmiş harç matriks gelişimine ve daha az alkali özellikli özel çimentolara götürmüştür [2].

2.2 CTÇ (GRC)’yi Oluşturan Malzemeler

GRC imalatında kullanılan malzemeler, çimento, kum, elyaf, su ve beton kimyasallarıdır.

2.2.1 Çimento

Portland çimentosu EN 197-1 (Cement-Composition, specifications and conformity criteria-Part 1: Common cement)’e uygun olmalıdır. Bu standardın TS’deki karşılığı: TS 19 (Çimento-Portland Çimentoları), TS 20 (Çimento-Yüksek Fırın Curufu Çimentolar), TS 21 (Çimento-Beyaz Portland) ve TS 26 (Çimento-Traslı Çimento) nolu standartlardır [1].

CTÇ mimari cephe kaplaması olarak kullanılacaksa, yüzeyde renk benzerliğini sağlamak için çimentonun aynı kaynaktan (tercihen aynı parti) olması gerekir. Bu faktör, beyaz çimento ve pigmentler kullanılarak yüzeyde özel renkler elde edilmek istendiğinde daha fazla önem kazanır [2].

2.2.2 Kum

CTÇ'deki başlıca agrega silis kumudur. Yuvarlak parçacıklı doğal kumlar kırma kumlara göre daha az tıkanmaya neden olduğu için pompalanması daha kolaydır.

Püskürtme yöntemi için, yıkanmış ve fırınlanmış, ASTM C144 (Duvarcılık Harcında Kullanılan Agrega İçin Şartnameler)'e uygun silis kumu kullanılması önerilir. Genellikle, silis içeriği miktarı %96 - %98 aralığında ve organik madde (kil de dahil olmak üzere) miktarı %0.5'ten az olmalıdır [2].

Püskürtme yöntemi kullanarak yapılan CTÇ imalatı için önerilen maksimum parçacık büyüklüğü sınırı 1.18 mm (1/16 in)'dir veya kum ASTM U.S. No.16 eleğinden geçmelidir. Su ihtiyacını arttıracak için aşırı incelikten kaçınılmalıdır. U.S. No.100 (150 mikron) elekten geçen parçacık miktarı %2 ile sınırlandırılmalıdır [2].

2.2.3 Elyaf

Lifler betonda mekanik özellikleri iyileştirmek amacı ile kullanılmaktadır. Oluşan çatlakların ani olarak yayılmasını engelleyerek, betonun sünek davranış göstermesini sağlayan lifler, oluşan deformasyonlarda betonun yük taşıyabilmesini sağlamakta ve enerji yutma kapasitelerini arttırmaktadır [3].

Cam lifler; sertlik, korozyona ve diğer malzemelerle fazla tepkimeye girmeme gibi tipik cam özelliklerini sergiler. Ayrıca, tek yöne esnek ve hafif bir malzemedir. Cam lifler yüksek dayanıma sahip olduklarından, lif yüzeyinde oluşan kusurlar hem sayıca az, hem de boyutça küçüktür [3].

Arttırılmış uzun süreli mukavemet ve süneklığe ihtiyaç duyulduğunda, sadece alkalilere dayanıklı (AR-cam) elyaf kullanılmalıdır. AR elyaflar uzun ışıqlama süresi sonrasında takviye etkilerini kaybeder. Fakat, AR elyaflar ile üretilen GRC'lerin dayanıklılığı, değıştirilmemiş E-cam elyaflarla üretilen GRC'lere göre çok daha iyidir. E-cam elyaflar, sadece daha uzun süre dayanıklılık sağlayacak şekilde değıştirilmiş özel matriks formulasyonlarında kullanılmalıdır. Püskürtme yöntemi için tipik elyaf uzunlukları 25 mm'dir. Özel durumlar için daha kısa elyaflar kullanılabilir [2].

2.2.4 Kimyasal katkılar

Tüm GRC'ler için standart gereksinim su indirgeyici kimyasal katkılardır. Normal bir su indirgeni veya yüksek derecede bir su indirgeyici katkı (süper akışkanlaştırıcı) kullanılabilir. Bu kimyasal katkılar, su talebini azaltır, sonuç olarak, püskürtme yönteminde püskürtülebilir çimento harcı için önemli olan, daha güçlü ve daha iyi çekme karakteristiğine sahip bir bileşimin ortaya çıkmasını sağlar. Bazen, mukavemeti arttırmak, geçirgenliği ve çekmeyi azaltmak için akrilik termoplastik kopolimer dispersiyonlar da kullanılır. Polimer lateks eklenmesi de su talebini azaltır [2].

GRC'de kullanılan diğer kimyasal katkılar, hızlandırıcılar, geciktiriciler ve hava sürükleyici ek karışımlar (sadece ön karışım)'dır. Hızlandırıcılar erken mukavemet ve erken şekil alma için kullanılır. Ek karışımlar, çalışmanın düşey ve dik duvarlar üzerinde gerçekleştirildiği durumlarda da yardımcı olur. Kalsiyum klorür içeren hızlandırıcıların, özellikle yüksek çimento içerikli karışımlarda aşırı çekmeye neden olduğu bulunmuştur; bu nedenle tavsiye edilmemektedirler. Geciktiricilere sıcak iklimlerde, püskürtme yapılırken, hidrasyonun sıcaklığını azaltmak veya soğuk birleşimleri önlemek için ihtiyaç duyulabilir. Hava sürüklenmesi genellikle açık hava ortamına maruz bırakılmış, önceden karıştırılmış GRC bileşenlerinin donma-çözülme dayanıklılığını arttırmak için kullanılır [2].

CTÇ'de kullanılan mineral ek karışımlar uçucu kül, silica fume ve renklendirici pigmentler içerir. Uçucu kül ve silis dumanı işlenebilirliği arttırır ve çekmeyi azaltır [2]. CTÇ karışımına ilave edilen uçucu kül TS EN 450 (Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrol) standardına uygun olmalıdır [1]. Silis dumanı, ayrıca plastik karışımı daha yapışkan yapar ve erken mukavemet sağlar. Beyaz ve renkli pigmentler genellikle mimari cephe kaplamasında istenen rengi elde etmek için eklenir [2].

2.2.5 Yüzey koruyucular

GRC paneller, üzerindeki tozlanmayı ve nem emilimini azaltmak amacıyla silikon veya siloksan katmanıyla kaplanır. Paneller, ayrıca suya dayanıklı malzemelerle boyanabilir. Lateks duvar boyaları ve metil methacrylate bazlı boyalar geniş bir renk çeşitliliği sunar. Su buharının panellerden uzaklaşması için, yüzey kaplamalarının buhar geçirimli olması önemlidir [2].

2.2.6 Dekoratif yüzey karışımları

Mimari kullanım amaçlı üretilen CTÇ panellerin yapışkan yüzey karışımlarında dekoratif agregalar kullanılabilir. Takviye edilmemiş yüzey karışımları genellikle 3-6 mm (0.125-0.25 in) kalınlığında ve CTÇ'ye yapışkındır. Yüzey karışımının kalınlığı genellikle maksimum agrega büyüklüğüne göre kontrol edilir. Üretim aşamasında, önce yüzey karışımı kalıba yerleştirilir, kalıp sallanır ve örtülür. CTÇ karışımının püskürtülmesiyle devam edilir. Dekoratif agregalar, panel elde etmek için hazırlanan ve kalıba püskürtülen CTÇ matriksine saplanır [2].

2.3 CTÇ (GRC)'nin İmalatı

CTÇ imalatında kullanılan iki temel yöntem, püskürtme yöntemi ve önceden karıştırma yöntemidir.

Püskürtme yöntemi, çeşitli şekil ve ölçülerde ince kesitler üretmeye imkan vermesi nedeniyle önceden karıştırma yönteminden daha yaygın olarak kullanılır [2].

2.3.1 Kalıplar

CTÇ imalatında çok çeşitli kalıp malzemeleri kullanılır. Kalıp malzemesi seçimi, panel şekline, gereken kalıp sertliğine, su direncine, kullanım sayısına, imalat kolaylığına ve maliyete bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan malzemeler, köknar kontrplak, huş yüzeyli kontrplak, reçine kaplı kontrplak, CTÇ, cam elyafı takviyeli plastik kaplı ahşap, takviyeli beton ve çeliktir. Bu kalıp malzemelerinden bazıları, suya dirençli ve taşınabilir olmaları için kaplanmak zorundadır [2].

Kalıplar, kendi ağırlıklarını ve CTÇ'nin ağırlığını destekleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Ölçüsel doğruluk önemli bir faktördür. Bu nedenle, imalat süreci sırasında kalıpların yönü değiştirilmemelidir. Kalıpları tasarlarken sonuç ürünün kalıptan çıkarılacağı düşünülmelidir. Yivler, yuvarlak köşeler, düşey duvarlara eğim verilmesi, üründe bırakılacak yerleşik hava bağlantıları ve kaldırma noktalarının yeri çıkarmayı kolaylaştırır. CTÇ'nin kolay çıkarılması kalıbın ömrünü uzatarak daha fazla kullanıma olanak sağlar. Kalıplar ayrıca sonuç ürünün kalıpla bağlantısını engelleyen ve çıkarılmasını sağlayan serbest ajanlarla kaplanmalıdır. Seçilen serbest ajan, sonuç panele uygulanabilen herhangi bir kaplama malzemesiyle reaksiyona girmemelidir [2].

Cam elyaf takviyeli panellerde genellikle normal betondan daha fazla çekme olur. Bu çekmeden dolayı bazı standart ölçüden büyük üretilen formların dahi telafi edilmesi gerekmektedir [2].

2.3.2 Karışım oranları

Karışım oranının belirlenmesinde öncelikli hedef işlenebilir bir karışım elde etmek için en az miktarda su kullanmaktır. Püskürtme yönteminde karışım, hortumun ağızlığını tıkamadan geçecek şekilde yeterince akışkan, elyaflar da yeterince ıslanma imkanına sahip olmalıdır. Çekme karakteristiğini düzeltmek için harç kumu ve mineral ek karışımlar eklenebilir. Eklenecek kum miktarı panel kalınlığına ve ihtiyaç duyulan yüzey dokusuna bağlıdır. Genellikle kullanılan çimento-kum oranı 1:1 olmakla birlikte, 1:1 ile 1:3 arasında değişir [2].

Püskürtme yöntemi için genellikle kullanılan elyaf miktarı toplam karışım ağırlığının %5'i kadardır. Elyaf uzunlukları normalde 38-50 mm (1.5-2.0 in) arasında değişir [2].

Kopolimerler iyileştirici ek karışımlar olarak kullanılırsa, düzgün bir şekilde dağılmalarına dikkat edilmelidir. Yeterli iyileştirme için minimum %5 oranında polimer hacmi gereklidir. Polimerin pot ömrü üretim süreci için yeterli uzunlukta olmalıdır. Pot ömrü, polimerin işlenebilir kaldığı süredir [2].

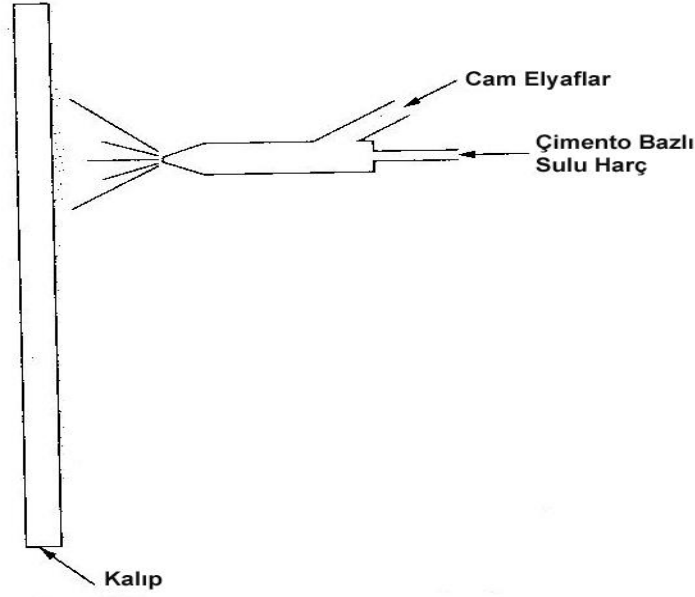
2.3.3 Püskürtme yöntemiyle imalat

Püskürtme yöntemi, elyafları iki boyutlu yüzeyde yerleştirmeye yönelik olduğu için çoğunlukla tercih edilir. Sonuç olarak ortaya çıkan ince bileşik, CTC içeren ince parça uygulamalarında eğilme kuvvetlerine karşı dirençte çok etkilidir. Püskürtme, iyi elyaf dağılımıyla birlikte ince kesit imalatını da kolaylaştırır. Ayrıca, hemen hemen her şekil parça püskürtülebilir, yüzey dokuları gibi çeşitli şekillerde mimari cephe kaplamalarının imalatına da imkan verir [2].

Püskürtme yönteminde, çimento/kum harcı ve kesilmiş cam elyaflar aynı anda püskürtme tabancasından hazırlanan kalıp yüzeyine püskürtülür (Şekil 2.1.). Normal şartlarda, istenen kalınlık bileşiğin birkaç katman halinde püskürtülmesiyle sağlanır. Tabancanın her geçişiyle yaklaşık 4 mm'lik (0.125 in) bir kalınlık elde edilir. 10 mm (0.375 in) kalınlıkta tipik bir CTC panel için iki veya üç geçiş gereklidir. Her katmanın püskürtülmesinden sonra ıslak bileşik bir silindir kullanılarak sıkıştırılır. Silindirle sıkıştırma sadece havayı uzaklaştırmakla kalmaz, aynı zamanda kalıp yüzeyinin şekline uyması için bileşiği kalıba doğru bastırır. Silindirle sıkıştırma normalde manüel el tabancası yönteminde kullanılır [2].

Püskürtme otomatikleşmiş yöntem kullanılarak da yapılabilir. Bu yöntemde sıkıştırma, suyunu alma yöntemiyle yapılır. Suyunu alma geçirgen kalıbın alt tarafına vakum uygulayarak yapılır. Otomatik bir çevirme hattında, paneller püskürtme ve su alma için uygun istasyonlara gider. Su almanın ek bir avantajı da bileşikteki su-çimento oranını düşürmesidir [2].

CTC paneller genellikle 24 saat sonra kalıplarından çıkarılırlar ve en az yedi gün makul mukavemete gelinceye kadar nemlendirilirler. Paneller incelendiğinden bu yana, erken kuruma sağlanmıştır ve böylece uygun kütleme CTC paneller için kesin bir gerekliliktir. Kütleme sıcaklığı 60°-120°F (16°-50°C) arasında olmalıdır. Fakat, püskürtme CTC'ler kopolimer lateks katkısıyla üretilirse, nemlendirerek kütleme yerine polimer ilavesi yapılabilir. Sadece, iyileştirme ihtiyacını ortadan kaldırdığı laboratuvar testleriyle kanıtlanmış kopolimerler kullanılmalıdır [2].



Şekil 2.1 : CTÇ (GRC) panel imalatı: elle püskürtme yöntemi [2].

2.3.4 Önceden karıştırma yöntemiyle imalat

Önceden karıştırma yönteminde, çimento, kum, ek karışımlar ve elyaflar birlikte karıştırılır. Yüksek hızlı su azaltıcı araçlar gibi akış ve karıştırma katkıları karıştırmayı kolaylaştırmak için sıklıkla kullanılır. Elyaflar zarar görebileceği için gereğinden fazla karıştırmaktan kaçınılmalıdır. Önceden karıştırma yöntemi kullanılarak en fazla %5 hacimde cam elyaf eklenir. Bu alanda kullanılan tipik elyaf içeriği %2 ile %3 arasında değişir [2].

Önceden karıştırılmış bileşik bir kalıp içerisine konularak veya preslenerek istenen şekilde kalıplanabilir. Kürleme şeması, püskürtme yöntemi için kullanılan ile aynıdır [2].

2.3.5 Yüzey bitişi

Genellikle mimari cephe kaplaması olarak kullanıldıkları için, CTÇ ürünlerinde yüzey bitişi önemli bir yöndür. Düzgün bir bitiş en yeterli ve ekonomik yaklaşım tarzı olabilir. Bu çeşit bitiş normalde yüzey çatlağına götürür. İnce çatlaklar mukavemet ve dayanıklılık açısından önemli olmayabilir fakat özellikle bu çatlaklarda toz biriktiğinde estetik açıdan önemlidir. Renk benzerliği elde etmek de zordur. Yivli, oymalı veya tırtıklı bitişler gibi yüzey şekilleri tasarlanarak panellerin görünüşü geliştirilebilir. Görünüşü iyileştirmek için kaplamalar da kullanılabilir [2].

CTÇ'ler kaba agregalar içermediğinden beri, uygun kalıplar kullanılarak çok çeşitli yüzey dokuları ve desenleri elde edilebilir. Keskin köşelerden kaçınmak tavsiye edilir.

Genellikle, paneller 3-6 mm (0.125-0.25 in) kalınlığında içinde dekoratif agregalar bulunan yüzey karışımları ile imal edilir. Çoğu durumlarda, geciktiriciler, kum püskürtme, asitle yakma, bileme veya parlatma yöntemleri kullanılarak gömülü agregalar açığa çıkarılır. Yüzey karışımı ve CTÇ'nin rötire değerleri farklılık gösterdiğinde panel tasarımında bu yöntemleri kullanmak zorunludur. İki karışımın sıcaklık ve nem açısından uyumluluğu çatlamayla bağlantılıdır [2].

2.4 CTÇ (GRC)'nin Fiziksel Özellikleri

2.4.1 Boyutsal kararlılık

10 mm kalınlığındaki bir CTÇ levhanın 60 yıllık hızlandırılmış erozyon testi karşısında 1 mm yüzey kaybına uğradığı görülmüştür. CTÇ diğer konvansiyonel beton ürünlerinden daha fazla erozyona dayanıklıdır [4].

2.4.2 Geçirimsizlik

CTÇ, su ve diğer sıvılara karşı yüksek dirence sahip bir malzemedir. 10 mm kalınlıkta bir CTÇ levhanın ön yüzüne iki ay süresince 750 mm su basıncı uygulanmıştır. Bu süre sonunda CTÇ levhanın arka yüzünde hiçbir neme rastlanmamıştır. 6-10 mm kalınlıktaki CTÇ levha, 50 mm kalınlıktaki konvansiyonel betondan daha az geçirgendir [4].

2.4.3 Su buharı difüzyonu

CTÇ'nin su buharı difüzyon değeri, püskürtme yöntemiyle veya önceden karıştırma yöntemiyle üretilmiş ürünler için $\mu=50-200$ [4].

2.5 CTÇ (GRC)'nin Kimyasal Özellikleri

2.5.1 Alkalilere dayanıklı cam elyaflar

Cam bileşimine minimum %16 oranında zirkonyum dioksit eklenirse, elyafın alkali ortam içerisindeki dayanıklılığının önemli ölçüde artacağı bulunmuştur. Alkalilere dayanıklı camın (AR-cam) bileşimi Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Çizelge 2.2'de gösterildiği gibi değiştirilmiş camın fiziksel özellikleri çok fazla değişmemiştir. İlk ticari geliştirme çalışmaları Britanya'daki Pilkington Brothers Ltd., Japonya'daki Nippon Electric Glass Company Ltd. ve ABD'deki Owens-Corning Fiberglass tarafından üstlenilmiştir [2].

Çizelge 2.1 : Seçilmiş cam elyafların kimyasal bileşikleri [2].

İçerik	A-Cam (%)	E-Cam (%)	Cem- FIL*	NEG†
			AR-Cam (%)	AR-Cam (%)
SiO ₂	73.0	54.0	62.0	61.0
Na ₂ O	13.0	-	14,8	15.0
CaO	8.0	22.0	5,6	-
MgO	4.0	0.5	-	-
K ₂	0.5	0.8	-	2.0
Al ₂ O ₃	1.0	15.0	0,8	-
Fe ₂ O ₃	0.1	0.3	-	-
B ₂ O ₃	-	7.0	-	-
ZrO ₂	-	-	16,7	20,8
TiO ₂	-	-	0.1	-
Li ₂ O	-	-	-	1.0

*Pilkington Brothers Ltd, U.K. tarafından üretilen markanın ismi (Cem-FIL)

†Nippon Electric Glass (NEG)

Günümüzde, AR cam elyaf takviyeli bileşikler CTÇ ürünleri imalatında en yaygın olarak kullanılan karışımlardır [2].

Çizelge 2.2 : Seçilmiş cam elyafların özellikleri [2].

Özellik	A-Cam	E-Cam	AR-Cam	AR-Cam
Özgül Ağırlık	2,46	2,54	2,70	2,74
Gerilme Mukavemeti (ksi)	450	500	360	355
Elastisite Modülü (ksi)	9400	10,400	11,600	11,400
Sünme (%)	4,7	4,8	3,6	2,5

1 ksi = 6,895 Mpa

2.5.2 Değiştirilmiş çimento matrisleri

Ayrıca E-cam elyaflara karşı daha az düşman olması için çimento matriksinin değiştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Bu çabalar, polimerlerin, silica fume ve düşük alkali çimento kullanımını içeren çeşitli seviyelerde başarılı olmuş çalışmalardır. Polimer-değiştirilmiş CTÇ için belirli bir minimum miktarda polimer matrise eklenir. Polimer, cam elyafları kaplama ve böylece onları betonun alkali ortamından koruma amaçlıdır. Silis dumanı kullanımı da benzer koruyucu bir sistem sağlama amaçlıdır [2].

2.6 CTÇ (GRC)'nin Mekanik Özellikleri

CTÇ panel tasarımı için ihtiyaç duyulan mekanik özellikler, çekme, eğilme ve kesme mukavemetleridir. Uzun süreli performansı etkileyen özellikler, sürtünme, termal genleşme, donma-çözülme direnci, rötre ve nem hareketidir. Uygulama çeşidine bağlı olarak, uygun tasarım, geçirimsizlik, yoğunluk, termal iletkenlik, yangına dayanıklılık ve akustik gibi diğer fiziksel özelliklerle ilgili bilgi gerektirebilir [2].

Mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktörler, matris bileşimi, elyafların uzunlukları, yönelimi ve hacimde kapladığı kısımdır. Uzun dönemde özellikler, elyafların E-, A- veya AR - cam elyaf olmasından etkilenir. Matrise bir polimerin eklenmesi, hem mukavemet hem de kullanılabilirlik açısından bileşik davranışını değiştirebilir [2].

2.6.1 Çekme ve eğilme dayanımı

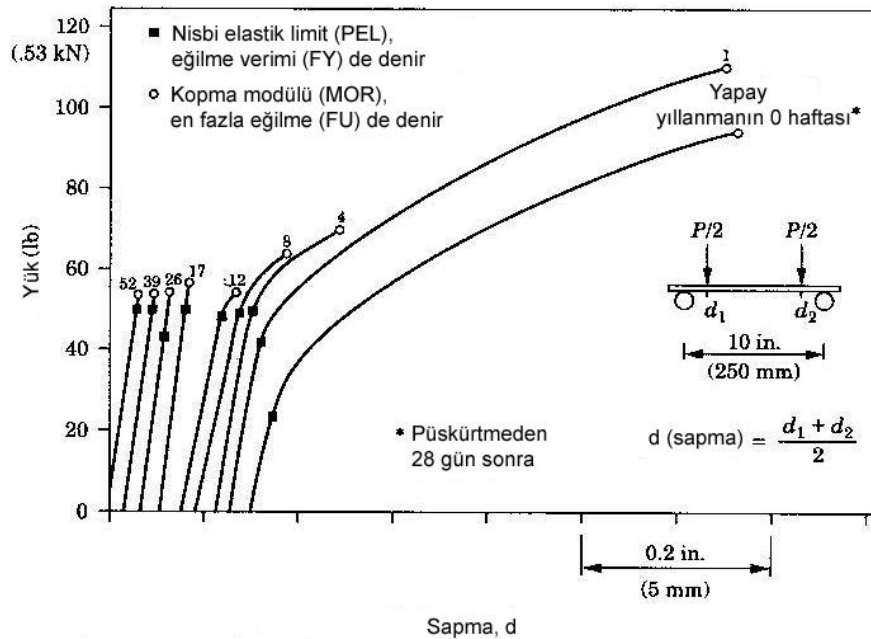
Tasarım için sıklıkla kullanılan özellikler çekme ve eğilme mukavemetleridir. CTÇ'ler için mukavemetler (yıllanmamış mukavemet) ve uzun dönem mukavemetler aynı değildir. Bu nedenle mukavemetler normalde 28 günlük mukavemet ve yıllanmış mukavemet olarak belirtilir [2].

Şekil 2.2'de görülen yük-sapma eğrileri 28 günlük ve yıllanmış kesit numunelerinin davranışlarındaki farkı açıkça göstermektedir. Numuneler 50 mm (2 in) genişliğinde ve 10 mm (0.375 in) kalınlığındadır. 254 mm (10 in) genişlikte üçüncü nokta yüklemesi kullanılarak test edilmişlerdir. Karışım bileşimi ve yıllanma sürecinin detayları bu bölümde belirtilmektedir. Şekil 2.2'den aşağıdaki önemli noktalar çıkarılabilir [2].

Tipik AR-CTÇ bileşiklerinin yıllanma süreci, eğilme mukavemetini 28 günlük (yıllanmamış) eğilme mukavemetinin yarısı kadar azaltacaktır [2].

Bileşikte çatlama sonrası süneklik yıllanma sonrası tamamen kaybolur [2].

Nisbi elastik limit (PEL, yük sapma eğrisinin düz bir çizgiden ayrıldığı nokta) aynı kalabilir veya artış gösterebilir. PEL dışındaki ek mukavemet yıllanma süreci boyunca kaybedilir [2].

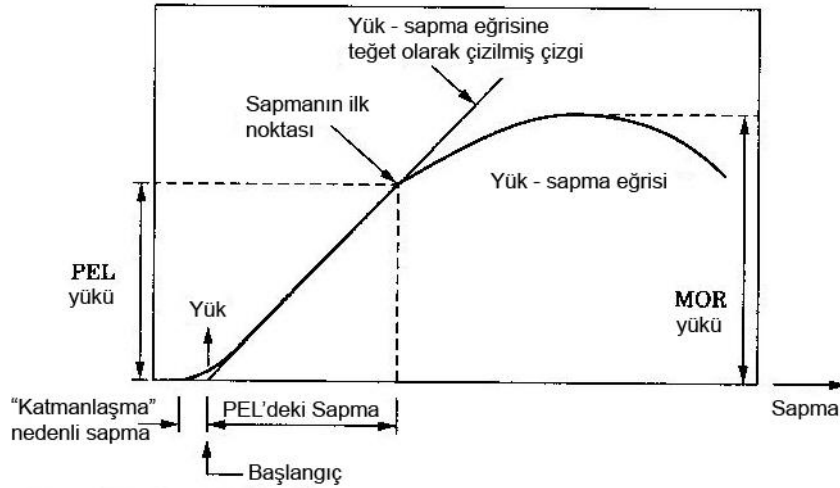


Şekil 2.2 : Tipik yük-sapma eğrileri [2].

Çekme yüklemesine maruz bırakılan numuneler mukavemet ve süneklik kaybını da gösterir.

2.6.1.1 Eskimemiş CTÇ'nin tipik yük-deformasyon tepkisi

Eskimemiş terimi 28 günlük iyileştirmeden sonraki numuneyi belirtmek için kullanılır. Bu aşamada cam elyaflar, etkili bir elyaf pull-out mekanizmasıyla eğilme mukavemetinde ve süneklikte artışa neden olur [2].



Şekil 2.3 : Bir CTÇ (GRC) kirişin genellenmiş yük-sapma eğrisi [2].

Eğilmiş bir prizmanın tipik yük – sapma eğrisi Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Eğri, başlangıçta düz elastik bir bölüm ve düz olmayan sonradan kırılan bir bölüm içermektedir. Başlangıçtaki elastik bölüm öncelikle matrisin davranışını göstermektedir. Elyafar bileşiğin elastik modülünde küçük bir artışa neden olur. Son çalışmalar elyafların matrisin gerilme kapasitesini arttırarak eğrinin lineer kısmını arttırdığını veya uzattığını göstermektedir. Mukavemette lineer olmayan (sonradan kırılan) artış çoğunlukla elyafların adesyon kaybından (yapışma azalması) sağlanır. Yapışma azalırken, elyaflar saf matris mukavemetinden başka bileşiğin mukavemetini arttırmak için yeterli direnç sağlar. Son çalışmalar matrisin kırılma olmasına ve çok az veya hiç sonradan kırılma mukavemetine sahip olmamasına rağmen, matrisin içine gömülü elyafların kırılmadan sonra sağlam bir direnç sağladığını göstermiştir. Yük - sapma eğrisi elyaf direnç katkısı en yüksek noktaya ulaştıktan sonra düşmeye başlar [2].

Eğrinin lineer kısmının sonundaki yük kullanılarak ölçülen eğilme mukavemeti normalde nisbi elastik limit (PEL) olarak adlandırılır. Maksimum yük kullanılarak elde edilen mukavemet kopma modülü (MOR) olarak adlandırılır. Her durumda, numunenin aşırı sapma ve kırılması nedeniyle, gerçek kesit modülü maksimum yükte ($bd^2 / 6$) olmamasına rağmen, gerilmeler maksimum momentin kesit modülüne ($bd^2 / 6$) bölünmesiyle hesaplanır [2].

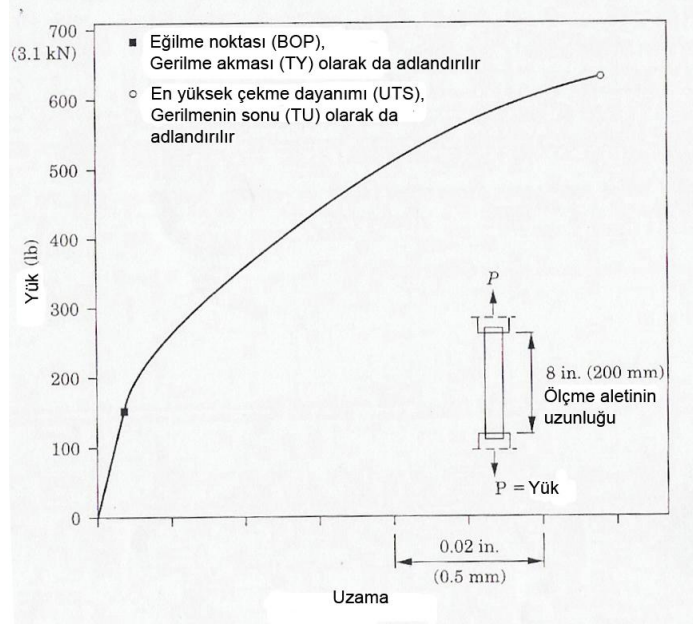
Numunenin sünekliği, ASTM C1018’de tanımlanan I_5 , I_{10} ve I_{20} sertlik göstergeleri kullanılarak ifade edilebilir veya kirişin çapraz kesiti birim alınıp yük – sapma eğrisinin altındaki alan kullanılarak belirtilebilir. PEL, CTÇ panellerinin tasarlamasında uzun süre yükleme ve nakliye gerilmeleri için kullanılır [2].

Bir çekme numunesinin tipik bir yük – uzama (germe) tepkisi Şekil 4’te gösterilmiştir. Zayıflıktaki uzama değerlerinin çok daha küçük ve elastik limitin biraz daha küçük olmasının dışında, bu eğri aslında eğilmiş numunenin yük – sapma eğrisine benzemektedir. Elastik limit eğilme noktası (BOP) olarak adlandırılır ve maksimum mukavemet en yüksek gerilme mukavemeti (UTS) olarak adlandırılır [2].

Eğilmedeki tipik PEL değerleri 900 psi ile 1500 psi (6 – 10 MPa) arasında değişir; MOR değerleri 2500 ile 4000 psi (16 – 30 MPa) arasında değişir; çekmedeki BOP ve UTS değerleri sırasıyla 400 ile 800 psi (5 – 7 MPa) ve 1000 ile 1600 psi (7 – 11 MPa) arasında değişir [2].

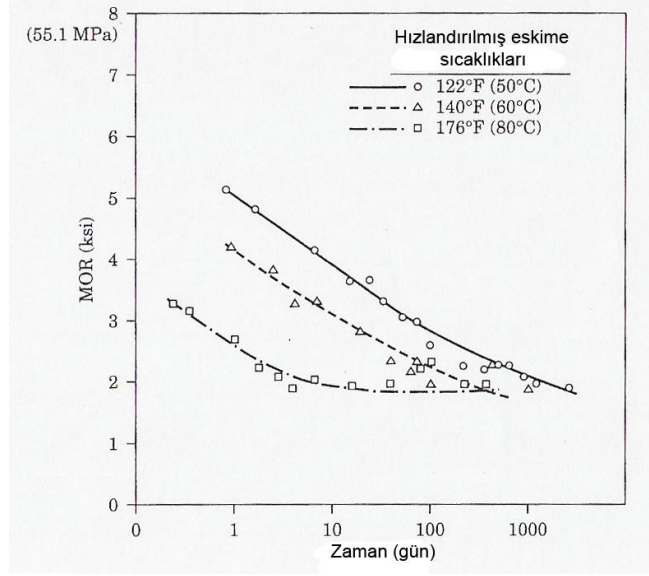
2.6.1.2 Uzun dönem ıslıklamayı simule etmek için yapılan hızlandırılmış eskime testleri

CTÇ, ıslıklamaya bağlı bir süre sonra, kırılma sonrası mukavemetinin ve sünekliğinin neredeyse tamamını kaybetmesiyle bilinir. Daha sıcak, daha nemli iklimlerde doğal eskime süreci 8 – 10 yıllık kısa bir süre sonra tamamlanabilir. Daha soğuk, daha kuru iklimlerde, doğal eskime 30 – 40 yıllık uzun bir süre alabilir. Fakat, panel tasarımı şartlarında, tüm kırılma sonrası mukavemetin ve sünekliğin, panelin beklenen hizmet süresi içinde kaybedileceği varsayılmalıdır. Panel tasarımı, bileşiğin nisbi elastik limitine (PEL) dayanmalıdır [2].



Şekil 2.4 : 28 günlük tipik yük-uzama eğrisi: E-polimer CTÇ (GRC) [2].

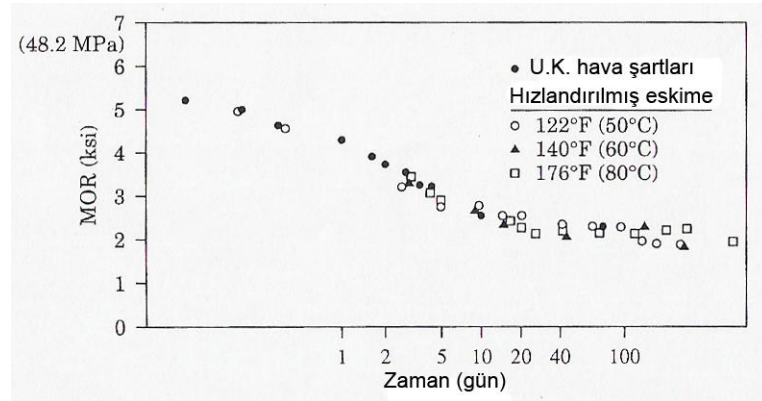
Bir CTÇ'nin uzun dönem performansını değerlendirmek için hızlandırılmış eskime testleri geliştirilmiştir. Yaygın hızlandırılmış eskime testinde, CTÇ numuneleri yükseltilmiş sıcaklık seviyelerinde korunmuş, kirece doydun suda saklanır. Yükseltilmiş sıcaklık seviyeleri eskime sürecini hızlandırır. Kirece doydun su kullanımı doğal olarak meydana gelen kirecin süzülmesini önler. Örneğin, numunenin 50°C (122°F)'de korunmuş, kirece doydun suya bir gün batırılmasının, Birleşik Krallık'ta (yıllık ortalama sıcaklık 10.4°C, 50.7°F) 100 gün doğal hava şartlarına maruz kalmaya eşdeğer olduğunu göstermiştir. Genellikle, su havuzlarında saklanan test numuneleri mukavemet ve süneklikteki değişimleri belirlemek için ya çekme ya da eğilme hallerinde, çeşitli zaman aralıklarında (52 haftaya kadar) test edilirler [2].



Şekil 2.5 : Hızlandırılmış eskime zamanına karşı kopma modülü [2].

Hızlandırılmış ve doğal eskime süreçleri hakkında bilgi, çeşitli aşamalarındaki MOR (kopma modülü) değerlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilir. Örneğin, Şekil 2.5 çeşitli eskime aşamalarındaki MOR (kopma modülü) değerlerini hem hızlandırılmış hem de doğal hava şartları için göstermektedir. Çeşitli sıcaklıklardaki hızlandırılmış eskime eğrilerinin yeri yatay olarak sağa doğru değiştirilirse, kesinlikle doğal hava şartlarıyla uyuşma eğiliminde olurlar (Şekil 2.6). Bu nedenle, çeşitli hızlandırılmış eskime sıcaklıklarında elde edilmiş sonuçlar ile doğal hava şartlarında elde edilmiş sonuçlar birbirine uygundur [2].

Yukarıda sunulan açıklama yalnızca mukavemetle ilgilidir. Süneklik kaybını farklı bir mekanizma takip edebilir ve bu nedenle hızlandırılmış eskime doğal hava şartları altındaki davranışı yansıtmayabilir [2].



Şekil 2.6 : Hızlandırılmış ve doğal eskimenin karşılaştırılması [2].

2.6.1.3 Uzun dönem davranış: hızlandırılmış eskime

Eskime nedeniyle meydana gelen mukavemet ve süneklik kaybı, hızlandırılmış eskime testlerine dayanarak açıklanmaktadır. Hem eğilme hem de çekme testleri hızlandırılmış bir süre olan 52 haftaya kadar yürütülmüştür. Sonuçlar genel bir durum çalışması olarak düşünülebilir [2].

Malzemeler: Kullanılan malzemeler, Tip I çimento, maksimum 0.5 mm (0.02 inç) parçacık boyutuna sahip yıkanmış silis (kum), normal veya yüksek oranda su indirgeyici ek karışım, polimer lateks (%48 katı) ve %16 zirkonyum dioksit içeren AR-cam elyaflar veya E-cam elyaflar (borosilikat)'dır. Elyaflar yaklaşık 38 mm (1.5 inç) uzunlukta kesilmiş olmalıdır [2].

Karışım Oranları: Normal ve polimerle değiştirilmiş matrisler için kullanılan karışım oranları Tablo 3a, b ve c'de sırasıyla gösterilmiştir. Çimento – kum oranı, AR-camlı CTÇ ve E-camlı P-CTÇ Karışım 1 için yaklaşık 1 ile 0.5 arasında, diğer E-camlı P-CTÇ'ler için ise 1 ile 0.20 arasındadır. Su – çimento oranı 0.22 ile 0.35 arasında değişmektedir. Elyaf içeriği karışımın toplam ağırlığının %5 - %5.9'u kadardır. Polimer içeriği karışımın toplam hacminin %10 - %15'i kadardır [2].

2.6.2 Elastisite modülü

CTÇ'nin elastisite modülü değeri, püskürtme yöntemiyle veya önceden karıştırma yöntemiyle üretilmiş ürünler için $E=10-20 \text{ kN/mm}^2$ 'dir [4].

2.6.3 Basınç mukavemeti

CTÇ'nin basınç mukavemeti değeri, püskürtme yöntemiyle üretilmiş ürünler için $f_c=50-80 \text{ N/mm}^2$, önceden karıştırma yöntemiyle üretilmiş ürünler için $f_c=40-60 \text{ N/mm}^2$ 'dir [4].

2.6.4 Rötire ve uzama değeri

Üretimi takiben aynı çevre şartlarında herhangi bir yapı elemanının boyutlarında zamanla kısalma olması rötire olarak, artma olması ise uzama olarak tanımlanır.

CTÇ'nin rötre değeri, püskürtme yöntemiyle üretilmiş ürünler için $\epsilon_{cs}=1.0-2.0$ mm/m'dir. Uzama değeri ise her iki yöntemle üretilmiş ürünler için de $K=0.5-1.0$ mm/m'dir [4].

2.6.5 Su absorpsiyonu ve yoğunluk

Püskürtme veya önceden karıştırma yöntemiyle üretilmiş CTÇ ürünlerin su absorpsiyonu değeri %3-15'tir [4].

Yoğunluk değerleri ise, püskürtme yöntemiyle üretilen ürünler için $\gamma = 1.9-2.1$ kg/dm³, önceden karıştırma yöntemiyle üretilen ürünler için $\gamma = 1.9-2.0$ kg/dm³'tür [4].

2.6.6 Yangına dayanıklılık

CTÇ, BS 476'ya göre test edildiğinde yanıcı değildir [5]. Organik bir boya bitişi uygulandığında dahi BS 476: Part 6 testlerine uygundur ve "Class 0" performansı gösterir [6].

Püskürtme yöntemiyle veya önceden karıştırma yöntemiyle üretilmiş CTÇ ürünlerin yangına dayanıklılık sınıfı DIN 4102 standardına göre A1-A2'dir [4].

Ancak, CTÇ karışımına yapılan eklemeler yangın performansını etkilemektedir.

2.6.7 Darbe mukavemeti

CTÇ ürünlerin darbe mukavemeti, püskürtme yöntemiyle üretilenler için 10-25 KJ/m², önceden karıştırma yöntemiyle üretilenler için ise 10-15 KJ/m²'dir [4].

2.6.8 Depreme dayanıklılık

1989 yılında açılan The San Francisco Marriott Hotel, yapımında kullanılan 31.620 m²(2400 adet) CTÇ panelleri, ABD'deki en büyük CTÇ projesidir. California gibi yüksek risk taşıyan bir sismik bölgede inşa edilen yapının dış cephe panelleri, 1989 Loma Prieta depreminde herhangi bir hasar görmemiştir [7].

2.7 CTÇ (GRC)'nin Termik Özellikleri

2.7.1 Isıl genleşme katsayısı

CTÇ'nin hareketi karmaşıktır. Öncelikle, kürlleme esnasında yüksek miktardaki çimento içeriği nedeniyle prekast betonla kıyaslandığında daha fazla küçülür. Takip eden ıslanma ve kuruma hareketleri de yine daha büyük olur [8].

CTÇ ürünlerin ısı genleşme katsayısı, püskürtme yöntemiyle üretilenler için $\alpha T=(1.0-1.5) \times 10^{-5}/C$, önceden karıştırma yöntemiyle üretilenler için ise $\alpha T=(1.0-1.5) \times 10^{-5}/C$ 'dir [4].

2.7.2 Isıl iletkenlik katsayısı

CTÇ ürünlerin ısı iletkenlik katsayısı, püskürtme yöntemiyle veya önceden karıştırma yöntemiyle üretilenler için $\lambda=0.8-1.2$ W/mk'dir [4].

2.8 CTÇ (GRC)'nin Montaj Sistemleri

CTÇ panellerin gelişme evresinin başlangıcında, üç panel tipi geliştirilmiştir; bunlar sandviç panel, tek parçalı nervürlü panel (integral rib panel) ve çelik birleşimli esnek ankastre panellerdir. Bu üç tip panelden, konstrüksiyona kolayca uyum sağlamasından ötürü çelik birleşimli esnek ankastre tip sektör genelinde kullanılır hale gelmiştir [9].

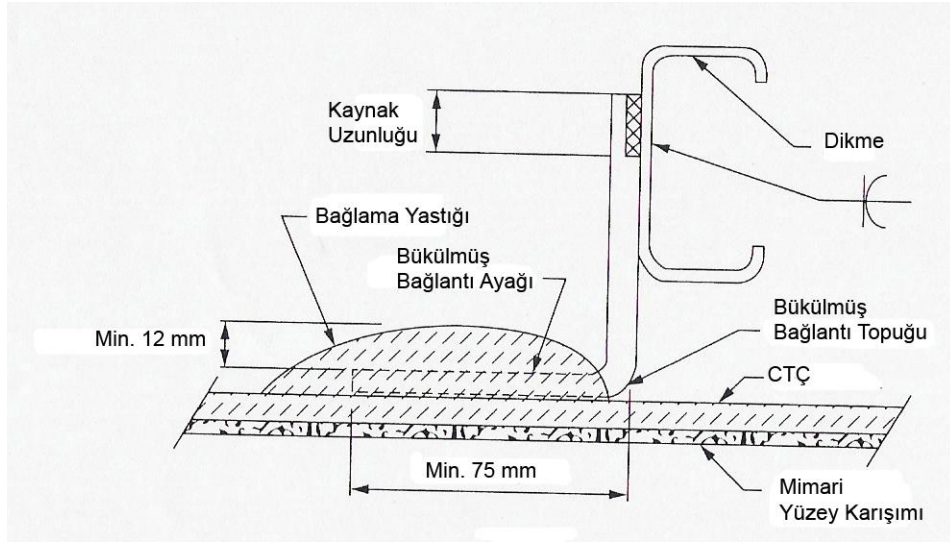
2.8.1 Çelik karkaslı iskelet (steel stud frame)

Mimari prekast bir beton formu olan CTÇ paneller, cam elyaf takviyeli çimento ve onu destekleyen, bileşimin bir kalıba püskürtülmesi sırasında içine gömülen çelik bir iskeletten oluşmaktadır. Çelik iskelet sistemin oluşturulmasında temel amaç; CTÇ panellerin ağırlık ve yüklerinin ana yapı strüktürüne iletilmesidir [9]. Paneller strüktürel sisteme tutturulur. Oluşturulan bariyer duvar sisteminin içeriği şunlardır [10]:

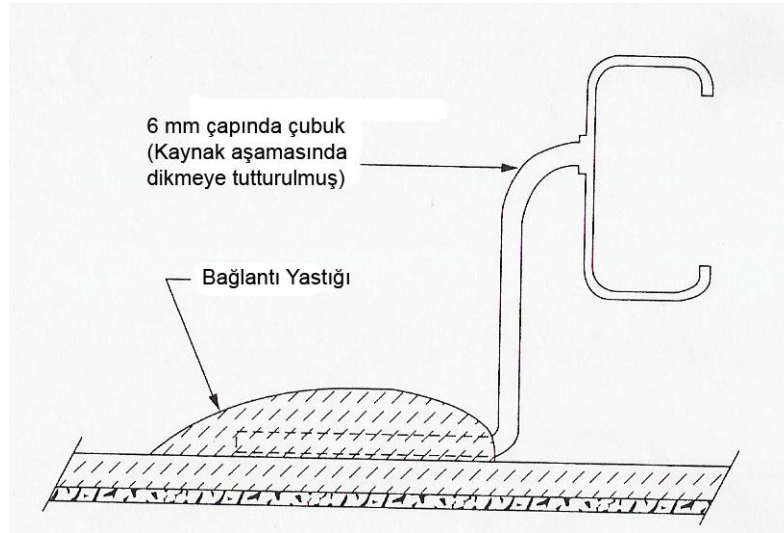
- Dış kaplama malzemesiyle birlikte veya kaplamasız CTÇ,
- Metal iskelet/takviye,
- Hava sızıntısı yavaşlatıcı,
- Bağlantı aksesuarları,

- Nem kesici,
- İç taraf bitişi.

Çelik karkaslı çerçeveleme sistemi, taşıyıcı çelik çerçevenin imalatından ve CTÇ'nin bükülmüş bağlantılar veya ağırlık bağlantıları kullanılarak çerçeveye tutturulmasından oluşmaktadır [2].

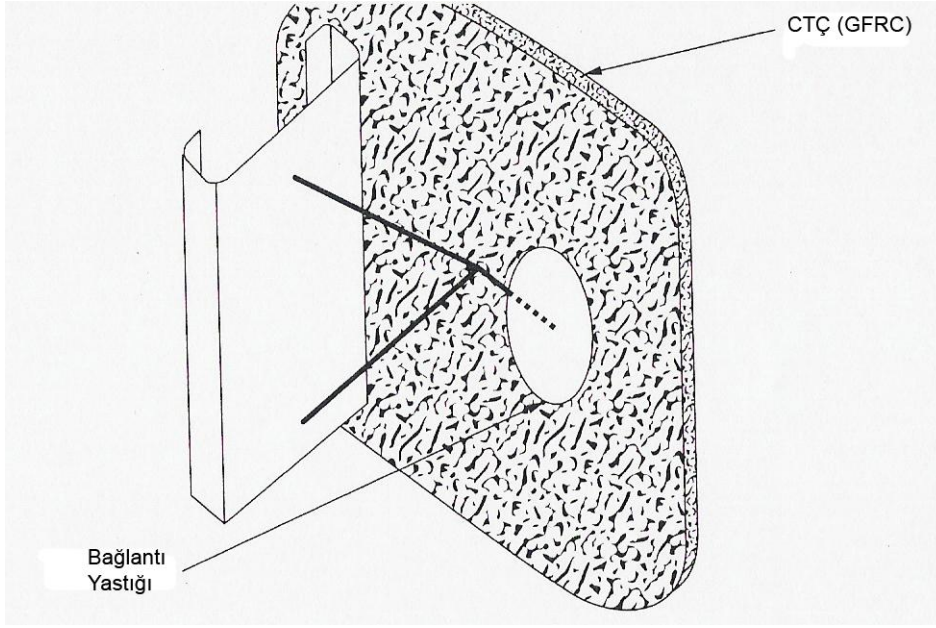


Şekil 2.7 : Bükülmüş bağlantılar (a) [2].

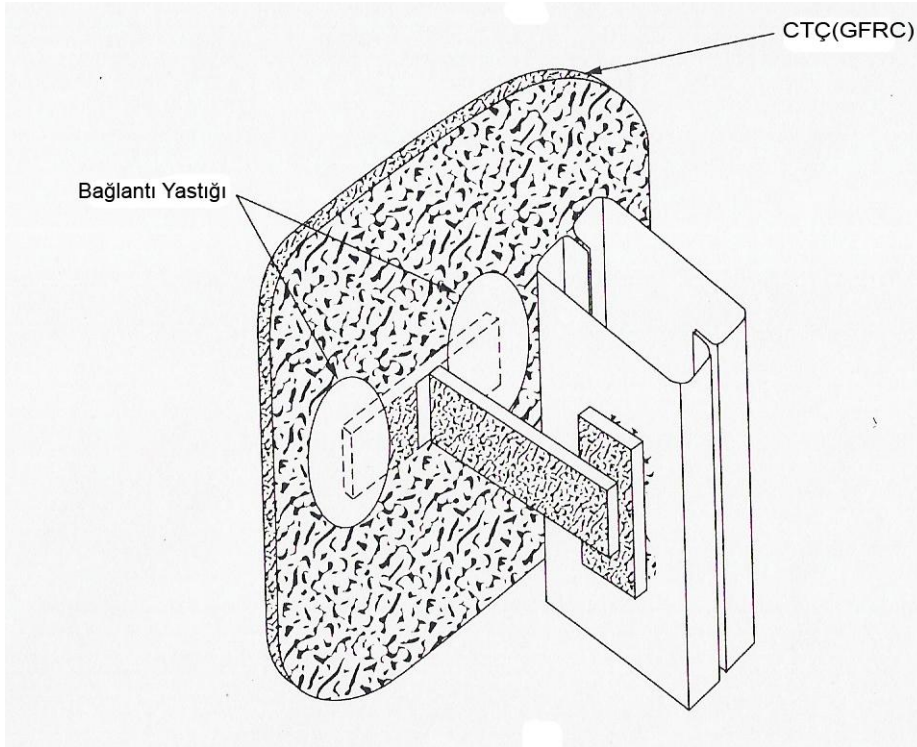


Şekil 2.8 : Bükülmüş bağlantılar (b) [2].

Bükülmüş bağlantı birleşiminde, CTÇ'nin ağırlığı bağlantının eğilme mukavemeti aracılığıyla çelik dikmelere aktarılır (Şekil 2.7 ve 2.8) [2].



Şekil 2.9 : Ağırılık bağlantıları (a) [2].



Şekil 2.10 : Ağırılık bağlantıları (b) [2].

CTÇ, ağırılık bağlantıları kullanılarak da çelik dikmelere tutturulabilir (Şekil 2.9 ve 2.10) [2].

Çelik iskelet çubuklarının birleşimlerinde basit vidalama yerine kaynaklama tavsiye edilir. Özellikle ölçüsel kesinlik ve doğruluğun sağlanmasında kaynaklı iskelet imalatı daha doğrudur. Çelik iskelet ve kaynaklar korozyondan korunmalıdır [9].

2.8.1.1 Esnek ankastre (flex anchor) birleşimler

Esnek ankastre birleşimlerde, CTÇ kabuğun ağırlığı çelik iskelete, birleştirme tamponlarının eğilme mukavemeti vasıtası ile iletilir (Şekil 2.7 ve 2.8). L şekilli anchorlar yeterince mukavim ve kabukta oluşan yükleri çelik şasiye, deformasyona uğramadan iletebilecek rijitlikte olmalıdır. Aynı zamanda, kabuk nem ve ısı değişiklikleri sebebiyle ölçüsel değişime uğradığında aşırı yüklemelerin oluşmayacağı şekilde esnek de olmalıdır. Tipik olarak esnek ankastre parçalar 6 mm’lik yuvarlak demir çubuklardan imal edilirler. Bu çubuk yivli kaynak ile üst kısma kaynaklanır (Şekil 2.7) veya kaynaklanmış iskelete direkt olarak yerleştirilebilir. İkinci düzenleme daha esnektir. Bazı örneklerde üst kısımda dolu kaynaklarla birlikte kutu profiller de kullanılır [9].

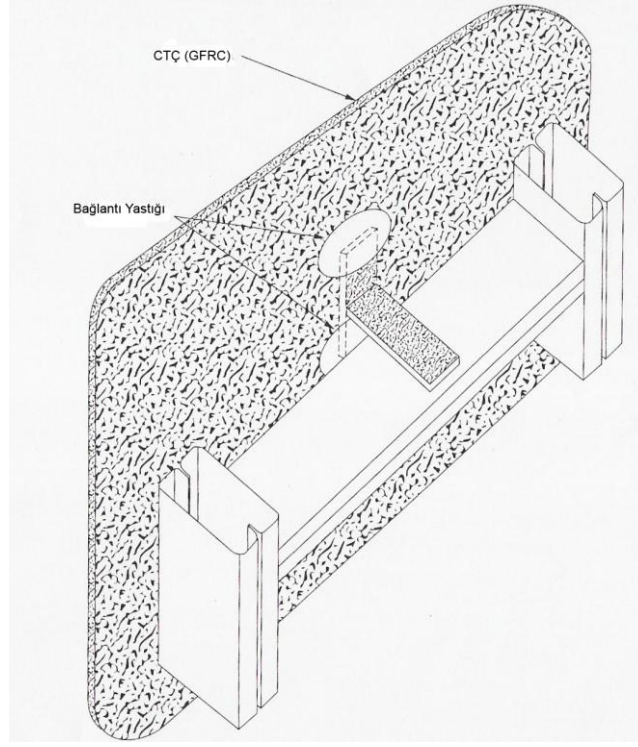
2.8.1.2 Yerçekimli ankastre (gravity anchor) birleşimler

CTÇ kabuklar, yerçekimli ankastre birleşimler kullanılarak da iskelete monte edilebilirler (Şekil 2.9 ve 2.10). Eğer iskelet rijit ise kabuk iskelete bir dizi sıkıca bağlanmış yerçekimli ankastre birleşim vasıtası ile birleştirilir (Şekil 2.9). Enine (çaprazlama) yükler için daha küçük çaplı çubuklar ile oluşturulan birleşimler her çeşit iskelet veya değişik dikmeler ile de kullanılabilir [9].

Bu şekilde panelin ağırlığı direkt olarak strüktürel çerçeveye aktarılır. Şekil 2.10’da plakalardan yapılmış parçalar gösterilmektedir. Plakalar daha derine yerleştirilebilirler; bu şekilde daha fazla ağırlık taşıyabilirler ve aynı zamanda yanal yönlerde de esneklik sağlarlar [9].

2.8.1.3 Deprem bölgeleri için ankastre birleşim detayları

Deprem bölgelerinde, deprem esnasında oluşan yanal hareketlere karşı direnç gereklidir. Bu direnç sistemin bütününde sağlanmalıdır. Şekil 2.10’da görüleceği üzere, yassı “T” demirli levha sistemlerinde, ankastre birleşimlerden bir tanesi sismik hareketten kaynaklanan yükleri taşıyacak şekilde kuvvetlendirilir [9].



Şekil 2.11 : Deprem bölgeleri için özel ağırlık bağlantıları [2].

Deprem sel yük, Şekil 2.11’de gösterildiği gibi yatay olarak yönlendirilmiş düz bir levha kullanılarak taşınabilir [2].

Ankastre birleşim parçaları oluşan rotatif döndürme kuvvetlerini taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Çünkü çubuk sistemi kabuk kütle sinin merkezi ile aynı doğrultuda değildir. Tasarımda esnek birleşimlerin kullanılması durumunda, zayıf aks doğrultusunda şasinin eğilmezliği iyice hesaplanmalıdır. Daha dengeli tasarımların elde edilebilmesi için yerçekimli birleşimler ile esnek ankastre birleşim parçaları kombine olarak kullanılmalıdır [9].

Yerçekimli birleşimler, panel yüksekliğinin ortasında kullanılırsa döndürme momentleri düşebilir. Ancak panel alt yarısında istenmeyen gerilme kuvvetlerinin oluşmasına neden olabilir [9].

2.8.2 Çelik karkaslı iskeletin CTÇ (GRC) panellere montajı

CTÇ yüzeye, çelik karkaslı iskelet birleştirme tamponları vasıtası ile bağlanır (Şekil 2.7, 2.8, 2.9, 2.10). Genellikle çerçeveler, CTÇ kabuğa zıt yönde ve birleştirme tamponları yeterli mukavemeti kazanıncaya kadar “klips”ler vasıtası ile pozisyonunu koruyabileceği şekilde yerleştirilir. Birleştirme tamponu aşağıda sıralanan 3 işlem den birisi ile oluşturulur [9]:

- Tabaka yayılması işlemi,
- Elde paketlenme yöntemi,
- Direkt spreyleme yöntemi.

Her 3 metotta da tampon manuel olarak yoğurularak CTÇ kabuğa yerleştirilir. Birleştirme tamponunun dökümü ile son silindiri bitiş sıkıştırması arasındaki zaman gecikmesi, iyi birleşimin sağlanmasını engelleyebilir. Eğer bu gecikme fazla olursa tampon CTÇ kabuktan ince tabakalar halinde soyulabilir [9].

Bazı hallerde, anchorlar, kabuğun dış yüzünden görülecek şekilde yanlış yerleştirilebilir. Bunun önlenmesi ve uygun üretimin sağlanması için anchorlar CTÇ kabuk yüzeyinden 3 ile 10 mm arasında daha uzağa yerleştirilmelidir. Birleştirme tamponları en az 13 mm kalınlıkta olurlar. Kabuktan çerçevelere yüklerin transferinin yeterli oranda gerçekleşebilmesi için anchor ayağının birleşim alanı ile iyi kaynaşması gerekir. Bu birleşim alanları 120 ile 210 cm² arasında değişir. Tamamen suni yaşlandırmaya tabi tutulmuş numunelerin aks ve makaslama çekme testleri kullanılarak elde edilen mukavemet sonuçları ile kesin ölçü belirlenir. Uygulama ortamı koşullarında ve maksimum çekme kuvvetleri uygulanarak en az 7 testin uygulanması tavsiye edilir (7 sonuçtan maksimum ve minimum olanları çıkartılıp kalan 5 sonucun ortalaması alınır). Suni yaşlandırma birleşim parçalarında çekme mukavemetini %50 oranında azaltır [9].

2.9 CTÇ (GRC)'nin Kullanım Alanları

2.9.1 CTÇ (GRC)'nin mimarlık alanında kullanımı

CTÇ, mimarlara ve mühendislere geniş tasarım imkanları sunan bir malzemedir. Modern tasarımlar elde etmek üzere şekillendirilebildiği gibi, geleneksel tarihi unsurların benzerlerinin yapılmasında da kullanılır. CTÇ, boyanabilir, uygun agregalarla kaplanabilir, renklendirilebilir veya doğal gri/beyaz renginde bırakılabilir [4].



Şekil 2.12 : CTÇ (GRC)’nin mimaride kullanım örnekleri [4].

CTÇ’nin mimari alanda kullanıcıya sunduğu avantajlar şunlardır:

- CTÇ, hafif, taşınması ve montajı kolay bir üründür [4].
- CTÇ kullanımı binanın temeline ve strüktürüne binen yükü azaltır [4].
- Yapıda yenileme çalışmalarına uygundur [4].
- Çevre dostu bir malzemedir [4].

2.9.1.1 Cephe kaplaması

CTÇ, en yaygın prefabrik cephe kaplamalarından biridir. Çok çeşitli formlarda, ince ve hafif paneller elde edilebildiğinden dolayı dünya çapında pek çok mimar ve mühendis tarafından tercih edilmektedir [4].



Şekil 2.13 : CTÇ (GRC)'nin cephe kaplaması olarak kullanım örnekleri [4].

CTÇ'nin cephe kaplamasında kullanıcıya sunduğu avantajlar şunlardır:

- Şekiller, detaylar ve dokular kolayca yeniden üretilebilir [4].
- CTÇ'nin sahip olduğu yüksek mukavemet ince ve hafif kaplama elemanları üretilmesine imkan verir [4].
- Pigmentlerle, boyalarla veya doğal taş kaplamalarıyla renklendirilebilir [4].
- Ağırlık veya şekil sorunlarında, CTÇ kaplamalar strüktürel eleman olmayan prekast beton elemanlarla değiştirilebilir [4].

CTÇ cephe kaplaması üretiminde genellikle elle püskürtme yöntemi kullanılmaktadır. Malzemenin özel bir makine kullanılarak kalıba püskürtüldüğü bu yöntemle yüksek performanslı, ince kesitli ve hafif elemanlar elde edilir [4].

2.9.1.2 Yüzey bitiş elemanları ve silmeler

CTÇ, mimari yüzey bitiş elemanları ve silmelerin üretiminde de kullanılır. Ürünlerin inceliğinin 25 mm'ye kadar düşmesi, taşıma ve montaj kolaylığı sağlarken, mimar ve mühendisler yaratıcı tasarım özgürlüğü de sunar [4].



Şekil 2.14 : CTÇ (GRC)'nin yüzey bitiş elemanı olarak kullanım örnekleri [4].

2.9.1.3 Peyzaj

Oturma elemanları, saksılar, havuzlar, küçük kulübeler, işaret levhaları, heykeller ve çeşmeler gibi çevre düzenlemesi unsurları CTÇ ile üretilmektedir. Ayrıca, zoolojik tema parklarının temsili çevresinin oluşturulmasında da kullanılmaktadır [4].



Şekil 2.15 : CTÇ (GRC)'nin peyzaj alanında kullanım örnekleri [4].

2.9.2 CTÇ (GRC)'nin yapıda kullanımı

Son yıllarda, kalifiye işçi azlığı ve daha hafif yapı bileşenlerinin üretilme ihtiyacının ortaya çıkması prefabrik CTÇ elemanların kullanımında artış sağlamıştır. CTÇ, yapı üreticilerine daha hızlı bir inşaat süreci de sunmaktadır [4].

Ayrıca, yapılan araştırmalar neticesinde, az miktarda alkalilere dayanıklı cam elyaf katkısının geleneksel beton elemanlarda durabiliteyi arttırdığı ortaya çıkmıştır [4].



Şekil 2.16 : CTÇ (GRC)'nin yapıda kullanım örnekleri [4].

2.9.2.1 Çatı kaplama malzemesi

CTÇ, çok çeşitli çatı strüktürlerinde kullanıma uygun bir malzemedir. Hafif fakat dayanıklı, tespiti kolay ve çevre şartlarından etkilenmeyen bir yapıya sahiptir [4].

CTÇ, Gotik süslemeler, çatı sırtı ve bacalar gibi çatı aksesuarları için şekillendirilebilir [4].



Şekil 2.17 : CTÇ (GRC)'nin çatı kaplama malzemesi olarak kullanım örnekleri [4].

2.9.2.2 Duvarlar ve pencereler

Pencere denizlikleri, pencere etrafı, kornişler, taçkapılar ve kolonlar şeklinde kalıplanmış CTÇ, konut ve ticaret yapılarının dekorasyonunda kullanılırken fonksiyonel ihtiyaçları da karşılar [4].



Şekil 2.18 : CTÇ (GRC)'nin duvar ve pencerelerde kullanım örnekleri [4].

2.9.2.3 Yenileme

CTÇ yenileme için ideal bir malzemedir. İnce ve hafif paneller, uygulama kolaylığı sağladığı gibi strüktüre binen yükü de azaltır. Yapıda yalnızca estetik kaygılarla değil, termal ve akustik özellikleri geliştirmesi bakımından da tercih edilen bir malzemedir [4].



Şekil 2.19 : CTÇ (GRC)'nin yenileme alanında kullanım örnekleri [4].

2.9.2.4 Temeller ve döşemeler

CTÇ, temel ve döşeme konstrüksiyonlarında pratik çözümler sağlar. Balkonların beton plak konstrüksiyonlarını basitleştirir. Soğuk iklim bölgelerinde, zemin kat beton plaklarında izole edilmiş CTÇ kullanımı ısı kaybını azaltır [4].



Şekil 2.20 : CTÇ (GRC)'nin temel ve döşemelerde kullanım örnekleri [4].

2.9.2.5 Modüler yapılar

CTÇ paneller hafif ve kolay taşınabilir olduğu gibi, aynı zamanda darbelere karşı dayanıklıdır. Modüler banyolar veya telekomünikasyon cihazlarını muhafaza eden yapılar gibi küçük birimler, tek parça halinde taşınabilir ve yerlerine yerleştirilebilir [4].



Şekil 2.21 : CTÇ (GRC)'nin modüler yapı alanında kullanım örnekleri [4].

2.9.3 CTÇ (GRC)'nin mühendislik alanında kullanımı

2.9.3.1 Kalıcı kalıp

Kalıcı kalıbın en yaygın uygulama alanı köprü konstrüksiyonudur. Küçük CTÇ panelleri (1-2 m), çelik ve betondan önce prekast beton kirişler arasına yerleştirilir. CTÇ kalıcı kalıpların kurulum kolaylığı yanında, çeliği korozyona karşı ekstra koruma özelliği vardır [4].



Şekil 2.22 : CTÇ (GRC)'nin kalıcı kalıp olarak kullanım örnekleri [4].

2.9.3.2 Kamu hizmetleri

Demiryolu endüstrisinde, CTÇ kanalları elektrik ve iletişim kablolarını korumak için kullanılır [4].



Şekil 2.23 : CTÇ (GRC)'nin kamu hizmetlerinde kullanım örnekleri [4].

2.9.3.3 Akustik

CTÇ, hem iç hem de dış akustik bariyerler ve paravanlar için mühendisler tarafından tercih edilmektedir [4].

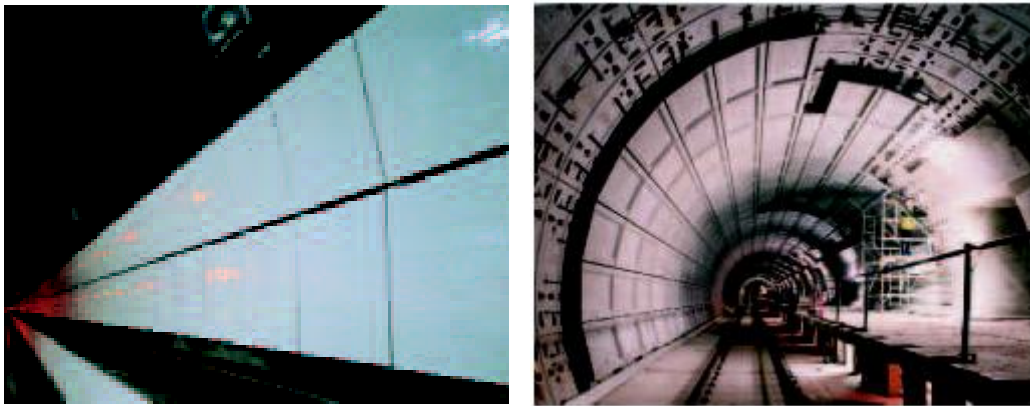
CTÇ'nin yüksek yoğunluğu, düzgün yüzey bitişi ve kolay şekillendirilme özelliği, konser salonlarında ve diğer oditoryumlarda kullanılması açısından avantaj sağlamaktadır [4].



Şekil 2.24 : CTÇ (GRC)'nin akustik malzemesi olarak kullanım örnekleri [4].

2.9.3.4 Köprüler ve tüneller

Hafif ve dayanıklı CTÇ elemanlar köprü ve tünellerde sıkça kullanılmaktadır [4].



Şekil 2.25 : CTÇ (GRC)'nin köprü ve tünellerde kullanım örnekleri [4].

2.9.3.5 Su ve drenaj

CTÇ, ince kesitli ve yüksek mukavemetli ürün imalatına imkan vermektedir [4].



Şekil 2.26 : CTÇ (GRC)'nin drenaj kanalı olarak kullanım örnekleri [4].

3. CTÇ (GRC)'NİN KALİTE KONTROL TESTLERİ

CTÇ(GRC) için gerekli kalite kontrol testleri, çimento, agregalar, su, ek karışımlar ve elyafların kalite kontrolünü içerirler. CTÇ(GRC)'ye özgü testler: malzeme kalibrasyon testleri (sulu çimento akış hızı testi ve elyaf akış hızı testi), imalat sırasındaki kalınlığı kontrol testi, sulu çimento yoğunluk çökme deneyi, ıslak yoğunluk testi, elyaf içeriği (yıkama testi), bağlantı çıkarma veya kesme testleri ve çeşitli tipte eskime testleridir [2].

3.1 Malzeme Kalibrasyon Testleri

Malzeme kalibrasyon testleri elyaf içeriğinin belirlenmiş limitler içerisinde olduğundan emin olmayı sağlar. Diğer faktörlerin aynı olduğu varsayılarak, yoğunluk değişikliği mukavemet değişikliği ile direkt olarak ilgili olabilir. Hava boşlukları, yoğunluk ve mukavemetteki düşüşün temel nedenidir [2].

3.1.1 Sulu çimento akış hızı testi (kova testi)

Sulu çimento akış hızı, en az 30 sn.lik zaman periyodunda püskürtme hortumundan akan sulu çimentonun toplanıp tartılmasıyla belirlenir. 30 sn.lik üç toplananın ortalaması istenir. Ortalama değer ikiyle çarpılır, sulu çimento akış hızı sonucu 1b/min (kg/min) olarak belirtilir [2].

3.1.2 Elyaf akış hızı testi (çanta testi)

Düzensiz elyaf kesme hızı veya kesim çıktısı hızı olarak da adlandırılan elyaf akış hızı, kesim tabancasından 30 saniyede çıkan elyafların toplanması ve toplananların tartılmasıyla belirlenir. 30 saniyelik üç toplananın ortalaması istenir. Ortalama değer ikiyle çarpılır, elyaf akış hızı sonucu 1b/min (kg/min) olarak belirtilir [2].

3.2 Kalınlık Testi

Bu basit test, hem minimum kalınlık gereksiniminin karşılandığından emin olmayı hem de paneldeki belirli değişikliklerin anlaşılmasını sağlar. Bir kalınlık ölçümünün minimum 0.5 m² (5 ft²) alanda yapılması tavsiye edilir. Kenarlara, köşelere ve birleşim/ek yerlerine özellikle dikkat edilmelidir. Takviye edilmemiş mimari yüzey karışımları kalıbın dibine döküldüğünde, sabit karışım kalınlığının sağlanması için özellikle dikkat edilmelidir. Sonuç olarak ortaya çıkan CTÇ(GRC) kalınlığı, en son püskürtülen katmanın üzerinden kalıp yüzeyine kadar olan toplam kalınlık ölçülerek kontrol edildiği için bu önemlidir. Yüzey karışımı kalınlığı bilinen sabit bir değerde tutulamazsa, CTÇ(GRC) kalınlığı kalite kontrolü değerlendirilmez [2].

3.3 Matriks Kıvamının Ölçülmesi (Slamp Deneyi)

Bu test, sulu çimento karışımının püskürtme için uygunluğunu kesinleştirme amacıyla kullanılabilir. Daha da önemlisi karışımın yoğunluğunun partiden partiye değişmemesi için kullanılır [2].

Test, 80.9 mm (3.187 in) yüksekliğinde, 57.2 mm (2.2 in) iç çapında pleksiglas tüpün sulu çimento ile doldurması ve ortak merkezli çemberlerle işaretlenmiş düz pleksiglas hedef levha üzerine yayılmasının sağlanmasından oluşur. Üç tekrar tavsiye edilir. Hedef levha üzerine yerleştirilen tüp, sulu çimento karışımıyla doldurulur, bakılır ve spatulanın kenarıyla düzleştirilir, sonra da sulu çimentonun hedef levha üzerine akmasına imkân verecek şekilde düşey olarak kaldırılır. Levha üzerine yayılan karışımın çapı sulu çimentonun püskürtülebilirliğinin bir göstergesi olarak kullanılır. Elde edilen değerler 0'dan 8'e ölçeklendirilerek belirtilir. Yayılan sulu çimentonun çapı ≤63.5 mm (2.5 in) ise 0 değeri verilir ve bu karışımın katı olduğu anlamına gelir. 225 mm (8.875 in) çap değeri çok akışkan bir sulu çimentoyu gösterir ve 8 çökme değerine sahiptir. Sulu çimento katılığı zamanla değiştiğinden çökme değerleri de zamanla değişir. Test için gerekli zaman püskürtme süreci için ihtiyaç duyulan süreye bağlı olarak belirlenmelidir [2].

Cam elyaf takviyeli çimentoda (CTÇ) su/çimento oranının uygunluğunu ve karışımın işlenebilirliğini (pompalanabilme ve sıkıştırma için uygunluk) kontrol etmeyi mümkün kılan bir deneydir. TS EN 1170-1/Mart 1999 “Ön Yapımlı Beton

Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu-Bölüm 1: Matriks Kıvamının Ölçülmesi (Slamp Deneyi)” standardına göre yapılır [11].

Deney cihazları aşağıdakilerden ibarettir [11]:

- İç yüzeyi pürüzsüz, $(55\pm0,5)$ mm yükseklik, $(57\pm0,5)$ mm iç çap ve 65 mm’den daha az olmayacak dış çapa sahip plâstik veya metalik boru parçası,
- Yüzeyi pürüzsüz, kolay temizlenebilir malzemeden imal edilmiş, yaklaşık (300×300) mm boyutlarında üzerine $\pm0,5$ mm yüzey pürüzlülük toleransıya aşağıda Tablo 2.3’te çapları verilen dokuz adet eş merkezli daireler işlenmiş düzgün bir plâka,
- Bir mala.

Çizelge 3.1 : Daire numarası ve çapları [11].

Daire Numarası	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Daire Çapı (mm)	65	85	105	125	145	165	185	205	225

Deney aşamaları aşağıda belirtilmiştir [11]:

- Plâka yatay bir mesnet üzerine konulur,
- Plâka ve boru parçasının iç kısmı nemli bir bezle temizlenir,
- Boru parçası plâka üzerinde “0” no ile işaretlenmiş dairenin merkezine konur,
- Kullanıma hazır durumdaki matriksten yaklaşık 200 cm^3 kadar alınır (örneğin püskürtme işleminde pompa ağzından),
- Matriks boru parçası içerisine doldurulup birkaç saniye hava kabarcıkları çıkana kadar beklenir ve mala ile yüzey düzlenir,

- Boru parçası yavaşça düşey olarak kaldırılır. Matriks plaka üzerine yayılacaktır,
- 30 sn kadar beklenir ve yayılan matriks tarafından ulaşılan daire numarası okunur. Gerekirse sonuç en yakın daire numarasına yuvarlatılır,
- Deney kayıt defterine sonuç kaydedilir (TS EN 1170-2’de kayıt sayfasının bir örneği verilmektedir),
- Deney cihazları temizlenir ve kurulanır.

Optimum değer karışım hesabı sırasında, imalât metodu ve mamulün tipine göre belirlenir [11].

Elde edilen sonuç belirlenen optimum değere uymuyorsa bileşenleri değiştirmeden önce (örneğin, su miktarının değiştirilmesi) sonuçların geçerli olması için deney bir kere daha tekrarlanır [11].

3.4 Suya Daldırma Yoluyla Su Emme ve Kuru Yoğunluk Tayini

Belirli cam elyaf takviyeli çimento (CTÇ) bileşimindeki malzemenin su emmesini ve kuru yoğunluğunu tayin eden bir deneydir. TS EN 1170-6/Mart 1999 “Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu-Bölüm 6: Suya Daldırma Yoluyla Su Emme ve Kuru Yoğunluk Tayini” standardına göre yapılır [12].

Kullanılan semboller aşağıda verilmiştir [12]:

m_d : Kurutmadan sonra deney parçasının kütlesi, kuru kütle, (gr),

m_{wj} : j gün müddetince suda bekletilen deney parçasının kütlesi, ıslak kütle, (gr),

V : Deney parçasının hacmi, (cm³),

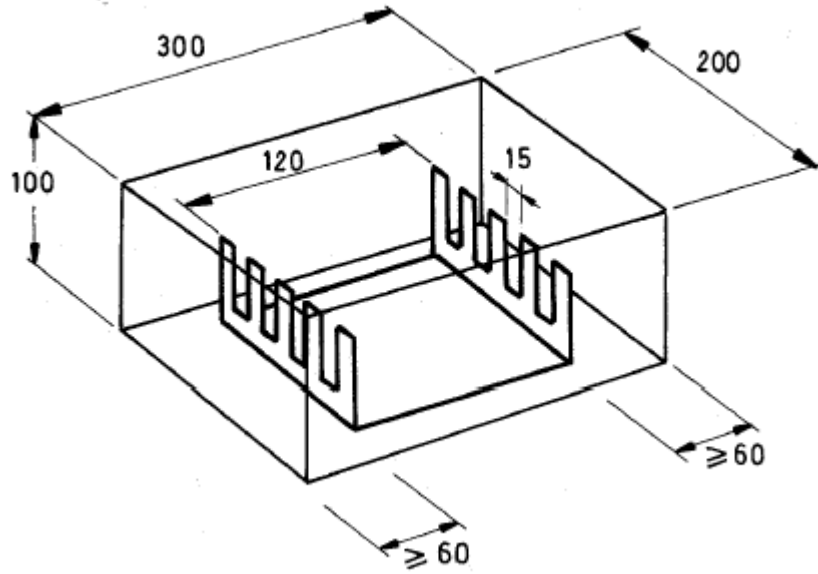
γ : Suda bekletme sonucu su emme, kütlece %,

ρ_d : Kuru yoğunluk, kg/m³.

Deney cihazları aşağıdakilerden ibarettir [12]:

- 0 kg ile 2 kg arasında 0,1 gr doğruluklu tartım yapabilen bir terazi,
- (105±5)°C’a ayarlanabilen hava dolaşımli kurutma etüvü,

- Yaklaşık (500x800) mm boyutlarında yüzeyi pürüzsüz ve kolay temizlenebilen düz bir plâka,
- 0,5 mm doğrulukta ölçme yapabilen bir cetvel,
- 0,1 mm doğruluklu ölçme yapabilen bir kumpas,
- Yaklaşık (300x200x100) mm boyutlarında ve $(20\pm2)^{\circ}\text{C}$ 'da su ile doldurulmuş düz tabanlı ve konumları ayarlanabilen bir cihazla donatılmış tank. Örneğin, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi paslanmaz ızgaralı tarak tipinde malzeme.

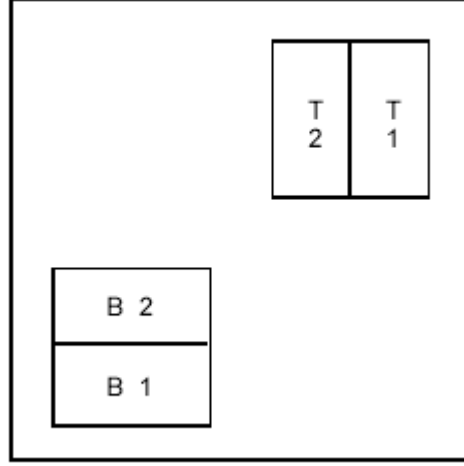


Şekil 3.1 : Deney parçalarının doğru yerleştirilebilmesi için bir cihaz örneği [12].

Düz plâka üzerinde gerçek imalatı temsil edecek şekilde aynı şartlar altında yüzeyi tamamıyla CTÇ(GRC) ile kaplanmış örnek bir panel oluşturulur; püskürtme veya ön karışımli. 24 saat sonra kalıptan çıkarılır ve 6 günlük olana dek gerçek imalatı temsil edecek şekilde aynı şartlar altında saklanır [12].

Şekil 3.2'de gösterildiği şekilde kenarlardan (50 ± 10) mm olacak şekilde 4 deney parçası testere ile kesilir.

Deney parçaları kalıptan çıkarıldıkları gün de kesilebilirler [12].



Şekil 3.2 : Deney parçalarının doğru yerleri ve isimleri [12].

Deney parçalarının boyutları :

- genişlik : (50 ± 2) mm,
- uzunluk : (225 ± 2) mm'dir [12].

Deney parçaları 6 gün müddetle saklandıktan sonra, yaklaşık 24 saat süresince $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 'lık oda sıcaklığında 7 günlük olana dek saklanır [12].

Her numunenin boyutu en yakın mm'ye yuvarlatılarak ölçülür ve her birinin hacmi hesaplanır ve cm^3 olarak ifade edilir [12].

Hidrostatik tartma metodu ile hacim belirlenmesi de mümkündür [12].

Dört deney parçası $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 'da su ile dolu düz tabanlı tank içerisine yerleştirilir. Deney parçaları taraklar tarafından düşey olarak yerlerinde tutulur ve uzunlukları doğrultusundaki kenarlarının üzerinde yerleştirilirler. Parçaların su ile kaplanma derinlikleri en az $(20 + \quad)$ mm olmalıdır [12].

Suda bekletme süresi CTÇ bileşimine bağlı olarak,

- Polimer içermeyen bileşimler için 24 saat,
- 24 saatte bir ara ölçümü olanlar için 7 gündür [12].

Sudan alındıktan sonra ve tartmadan önce deney parçaları nemli bir bezle yüzey suyu iyice alınana kadar silinir [12].

Deney parçaları tartılır ;

m_{w1} : 24 saat suda bekletildikten sonraki numune kütlesi, gr,

m_{w7} : 7 gün sonunda suda bekletildikten sonraki numune kütlesi, gr,

Daha sonra deney parçaları sabit kütle “ m_d ” değerine ulaşınca kadar hava dolaşımli etüv içerisine konur (24 saat aralıkla yapılan iki tartım sonuçlarında %0,1’den daha fazla fark olmamalıdır) [12].

Suda bekletme ile su emme γ , kütlece % olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\gamma = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \quad (3.1)$$

Polimer içerikli formulasyonlar için γ 24 saatte m_{w1} ile ve 7 günde m_{w7} ile hesaplanır [9].

Kuru yoğunluk ρ_d kg/m³ olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik ile belirlenir:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \times 10^3 \quad (3.2)$$

Sonuçlar CTC bileşiminin özelliklerine (kum granülometrisi, polimer içeriği vb.) ve işçiliğe (sıkıştırma) bağlıdır [12].

3.5 Islak Yoğunluk Testi

Islak yoğunluk ve birim ağırlık, 8 ons değişmez kabın içini dolduran sulu çimentonun ağırlığının ölçülmesiyle belirlenir. Üç ölçümün ortalaması alınır. Yöntem, daha küçük bir örnek almayı ve tartmadan önce sulu çimentonun güçlendirilmemesini kabul eden ASTM C138’in aynısıdır [2].

3.6 Taze CTÇ (GRC)'de Lif İçeriğinin Ölçülmesi (Yıkama Deneyi)

Bir alan üzerindeki ve çeşitli derinliklerdeki elyaf dağılımının değişmezliği yıkama testi denilen bir test kullanılarak kontrol edilir. Bu yöntemde, yeni kalıplanmış bir GFRC levha örneği küçük bir kalite kontrol levhasından kesilir ve tartılır. Daha sonra, sulu çimento su kullanılarak yıkanır. Kalan elyaflar kurutulur ve tartılır. Kurutulmuş elyafların ağırlığının toplam karışım ağırlığına (yeni levhanın ağırlığı) oranı elyaf içerik miktarını sağlar. Levha üzerinde çeşitli yerlerden ve farklı derinliklerden alınmış örnekler kabul edilebilir sınırlar içerisinde elyaf içeriğine sahip olmalıdır [2].

İmalât esnasında püskürtme cam elyaf takviyeli çimentonun (CTÇ) lif içeriğini tayin eden bir deneydir. TS EN 1170-2/Mart 1999 “Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu-Bölüm 2: Taze CTÇ’de Lif İçeriğinin Ölçülmesi (Yıkama Deneyi)” standardına göre yapılır [13].

Kullanılan semboller aşağıda verilmiştir :

G_c : Lif içeriği, kütlece %

m : Kütle, gr

Deney cihazları aşağıdakilerden ibarettir [13] :

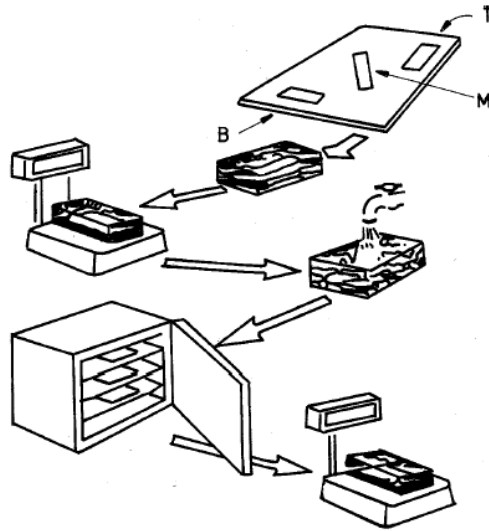
- 0 kg – 2 kg aralığında ölçüm yapabilen, 0,1 gr doğruluklu terazi,
- Sıcaklığı $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ ’a ayarlanabilen bir hava dolaşımli etüv veya 3’lü set halinde kızıl ötesi ışık yayan lâmba veya sıcaklığı $(500 \pm 20)^\circ\text{C}$ ’a ayarlanabilen bir kül fırını,
- 3 adet elek göz açıklığı 3 mm, tel çapları yaklaşık 0,3 mm ve paslanmaz çelikten imal edilmiş en az 200 mm çapta veya $(175 \times 100 \times 25)$ mm boyutlarında elekler. Elekler, “T” (üst), “M” (orta) ve “B” (alt) olarak işaretlenirler.

Lehimli elekler, sıcaklığın $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ ’u aştığı hallerde kullanılmamalıdır [13].

- 1 adet düzgün yüzeyli ve kolay temizlenebilen bir malzemeden imal edilmiş ve boyutları yaklaşık olarak (800×800) mm olan plâka,
- 1 adet bıçak ve gerekirse kesmeyi kolaylaştırmak için iç boyutları (151 ± 2) mm x (51 ± 2) mm olan bir şablon,
- 0,5 mm doğrulukta cetvel.

Deney aşamaları aşağıda belirtilmiştir [13].

- Düz plâka üzerinde, gerçek üretimdeki koşullar altında (önkarışimli veya spreyl) yüzeyi tamamıyla katı CTÇ ile kaplanmış bir numune oluşturulur,
- 15 dakika ile 30 dakika kadar beklenir,
- Oluşturulan panellerin kenarlarından en az (100±10) mm mesafeden başlamak üzere boyutları yaklaşık (150±2) mm x (50±2) mm olan üç numune kesilir,
- Elekler tartılır; m_1 (gr),
- Numuneler karşılık gelen eleklerle yerleştirilir ve tartılır; m_2 (gr),
- Numuneler matriks tamamen uzaklaşınca kadar akar su ile yıkanır,
- Elekler, sıcaklığı (105±5)°C'a ayarlanabilen bir etüv içerisinde veya kızıl ötesi ışık altında yaklaşık 4 saat kadar bekletilerek kurutulur. (500±20)°C'a ayarlanabilen bir kül fırını kullanılacaksa 10 dk yeterlidir,
- Elekler lifle birlikte yeniden tartılır, m_3 (gr),
- Sonuçlar deney kayıt defterine kaydedilir.



Şekil 3.3 : İşlem [13].

Lif içeriği G_c , kütlece yüzde (%) olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik ile verilir [13]:

$$G_c = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (3.3)$$

Sonuçlar en yakın %0,1 hanesine kadar yuvarlatılır [13].

Optimum değer standartlara göre belirlenir ve son kullanımın bir fonksiyonudur [13].

Elde edilen sonuç belirlenen değere uymuyorsa işlemlerde herhangi bir ayarlama yapmadan önce elde edilen bilgiyi doğrulamak üzere deney bir kere daha tekrarlanır [13].

Ölçülen değerler arasındaki sapma elekler için aşağıdaki gibi değerlendirilebilir [13].

Çizelge 3.2 : Lif dağılımında sapmanın değerlendirilmesi [13].

Püskürtme uygulaması için gözlenen sapma	Sapmanın değerlendirilmesi	Ön karışımli uygulama için gözlenen sapma
%1'den daha az	kabul edilebilir	%0,5'ten daha az
%1 ve %1,5 arasında	yüksek	%0,5 ve %1 arasında
%1,5'ten daha fazla	kabul edilemez	%1'den daha fazla

Üç eleğin her biri için elde edilmiş değerler arasındaki sapma lif dağılımının düzenliliğinin derecesini gösterir [13].

3.7 Püskürtme CTÇ (GRC)'nin Lif İçeriğinin Ölçülmesi

İmalât esnasında püskürtme cam elyaf takviyeli çimentonun (CTÇ) lif içeriğini tayin eden bir deneydir. TS EN 1170-3/Mart 1999 “Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu-Bölüm 3: Püskürtme CTÇ'nin Lif İçeriğinin Ölçülmesi” standardına göre yapılır [14].

Kullanılan semboller aşağıda verilmiştir :

G_c : Lif içeriği, kütlece %

m : Kütle, gr

t : Zaman, sn

Deney cihazları aşağıdakilerden ibarettir [14]:

- 1 adet yaklaşık 10 litre kapasiteli kap,
- 10 gr doğruluklu 0 kg - 20 kg aralığında ölçüm yapabilen bir terazi,
- 1 sn doğrulukla ölçüm yapabilen kronometre,

- Atık malzeme için yaklaşık 5 litre kapasiteli boş kova.

Deney gerçek imalât şartları altında yapılmalıdır [14]:

- Boş kap tartılır, m_1 (gr),
- Cam elyaf rulosu tartılır, m_2 (gr),
- Pompa çalıştırılır ve kısa bir süre için atık kovası içerisine lifsiz matriks püskürtülür,
- Püskürtme vanası ve kronometre çalıştırılır ve boş kabın içerisine matriks ve lif "t" süresi boyunca püskürtülür, Bu "t" zamanı en az 30 sn olmalı ve ölçüm 1 sn doğrulukta olmalıdır,
- Pompa püskürtme ucu atık kovasına yönlendirilir ve püskürtmeyi kesici vana ile matriks pompası durdurulur,
- Lif ve matriks ile dolmuş olan kap tartılır, m_3 (gr),
- Cam elyaf rulosu tartılır, m_4 (gr),
- Lif içeriği hesaplanır,
- Pompa basınç göstergesinden hava basıncı kaydedilir.

Cihazların basitçe daha doğru olarak çalışması ve kolay bir yolla lif içeriğini tespit edebilmek amacıyla sadece lif ve lifsiz matriks deneylerini ayrı olarak uygulamak da mümkündür [14].

Lif içeriği G_c , kütlece yüzde olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik ile verilir [14]:

$$G_c = \frac{m_2 - m_4}{m_3 - m_1} \times 100 \quad (3.4)$$

Sonuçlar en yakın %0,1 hanesine kadar yuvarlatılır.

Optimum değer şartname ile belirlenir ve son kullanıma bağlıdır.

Elde edilen sonuç belirlenen değere uymuyorsa işlemlerde herhangi bir ayarlama yapmadan önce elde edilen bilgiyi doğrulamak üzere deney bir kere daha tekrarlanır.

Lif içeriği (ortalama lif içeriği), mamulün cam elyaf içeriğinin en az belirlenen değere eşit olacağı şekilde ve imalât değişkenliğinin fonksiyonu olarak imalâtçılar tarafından tespit edilir [14].

Cihazdan elde edilen değerlerin hesaplanması :

Elde edilen lif içeriği miktarının lif ve matriks toplamına oranı aşağıdaki eşitliği sağlamalıdır [14];

$$\left[\frac{\text{Deneyle Bulunan Lif İçeriği}}{\text{Deneyle Bulunan (Lif+Matriks) İçeriği}} \times 100 \right] \geq \text{Şartnamede Belirlenmiş Lif İçeriği} \geq \text{İstenen Değer} \quad (3.5)$$

Cihazdan elde edilen veriler kg/dk olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitliklerden hesaplanırlar [14]:

$$\text{Deneyden Elde Edilen Lif İçeriği} = \frac{m_2 - m_4}{t \times 10^3} \times 60 \quad (3.6)$$

$$\text{Deneyden Elde Edilen Matriks İçeriği} = \frac{(m_3 - m_1) - (m_2 - m_4)}{t \times 10^3} \times 60 \quad (3.7)$$

$$\text{Deneyden Elde Edilen (Lif+Matriks) İçeriği} = \frac{(m_3 - m_1)}{t \times 10^3} \times 60 \quad (3.8)$$

Deneyi yapanların kendi kendilerini kontrol etmelerini sağlamak üzere aşağıdakileri gösteren rehber yolları tesis etmek faydalıdır [14]:

- Belirlenmiş lif içeriği ve hava basıncı değerleri,
- Kabul edilebilir lif içeriği değişkenliği (%0,2 genel olarak kabul edilen değerdir).

3.8 Güçlendirilmiş CTÇ (GRC) İçin Testler

GRC mukavemeti genellikle ASTM C497 “Cam Elyaf Takviyeli Betonun İnce Kesitinin Eğilme Özellikleri İçin Standart Test Yöntemi”ne göre yapılan bir eğilme testiyle tespit edilir. Bu üçüncü nokta yüklemesiyle tipik bir kiriş testidir. Numuneler incelendiğinden beri, testin başından itibaren yüklemenin numunenin kısa kenarından diğer kısa kenarına düzgün bir hatta uygulandığından emin olmak için destek ve yükleme noktalarına ayrıca dikkat edilmelidir. Bu test, (1) Nisbi elastik limiti (PEL) veya matris kırılma mukavemeti, (2) Kopma/kırılma modülü (MOR) veya en yüksek mukavemet, (3) bükülgen elastisite modülünü tespit etmek için kullanılır [2].

Güçlendirilmiş bir bileşik üzerinde yürütülen diğer testler, ASTM C948, çengel çıkarma ve kesme testlerine göre yoğunluk Emilimi ve Porozite içerir. Çengel çıkarma ve kesme testleri, panelden çengellere aktarılabilecek güvenli yükleri tespit etmek için kullanılır. Bu yüklerin panelden çengellere güvenli bir şekilde aktarılıp aktarılamayacağını belirlemek çok önemlidir, çünkü bu çengeller kullanılarak paneller yapılar bağlanır. GFRC panellere uygulanan hareketli ve hareketsiz yükler bu çengellerden strüktürel iskelete aktarılır [2].

3.9 Eğilme Dayanımı Tayini (Basit Eğilme Deneyi)

Cam elyaf takviyeli çimentoya (CTÇ) uygulanabilir, belirlenmiş eğilme dayanımı değerine uygunluğunun doğrulanması, imalat işleminin üniformalılığının değerlendirilmesi ve sıkışma homojenliğinin kontrol edilmesini sağlayan bir deneydir. TS EN 1170-4/Mart 1999 “Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu-Bölüm 4: Eğilme Dayanımı Tayini (Basit Eğilme Deneyi)” standardına göre yapılır [15].

Kullanılan semboller aşağıda verilmiştir :

b : Deney parçasının genişliği, mm

d : Deney parçasının kalınlığı (en yakın 0,1 mm'ye yuvarlatılmış), mm

F_{MOR} : Kırılma yükü, N

L : Deney parçasının uzunluğu, mm

L : Mesnetler arası mesafe, mm

m_w : Kurutmadan önce deney parçasının kütlesi, “ıslak kütle”, gr

m_d : Kurutmadan sonra deney parçasının kütlesi, “kuru kütle”, gr

W : Su içeriği, kütlece %

σ_{MOR} : Eğilmede çekme dayanımı, MPa

Deney cihazları aşağıdakilerden ibarettir [15]:

- ISO 7500-1’de belirtilen sınıf 3 ihtiyacını karşılayacak doğrulukta bir eğilme deneyi makinesi, mesnet çapları 6 mm’den az olmayacak ve mesnetler arası mesafe sabit 200 mm veya ayarlanabilir olan ve 4 noktadan eğilme deneyi yapabilen bir cihaz,

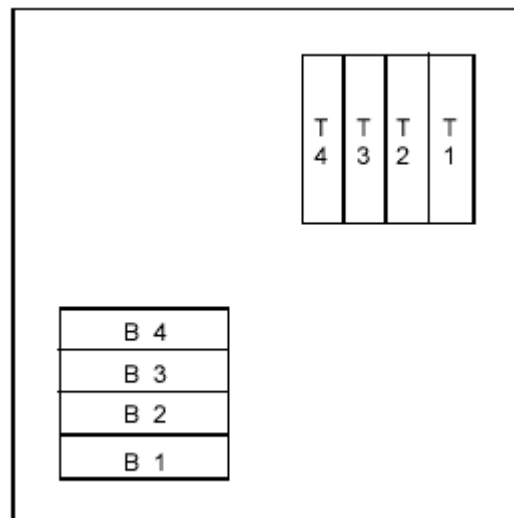
- Yüzeyi pürüzsüz ve kolay temizlenebilen bir malzemeden yapılmış ve yaklaşık (500 x 800) mm boyutlarında düz bir plâka,
- (20±2)°C’da tutulabilen su ile dolu ve yaklaşık (500x200x100) mm boyutlarında düz tabanlı bir tank,
- 0,5 mm doğruluklu bir cetvel,
- 0,1 mm doğrulukta ölçebilen bir kumpas,
- (105±5)°C’a ayarlanabilen hava dolaşımli kurutma etüvü,
- 0 kg ile 2 kg arasında 0,1 gr doğrulukta tartım yapabilen bir terazi.

Deney aşamaları aşağıda belirtilmiştir [15].

- Gerçek imalâtı temsil edecek şekilde aynı şartlar altında düz bir plâka üzerinde yüzeyi tamamıyla CTÇ ile kaplanmış bir numune paneli hazırlanır: Püskürtme veya ön karışımli,
- 24 saat sonra numune panel kalıptan çıkarılır ve 6 günlük olana kadar gerçek imalâtı temsil edecek şekilde aynı şartlar altında depolanır,
- Şekil 1’de gösterildiği yerlerden sekiz deney parçası kenarlardan (50±10) mm olacak şekilde testere ile kesilir.

Deney parçaları kalıptan çıkarma gününde de kesilebilirler.

Deney parçaları Şekil 3.4’te gösterildiği gibi işaretlenir [15]:



Şekil 3.4 : Deney parçalarının yerleri ve işaretlenmesi [15].

Deney parçalarının boyutları [15]:

a) Mesnetler arası mesafesi sabit olan deney makineleri için;

- genişlik : (50 ± 2) mm

- uzunluk : $(225 \pm 0,25)$ mm

b) Mesnetler arası mesafesi ayarlanabilir deney makineleri için;

- genişlik : (50 ± 2) mm

- uzunluk kalınlığa bağlı ve Çizelge 3.3'te gösterildiği gibi

Çizelge 3.3 : Kalınlığa bağlı olarak deney parçalarının uzunlukları (mm) [15].

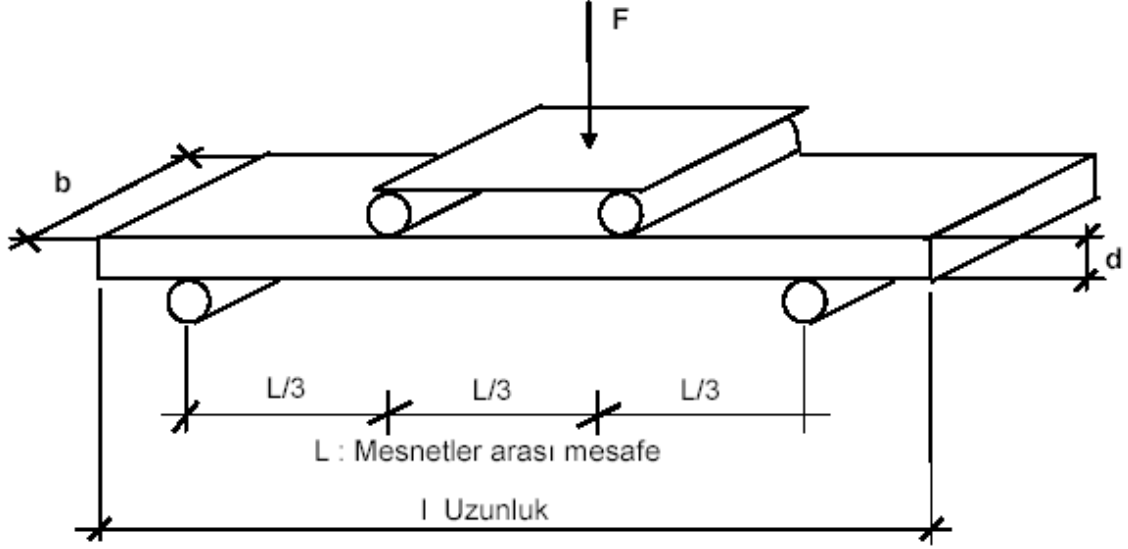
0,5 mm toleransla kalınlıklar (d)	$\leq 6,7$	6,8 - 10,0	10,1 - 12,5	$\geq 12,6$
± 25 mm toleransla uzunluklar (l)	160	225	275	325

Sekiz deney parçası 6 gün müddetle yaşlandırıldıktan sonra, deneye tâbi tutulacakları zamana kadar 7 günlük olmaları için $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'da su ile dolu tank içerisinde 24 saat bekletilirler [15].

Deney parçaları su dolu tanktan çıkarıldıktan $\frac{1}{2}$ saat içerisinde deneye tâbi tutulmalıdır [15].

Her deney parçasının uzunluğu en yakın milimetreye yuvarlatılarak ölçülür.

Deney parçaları Şekil 3.5'te gösterildiği gibi Çizelge 3.4'te belirlenmiş L mesnet açıklığına uygun olacak şekilde alt mesnetler üzerine yerleştirilirler [15].



Şekil 3.5 : Deney parçalarının deney makinesine yerleştirilmesi [15].

Çizelge 3.4 : Deney parçalarının uzunluklarına bağlı olarak mesnet açıklıkları (boyutlar mm'dir) [15].

Uzunluk, l	160	225	275	325
Mesnet açıklığı, L	135	200	250	300

- Yük, (10±1) N/sn'lik bir hızla yavaş olarak yüklenir,
- Makinanın yük göstergesinde okunan maksimum değer F_{MOR} , kırılma yükü kaydedilir,
- Kırılmadan sonra deney parçasının kalınlığı ve genişliği kırılmanın olduğu yerden veya yakın yerden 0,1 mm doğrulukla ölçülür,
- Her deney parçası tartılır, m_w (gr),
- Kırılmadan sonra (105±5)°C'a ayarlı hava dolaşimli kurutma etüvünde deney parçaları sabit kütle değeri m_d sağlanana kadar 24 saat arayla yapılan en son iki tartım arasında %0,1'den daha az fark oluncaya kadar kurutulur.

Eğilmede çekme dayanımı σ_{MOR} (MPa) aşağıdaki eşitlik ile verilir [15]:

$$\sigma_{MOR} = \frac{F_{MOR} \times L}{b \times d^2} \quad (3.9)$$

Su içeriği W, kütlece % olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik ile belirlenir [15]:

$$W = \frac{m_w - m_d}{m_d} \quad (3.10)$$

Maksimum eğilme dayanımının belirlenmiş değeri CTÇ mamulün kullanımına bağlı olarak belirlenir. Uygunluk değerlendirmesi esnasında tayin edilir [15].

3.10 Eğilme Dayanımı Tayini (Tam Eğilme Deneyi)

Eğilmeye maruz cam elyaf takviyeli çimento (CTÇ) bileşimli bir malzemenin orantısal limitte ve kırılma anındaki gerilme ve deformasyon performansını belirlemeyi amaç edinen bir deneydir. TS EN 1170-5/Mart 1999 “Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu-Bölüm 5: Eğilme Dayanımı Tayini (Tam Eğilme Deneyi)” standardına göre yapılır [16].

Aynı zamanda belirli bileşimdeki bir CTÇ için 28 günlük klâsik dayanım ile 7 günlük dayanım arasındaki ilişkiyi de kurmakta kullanılır [16].

Kullanılan semboller aşağıda verilmiştir:

b : Deney parçasının genişliği, mm

d : Deney parçasının kalınlığı (en yakın 0,1 mm'ye yuvarlatılmış), mm

F_{LOP} : Orantısal limitteki yük, N

F_{MOR} : Kırılma yükü, N

l : Deney parçasının uzunluğu, mm

L : Mesnetler arası mesafe, mm

m_w : Kurutmadan önce deney parçasının kütlesi, “ıslak kütle”, gr

m_d : Kurutmadan sonra deney parçasının kütlesi, “kuru kütle”, gr

W : Su içeriği, kütlece %

Δ_{LOP} : Orantısal limitteki sehim, mm

Δ_{MOR} : Kırılma anındaki sehim, mm

ϵ_{LOP} : Orantısal limit'deki birim deformasyon

ϵ_{MOR} : Kırılma anındaki birim deformasyon

σ_{LOP} : Orantısal limitteki gerilme, MPa

σ_{MOR} : Kırılma anındaki gerilme, MPa

Deney cihazları aşağıdakilerden ibarettir [16];

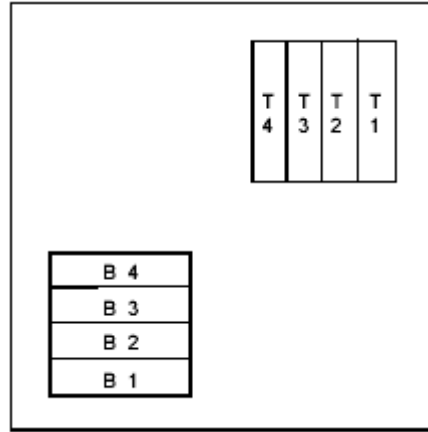
- ISO 7500-1’de belirtilen sınıf 2 ihtiyacını karşılayacak doğrulukta bir eğilme deneyi makinesi. 4 noktadan yüklemeli eğilme cihazı (minimum mesnet çapı 6 mm) ve deney cihazının ters simetri eksenine yerleştirilebilen ve 0,01 mm doğruluklu deformasyon sensörü. Deney cihazı yük/deformasyon eğrisi çizebilecek bir sisteme uygun olmalıdır (bilgisayarlı veya bilgisayarsız),
- Yüzeyi pürüzsüz ve kolay temizlenebilen bir malzemeden yapılmış ve yaklaşık (500 x 800) mm boyutlarında 2 adet düz plâka. Bir döküm imalâtı olması durumunda imal edilmekte olan ürünün kalınlığına eşit bir şablon tedarik edilir,
- (20±2)°C’da tutulabilen su ile dolu ve yaklaşık (500x200x100) mm boyutlarında düz tabanlı bir tank,
- 0,5 mm doğrulukla ölçebilen bir cetvel,
- 0,1 mm doğrulukta ölçebilen bir kumpas,
- (105±5)°C’a ayarlanabilen hava dolaşımli kurutma etüvü,
- 0 kg ile 2 kg arasında 0,1 gr doğrulukta tartım yapabilen bir terazi.

Deney aşamaları aşağıda belirtilmiştir [16].

- Gerçek imalâtı temsil edecek şekilde aynı şartlar altında iki düz plâka üzerinde yüzeyi tamamıyla CTÇ ile kaplanmış bir numune paneli hazırlanır : püskürtme veya ön karışımli.
- 24 saat sonra numune panel kalıptan çıkarılır ve 6 günlük olana kadar gerçek imalâtı temsil edecek şekilde aynı şartlar altında depolanır.
- Şekil 2.12’de gösterildiği yerlerden kenarlardan (50±01) mm olacak şekilde sekiz deney parçası testere ile kesilir.

Deney parçaları kalıptan çıkarma gününde de kesilebilir.

Deney parçaları Şekil 3.6’da gösterildiği gibi işaretlenir [16].



Şekil 3.6 : Deney parçalarının yerleri ve işaretlenmesi [16].

Deney parçalarının boyutları:

- genişlik : (50 ± 2) mm
- uzunluk kalınlığa bağlı ve Çizelge 3.5'te gösterildiği gibi

Çizelge 3.5 : Kalınlığa bağlı olarak deney parçalarının uzunlukları (mm) [16].

0,5 mm toleransla kalınlıklar (d)	$\leq 6,7$	6,8 - 10,0	10,1 - 12,5	$\geq 12,6$
± 25 mm toleransla uzunluklar (l)	160	225	275	325

Deney parçalarının kalınlıklarındaki değişkenlik %5'i geçmeyecek ve 0,5 mm'den fazla olmamalıdır. Fazlalıklar alınabilir [16].

Deney parçalarının depolanması :

a) İlk panelden elde edilen deney parçaları:

Sekiz deney parçası 6 gün müddetle yaşlandırıldıktan sonra, deneye tâbi tutulacakları zaman 7 günlük olmaları için $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'da su ile dolu tank içerisinde 24 saat bekletilirler [16].

b) İkinci panelden deney parçaları:

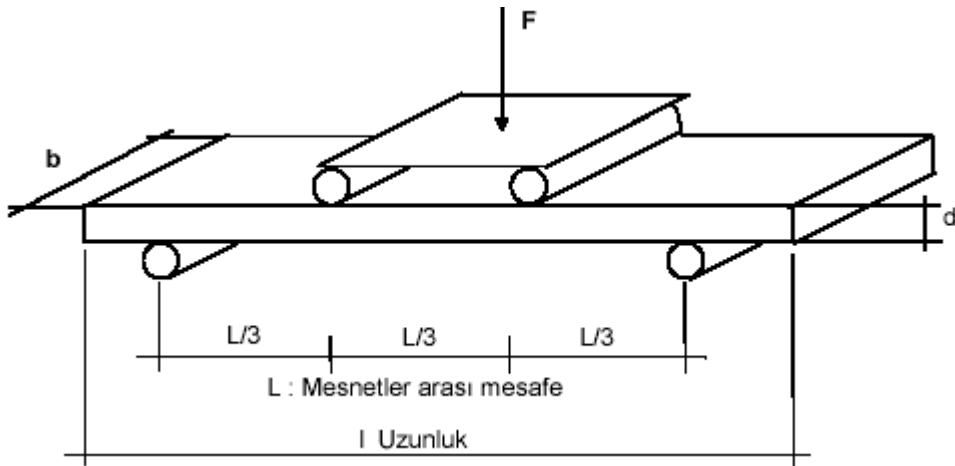
Deney parçaları 6 gün müddetle yaşlandırıldıktan sonra, 21 gün boyunca $(20\pm3)^{\circ}\text{C}$ 'luk bir lâboratuvarda bağıl nemin $(60\pm5)\%$ olduğu bir ortamda 27 günlük olana dek küre tabi tutulurlar. Daha sonra $(20\pm3)^{\circ}\text{C}$ 'luk su ile dolu tank içerisinde 24 saat daha tutulduktan sonra 28 günlük olarak deneye alınırlar [16].

Her iki durumda da deney parçaları su dolu tanktan çıkarıldıktan $\frac{1}{2}$ saat içerisinde deneye tabi tutulmalıdırlar [16].

Sudan çıkardıktan sonra ve deneyin hemen öncesinde, deney parçaları hafif rutubetli ıslak bir bezle yüzey suyu uzaklaşınca kadar silinirler.

Her deney parçasının uzunluğu en yakın milimetreye yuvarlatılarak ölçülür.

Deney parçaları Şekil 3.7'de gösterildiği gibi Çizelge 3.6'da belirlenmiş L mesnet açıklığına uygun olacak şekilde alt mesnetler üzerine yerleştirilirler [16].



Şekil 3.7 : Deney parçalarının deney makinesine yerleştirilmesi [16].

Çizelge 3.6 : Deney parçalarının uzunluklarına bağlı olarak mesnet açıklıkları (boyutlar mm'dir) [16].

Uzunluk, l	160	225	275	325
Mesnet açıklığı, L	135	200	250	300

Deney parçaları T1, T3, B1 ve B3 alttaki mesnetler üzerine kalıp yüzeyi aşağı gelecek şekilde yerleştirilir. Deney parçaları T2, T4, B2 ve B4 kalıp yüzeyine üst mesnetler temas edecek şekilde yerleştirilirler [16].

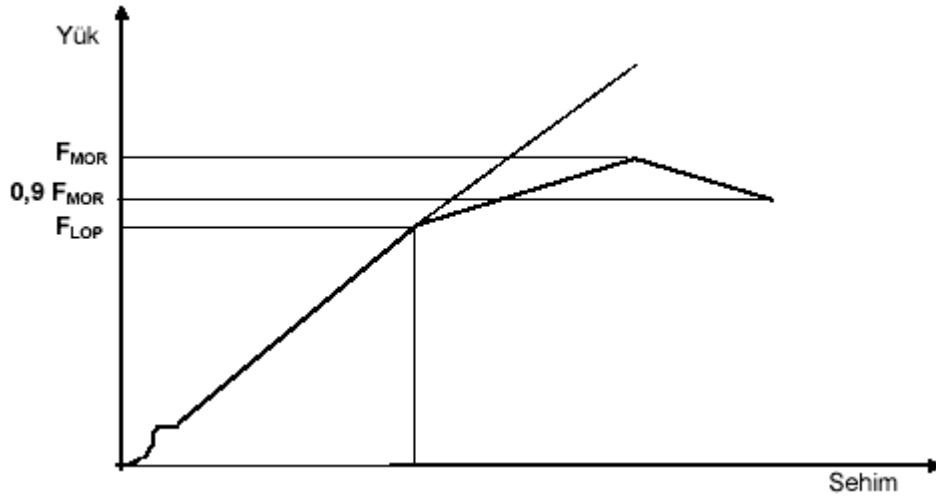
Deneye başlamak için yükün uygulanma hızı ayarlanır:

- otomatik yük kontrollü olarak $(10 \pm 0,3)$ N/sn,
- otomatik deformasyon kontrollü olarak $(0,03 \pm 0,003)$ mm/sn.

Orantısal limitteki yük F_{LOP} ve sehim Δ_{LOP} değerleri yük/sehim eğrisi göz önünde bulundurularak değerlendirilir [16].

İki karakteristiğin lineerliğinin yük/sehim eğrisi üzerinde değişmeye başladığı noktaya tekabül ederler.

Orantısallığı mümkün olan en iyi şekilde değerlendirebilmek için yük/sehim grafiği üzerindeki skala seçiminin yaklaşık 45° 'lik açı yapması istenen bir durumdur [16].



Şekil 3.8 : Yük/sehim eğrisinin örneği [16].

Kırılma anındaki yük F_{MOR} ve sehim Δ_{LOP} kaydedilen en yüksek yük değerine tekabül ederler [16].

Sehimin en yüksek değerinin belirlenmesi zor olabilir. Ancak, eğrinin eğiminin azalmaya başladığı bölgenin incelenmesi önemlidir; çünkü bu bölge malzemenin sünekliği ile ilgili ek bilgi sağlar [16].

Sehim ve yük deney parçasının geometrisine bağlıdır. Farklı deney parçalarının mekanik davranışlarını karşılaştırmak maksadıyla sonuçların sehim ve gerilme cinsinden ifade edilmesi gereklidir (alt yüzünde lif içeriği fazla olanlar) [16].

Orantısal limitteki ve kırılma anındaki deformasyon (ϵ_{LOP} ve ϵ_{MOR}) ve gerilme (σ_{LOP} ve σ_{MOR}) değerleri aşağıdaki eşitliklerle verilmiştir:

$$\epsilon_{LOP} = \frac{108}{23} \times \frac{\Delta_{LOP} \times d}{L^2} \quad (3.11)$$

$$\epsilon_{MOR} = \frac{108}{23} \times \frac{\Delta_{MOR} \times d}{L^2} \quad (3.12)$$

$$\sigma_{LOP} = \frac{F_{LOP} \times L}{b \times d^2} \quad (3.13)$$

$$\sigma_{MOR} = \frac{F_{MOR} \times L}{b \times d^2} \quad (3.14)$$

ϵ_{LOP} ve ϵ_{MOR} değerlerini hesaplamak için gösterilen yukarıdaki iki eşitlik, deney aletinin simetri ekseninin ortasına sehim ölçmekte kullanılan sehim ölçer yerleştirilmesi halinde uygulanabilir. Sensör alt mesnete dik doğrultuda yerleştirilirse her iki eşitlikte bulunan sabit değer 108/23 oranı 27/5 oranı ile yer değiştirir [16].

Bu yukarıda verilen eşitlikler sadece lineer isotropik elâstik malzemelere teorik olarak uygulanabilir. Ancak, bu eşitlikleri kullanarak hesaplanan değerler CTÇ malzemeleri için yeterli yaklaşıktadır [16].

Dönüşüm formülleri :

$$\sigma_{MOR} (\text{deformasyon kontrollü}) = 0,7 \sigma_{MOR} (\text{yük kontrollü}) + 2,26 \quad (3.15)$$

$$\sigma_{MOR} (\text{yük kontrollü}) = 1,34 \sigma_{MOR} (\text{deformasyon kontrollü}) + 2,22 \quad (3.16)$$

Su içeriği W, kütlece yüzde olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik ile belirlenir:

$$W = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \quad (3.17)$$

3.11 Rutubet Nedeniyle En Büyük Boyutsal Değişimlerin Ölçülmesi

Su içeriğinde değişimlere maruz kalabilecek belirli bileşimdeki cam elyaf takviyeli çimento (CTÇ) malzemenin en büyük boyutsal değişimlerini (kalıcı hidrolik rötre ve geri dönüşümlü genleşme) tanımlayan bir deneydir. TS EN 1170-7/Mart 1999 “Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (CTÇ) Deney Metodu- Bölüm 7: Rutubet Nedeniyle En Büyük Boyutsal Değişimlerin Ölçülmesi” standardına göre yapılır [17].

Kullanılan semboller aşağıda verilmiştir :

I_0 : Deney başlangıcında ölçülen iki ölçüm ucu arasındaki mesafe, μm ,

I_1 : 96 saat suda bekletildikten sonra ölçüm uçları arasındaki mesafe, μm ,

I_2 : 21 gün kurutma etüvü ve 6 saat kararlılık döneminden sonra bulunan ölçüm uçları mesafesi, μm ,

m_0 : Deney başlangıcında deney parçasının kütlesi, gr,

m_1 : 96 saat suda bekletildikten sonraki deney numunesinin kütlesi, gr,

m_2 : 21 gün kurutma etüvü ve 6 saat kararlılık döneminden sonraki deney parçasının kütlesi, gr,

$\Delta_{lc/l}$: En büyük boyutsal değişim değeri, mm/m

$\Delta_{le/l}$: Genleşme değeri, mm/m. Bu değer deneye tâbi tutulan üç deney numunesinin genleşme değerlerinin aritmetik ortalaması,

$\Delta_{ls/l}$: Kalıcı rötre değeri, mm/m . Bu değer deneye tâbi tutulan üç deney numunesinin rötre değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

Deney cihazları aşağıdakilerden ibarettir [17]:

- 0 kg ile 2 kg arasında 0,1 gr doğruluklu tartım yapabilen bir terazi,
- $(33\pm 3)^\circ\text{C}$ 'da tutulabilen hava dolaşımı bir kurutma etüvü,
- Yaklaşık (500x800) mm boyutlarında yüzeyi pürüzsüz ve kolay temizlenebilen düz bir plâka; önkarişimli imalâtta imal edilecek mamulun kalınlığına eşit kalınlıkta bir şablon temin edilir.
- 0,5 mm doğrulukta bir cetvel,

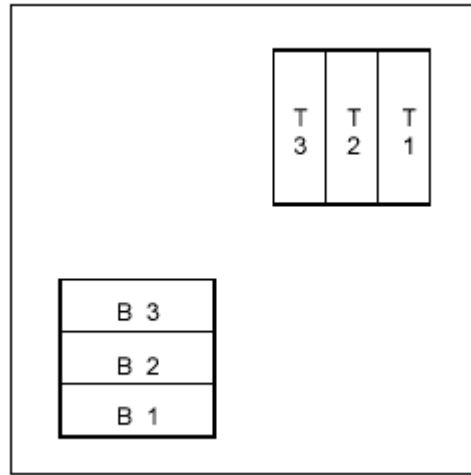
- Yaklaşık (500x200x100) mm boyutlarında (20±2)°C’da su ile dolu bir düz tabanlı tank,
- 0,002 mm doğruluklu ve minimum 200 mm gösterge uzunluğuna sahip bir extensometre,
- Paslanmaz çelikten imal edilmiş ölçme uçları, minimum alanı 25 mm² olacak.
- Gösterge ölçme uçlarını sabitleme için uygun bir epoksi reçinesi.

Düz plâka üzerinde gerçek imalâtı temsil edecek şekilde aynı şartlar altında yüzeyi tamamıyla CTÇ ile kaplanmış örnek bir panel oluşturulur; püskürtme veya önkarişimlı. 24 saat sonra kalıptan çıkarılır ve 6 günlük olana dek gerçek imalâtı temsil edecek şekilde aynı şartlar altında saklanır [17].

Kenarlardan (50 +) mm olacak şekilde 6 deney parçası testere ile kesilir.

Deney parçaları kalıptan çıkarıldıkları gün de kesilebilirler.

Şekil 3.9’da gösterildiği gibi deney parçaları işaretlenir [17].



Şekil 3.9 : Deney parçalarının yerleri ve isimleri [17].

Deney parçalarının boyutları;

- Genişlik: (50±2) mm
- Uzunluk: (400±2) mm

Deney parçaları $(20\pm3)^{\circ}\text{C}$ 'luk sıcaklık ve $\%(60\pm5)$ bağıl nem şartlarında lâboratuvarda imalâtçı ve müşteri arasındaki anlaşmayla tanımlanmış deney süresine ulaşınca kadar saklanır. Herhangi bir bilgi yoksa kabul edilen deney yaşı klâsik olarak üretimden 10 gün sonradır [17].

Deney parçaları imalât yerinden deney lâboratuvarına taşınması esnasında sızdırmaz paketler içerisine tek tek yerleştirilmelidir. Taşınmada geçen süre numunelerin yaşlarının hesaplanmasında kullanılmayacaktır [17].

- Her deney parçasının iki karşılıklı yüzüne ölçüm aleti (extansometre) için uygun bir epoksi reçine kullanılarak iki ölçüm ucu bağlanır,
- Her yüz işaretlenir; üst yüz için “U” ve alt yüz için “D”,
- Her deney parçası tartılır; m_o (gr)
- Her deney parçası yüzünde ölçüm uçları arası mesafe ölçülür; (μm)

$I_{0,U}$ “U” yüzü için,

$I_{0,D}$ “D” yüzü için,

Kalıcı kurutma rötresinin ölçülmesi için yapılacak işlemler aşağıda açıklanmaktadır.

Üç deney parçası T1, T3 ve B1, $(33\pm3)^{\circ}\text{C}$ 'da tutulabilen hava dolaşımli bir kurutma etüvü içerisine yerleştirilir. Deney parçaları, sıcak havanın her iki ölçme yüzeyi üzerinde doğru olarak dolaşabilmesi amacıyla bir kenarları üzerine oturtulur.

21 gün sonra, deney parçaları etüvden alınır ve $(20\pm3)^{\circ}\text{C}$ 'da bulunan lâboratuvara konulur ve 6 saatlik bir dengelenme süresi sonrasında;

- Her deney parçası tartılır, m_2 (gr)
- Her yüzdeki ölçüm uçları arası mesafe ölçülür; (μm)

$I_{2,U}$ “U” yüzü için,

$I_{2,D}$ “D” yüzü için,

Suya daldırma ile geri dönüşümlü genişlemenin ölçülmesi için yapılacak işlemler aşağıda açıklanmaktadır.

- Üç deney numunesi, T2, B2 ve B3 $(20\pm2)^{\circ}\text{C}$ 'da su ile dolu bir tank içerisine yerleştirilir. Deney parçaları, su içerisine tamamen daldırılacak şekilde bir kenarları üzerinde oturtulur,

- Deney parçaları (20±2)°C’da su içerisinde 96 saat bekletildikten sonra çıkarılıp nemli bir bezle silinirler,
- Her deney parçası tartılır m₁ (gr),
- Her yüzdeki ölçüm uçları arasındaki mesafe ölçülür (μm),

I_{1,U} “U” yüzü için,

I_{1,D} “D” yüzü için,

Sonuçların ifade edilmesinde kullanılacak formüller aşağıdaki gibidir.

Her deney parçasının kalıcı rötre değeri $\Delta l_s / l$ (mm/m) her yüz için elde edilen değerlerin aritmetik ortalamasıdır. U ve D yüzleri için aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\frac{\Delta l_s}{l} = \frac{l_0 - l_2}{l_0} \times 10^3 \quad (3.18)$$

CTÇ bileşenli rötre değeri, üç deney parçasının rötre değerlerinin aritmetik ortalaması ile ifade edilir.

Her deney parçasının genleşme değeri $\Delta l_e / l$ (mm/m) her iki yüz (U ve D yüzü) değerinin aritmetik ortalamasına eşittir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır :

$$\frac{\Delta l_e}{l} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 10^3 \quad (3.19)$$

CTÇ bileşenli rötre değeri, üç deney parçasının rötre değerlerinin aritmetik ortalaması ile ifade edilir.

En büyük boyutsal değişimin değeri bir CTÇ bileşenli malzemenin içerdiği su miktarının bir fonksiyonudur ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır :

$$\frac{\Delta l_e}{l} = \frac{\Delta l_s}{l} + \frac{\Delta l_e}{l} \quad (3.20)$$

Sonuçlar $\Delta l_s / l$ ve $\Delta l_e / l$, gözlenen ortalama kütle değişimlerinin ifadesi ile ilişkilendirilebilir (%)

$$\frac{m_0 - m_2}{m_0} \times 100 \quad \text{rötre için} \quad (3.21)$$

$$\frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{uzama için} \quad (3.22)$$

$\Delta l_s / l$ kalıcı hidrolik rötrein ifadesidir. Sonuç 3 değişkenin bir fonksiyonudur; CTÇ bileşeni, rutubet şartları ve mamulun deneye tâbi tutulduğu andaki yaşı.

$\Delta l_e / l$ geri dönüşümlü rötrein ifadesidir. Sonuç 2 değişkenin bir fonksiyonudur; CTÇ bileşeni ve mamulun deneye tâbi tutulduğu andaki yaşı.

$\Delta l_s / l$ ve $\Delta l_e / l$ sonuçlarının ayrı ayrı değerlendirilemeyeceği ve $\Delta l_c / l$ 'nin maksimum klâsik değerin bir ifadesi olduğu açıkça görülmektedir.

3.12 Tekrarlı Hava Şartlarında Yıpranma Tip Deneyi

Cam elyaf takviyeli çimentonun dayanıklılığını değerlendirmek üzere birkaç deney metodu mevcuttur [18].

Bunlar;

- 84 gün süreyle 50°C sıcaklıktaki sıcak suya veya 50 gün süreyle 50°C sıcaklıkta suya veya 14 gün süreyle 80°C sıcaklıktaki suya daldırma deneyi
- Tekrarlı ıslanma kuruma deneyidir.

TS EN 1170-8'de yukarıdaki deneylerden ikincisi yer almıştır. Bu deney cam elyafının alkaliye karşı direncini değerlendirme imkânı vermekte, ayrıca cam elyaf takviyeli çimentonun kullanımda, tabîî şartlarda maruz kalacağı, rutubet, kuruma, sıcaklık gibi temel yıpratma parametrelerini ihtiva etmektedir [18].

Bununla birlikte, malzemenin kullanım ömrünü önceden hesaplayabilmek amacına yönelik temsili yıpratma deney şartları için birkaç yıl boyunca gerçek tabîî şartlara ait verilerin toplanması gerektiği de göz önünde tutulmalıdır.

Kullanılan sembol ve kısaltmalar şunlardır [18]:

$$L = \frac{\text{"Yıpranma Sonrası" performans}}{\text{"Kontrol" performans}} \quad \text{Tahmini oranı}$$

L_C = Yıpranma sonrası analiz parametreleri ortalamasının tek yanlı % 95 güvenlik aralığı alt sınırı.

L_R = Referans numune analiz parametreleri ortalamasının tek yanlı % 95 güvenlik aralığı alt sınırı.

M_C = 50 devirlik yıpratma sonrası değerlendirmede numunelerden elde edilen σ_{LOP} , ϵ_{LOP} , σ_{MOR} ve ϵ_{MOR} tek değerlerin ortalaması

M_R = Referans numuneden elde edilen ϵ_{LOP} , σ_{MOR} ve ϵ_{MOR} tek değerlerin ortalaması.

S_C = 50 devirlik yıpratma sonrası değerlendirmede, numunelerden elde edilen ϵ_{LOP} , σ_{MOR} ve ϵ_{MOR} tek değerlerinin standart sapması.

S_R = Referans numuneden elde edilen ϵ_{LOP} , σ_{MOR} ve ϵ_{MOR} tek değerlerin standart sapması.

ϵ_{LOP} = Orantı sınırındaki deformasyon

ϵ_{MOR} = Kopma sınırındaki deformasyon

σ_{LOP} = Orantı sınırındaki gerilme, MPa cinsinden

σ_{MOR} = Kopma sınırındaki gerilme, MPa cinsinden

GRC: Cam elyaf takviyeli imento

Cihaz aşağıdaki kısımları ihtiva eder.

a) Otomatik veya el kontrollü iklim cihazı, cihaz kabininde sağlanması gerekli şartlar;

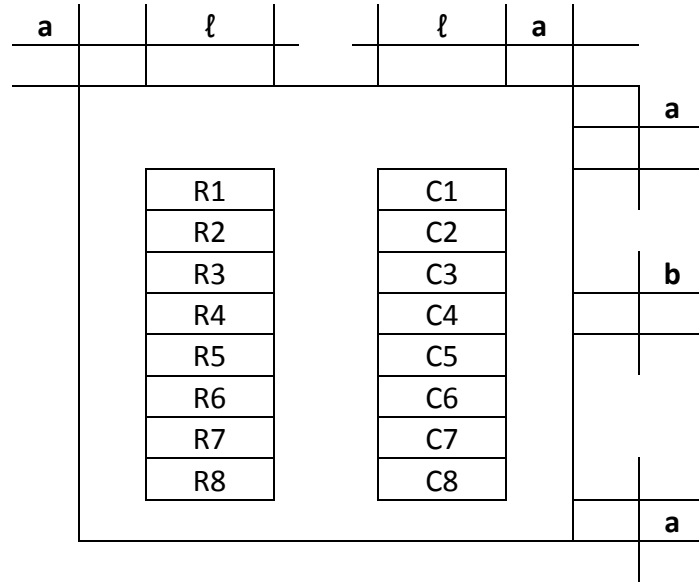
- Kabin, ortam sıcaklığı $(70\pm5)^\circ\text{C}$ ile $(20\pm2)^\circ\text{C}$ arasında, sürekli tutulabilmeli,
- En az 8 adet deney numunesinin $(20\pm2)^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde tutulmasını sağlayacak tertibat mevcut olmalı,
- Havalandırma sistemi, sistem $(1\pm0,1)$ m/s hızda hava akımı sağlamaya veya kabin içerisindeki havayı saatte (30 ± 3) kez yenileyebilmeye yeterli kapasitede olmalıdır.

b) EN 1170-5’de tarif edilen tam eğilme deneyini yapmak için gerekli ekipman

Deneylerde kullanılacak bütün cihazlar $(20\pm3)^\circ\text{C}$ sıcaklık ve % (60 ± 5) nispî neme sahip laboratuvar ortamına yerleştirilmiş olmalıdır.

şekil 3.10’da gösterildiği gibi deneylerde toplam (2×8) adet deney parçası kullanılır.

- 8 adet deney parçası, “R” rumuzu ile gösterilen referans numune
- 8 adet deney parçası; “C” rumuzu ile gösterilen tekrarlı yıpratma etkilerine maruz bırakılmış numunedir.



Şekil 3.10 : Deney parçalarının rumuz ile durumları [18].

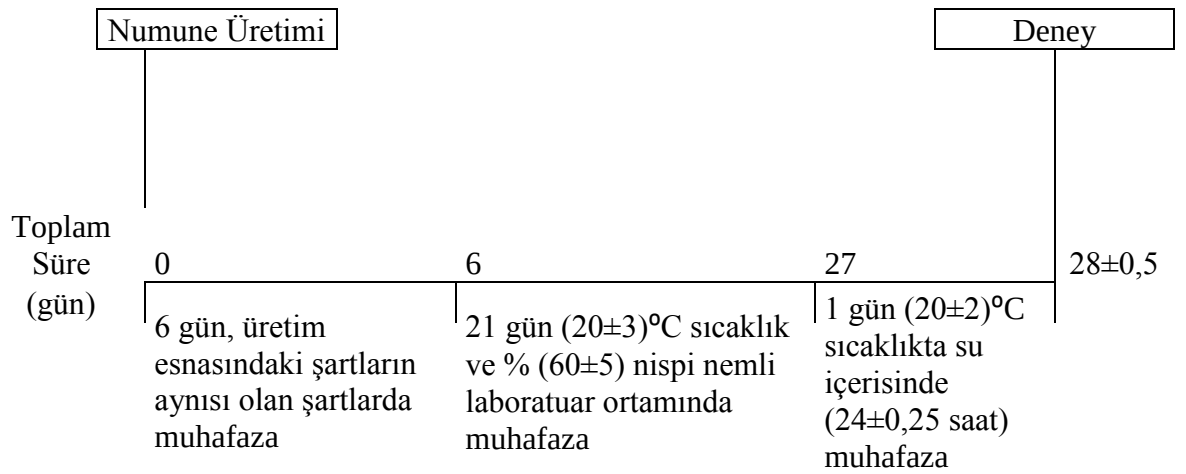
$a \geq 50 \text{ mm}$

$b = 50 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$

ℓ = EN 1170-5'e uygun olarak belirlenir.

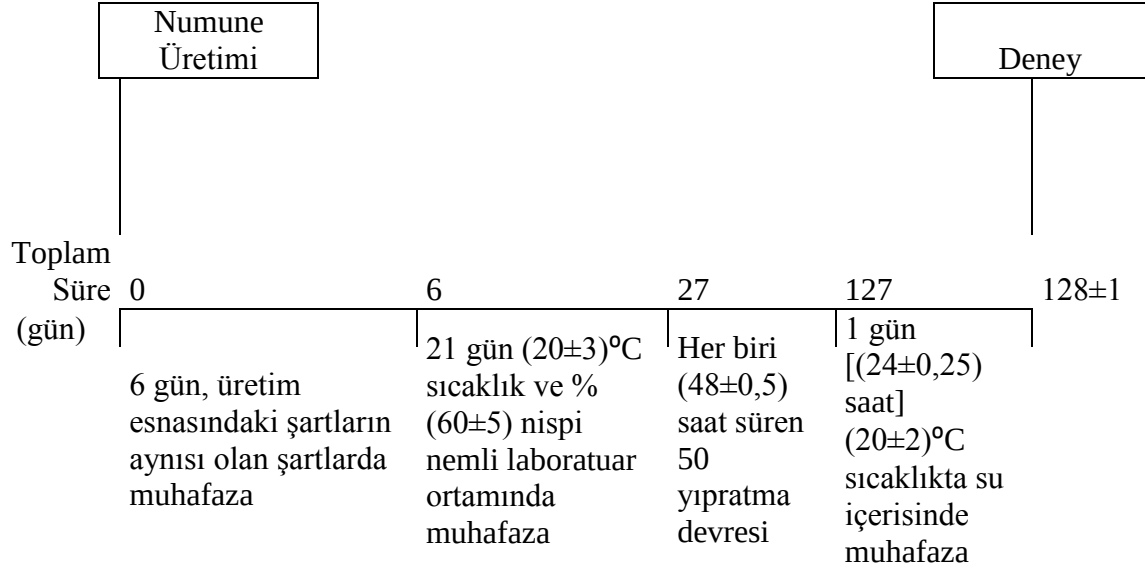
Bu deney EN 1170-5'de tarif edilen tam eğilme deneyidir. Tek numaralı deney parçaları (C1, R1, C3, R3, ...) kalıptan çıkan numune yüzeyi alt silindir mesnetler üzerine gelecek şekilde, çift numaralı deney parçaları (C2, R2, C4, R4...) kalıptan çıkan numune yüzeyi, üst silindir yükleme başlığına gelecek şekilde eğilme deneyine tabi tutulurlar.

“R” rumuzlu numuneler, (28 ± 0.5) gün muhafaza edildikten sonra EN 1170-5'e uygun şekilde eğilme deneyine tâbi tutulurlar [18].



Şekil 3.11 : “R” rumuzlu numunelerin muhafaza şartlarını gösterir şema [18].

“C” rumuzlu numuneler ilk 27 gün EN 1170-5’e uygun şekilde muhafaza edildikten sonra her devresi (48±0,5) saat süren 50 yıpratma etki devresine maruz bırakılma, en son olarak da (20±2)°C sıcaklıkta su içerisinde (24±0,25) saat tutulma şeklinde toplam (128±1) gün (Şekil 3.12) sonrası eğilme deneyine tâbi tutulurlar [18].



Şekil 3.12 : “C” rumuzlu numunelerin muhafaza şartlarını gösterir şema [18].

Her yıpratma devresi, birbirini takip eden aşağıda verilmiş safhalardan oluşur:

- Birinci safha: (20±2)°C sıcaklıkta su içerisinde (24±0,25) saat muhafaza,
- İkinci safha: (70±5)°C sıcaklık ve (1±0,1) m/s hıza sahip hava akımı etkisinde (30±5) dakika süreyle kurutma. İşlem, ortamdaki havanın saat başına (30±3) kez sirküle edilmesiyle de yapılabilir,
- Üçüncü safha; (70±5)°C sıcaklığa sahip sıcak havada (23±0,25) saat muhafaza,
- Dördüncü safha; (20±2)°C sıcaklık ve (1±0,1)m/s hıza sahip hava akımı etkisiyle (30±5) dakika süreyle soğutma. İşlem, ortamdaki sıcak havanın saat başına (30±3) kez sirküle edilmesiyle de yapılabilir.

	Devre Başlangıcı		Devre Sonu	
Toplam Süre (saat)	0		48±0,5	
	1. Safha (20±2)°C sıcaklıkta su içerisinde (24±0,25) saat muhafaza	2. Safha (70±5)°C sıcaklık ve (1±0,1) m/s hıza sahip hava akımı etkisinde (30±5) dakika süreyle kurutma. İşlem, ortamdaki havanın saat başına 30±3 kez sirküle edilmesiyle de yapılabilir.	3. Safha (70±5)°C sıcaklıkta havada (23±0,25) saat muhafaza	4. Safha (20±2)°C sıcaklık ve (1±0,1) m/s hıza sahip hava akımı etkisiyle (30±5) dakika süreyle soğutma. İşlem, ortamdaki havanın saat başına (30±3) kez sirküle edilmesiyle de yapılabilir.

Şekil 3.13 : “C” rumuzlu numunelerin yıpratma etki devreleri detayı [18].

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde dört önemli parametre σ_{LOP} , ϵ_{LOP} , σ_{MOR} ve ϵ_{MOR} istatistikî olarak aşağıda verilen şekilde analiz edilir:

Dört önemli parametre için “R” ve “C” rumuzlu numune grubuna ait ortalama değer; M_R , M_C ve standart sapma; S_R , S_C değerleri numunelere ait tek sonuçlar kullanılarak hesaplanır. Bu parametreler kullanılarak;

$$L_C = M_C - (0,66 \times S_C);$$

$$L_R = M_R - (0,67 \times S_R);$$

$$L = \frac{L_C}{L_R} \quad (3.23)$$

hesaplanır.

NOT 1- 0,67 katsayısı,

$$\frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} \quad (3.24)$$

oranı ile alâkalıdır. Bu formülde $t_{0,95}$; % 95 güvenlik sınırı için “Student” değişkeni, n ; numune sayısıdır. Örneğin bu deney için kullanılacak değerler

$$\frac{1.895}{\sqrt{8}} \quad (3.25)$$

dir. Değerler ISO 2602’de verilmiştir.

NOT 2 - Malzeme mekanik özelliklerdeki değişimle ilgili daha geniş kapsamlı bilgi edinebilmek için, 10 ve 25 devrelik yıpratma deneyleri sonunda da ilave deneyler yapılması faydalı olabilir. Bu şekilde oran

$$L = \frac{\text{"Yıpratma Sonrası" performans}}{\text{"Kontrol" performansı}}$$

gelişim grafiği çizilmesi mümkün olur.

Ancak, bu ilâve değerlendirme Şekil ...’de tarif edilen iki numune tablosunda da paralel şekilde yürütülmelidir.

- Tablo 1: 50 yıpratma devresi için “R” ve “C₅₀” numuneleri
- Tablo 2: Sırasıyla 10 ve 25 yıpratma devresi için “C₁₀” ve “C₂₅” numuneleri

Bütün numunelerin aynı üretim hattından alınmış olması ve her numune grubundaki deney parçası adedinin sabit ve 8 olması gereklidir. Deney parçası adediyle ilgili şartın sağlanamaması, (örneğin tutarsız sonuçların elimine edilmesi gibi nedenlerle) durumunda L_R ve L_C sınırlarının hesabı ISO 2602’ye uygun olarak yapılmalıdır [18].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma kapsamında öncelikle, yeni üretilmiş ve doğal yaşlanma etkilerine maruz kalmış cam elyaf takviyeli beton numunelerinin fiziksel özellikleriyle ilgili deneyler yapılmıştır. İkinci aşamada yapılan deneylerle, malzemenin durabilite özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise, durabilite deneylerinde kullanılan numunelerin, doğal yaşlanma etkilerine maruz kalmış numunelerin ve normal ortam şartlarında bekletilen kontrol numunelerinin mekanik özelliklerini karşılaştırmaya yönelik deneyler yapılmıştır.

4.1 Deneysel Çalışmanın Programlanması

CTÇ (GRC) ile ilgili yapılan literatür araştırması ve belirlenen çalışma amacına yönelik olarak yapılacak deneyler tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılacak numunelerin boyut ve miktarları belirlenerek, malzeme üretimi yapacak olan üretici firmadan talep edilmiştir. Deneyler, hesaplanan tarihler arasında ve yapılan program doğrultusunda yürütülmüştür.

Deneysel çalışma programı aşağıda belirtildiği şekildedir.

- Laboratuvar ortamında mevcut malzeme ve ekipmanın kontrol edilmesi;
- Deneylerde kullanılacak örneklerin üretici firmadan talep ve temin edilmesi;
- Çalışma amacı kapsamında belirlenen deneylerin yapılması;
- Deney sonuçlarının değerlendirilmesi.

4.2 Deneyisel Çalışmada Kullanılan Örnekler

Çalışmada kullanılan örnekler, CTÇ (GRC) cephe panelleri üretimi yapan Fibrobeton firmasından temin edilmiştir. Numunelerin bir kısmı, firmanın İstanbul-Sultanbeyli’de bulunan tesislerinde üretilmiştir. Ayrıca, aynı firmanın 12 yıl önce üretmiş olduğu, İstanbul’da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalıp sökülmiş panellerden de örnekler alınmıştır.

4.3 Deneyisel Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Deneyisel çalışmada, İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı’nda bulunan araç-gereç ve cihazlar kullanılmıştır. İlgili standartlara göre belirlenen bu araç-gereç ve cihazlar şunlardır:

- Terazi,
- Kumpas,
- Cetvel,
- Desikatör,
- Nem ve sıcaklık ölçen cihaz,
- Etüv : $105\pm5^{\circ}\text{C}$ ’ye ayarlanabilen bir cihaz,
- Derin dondurucu,
- Eğilme deneyi makinesi : Mesnet çapları 6 mm’den az olmayan, mesnetler arası mesafesi ayarlanabilir ve 4 noktadan eğilme deneyi yapabilen bir cihaz,
- Ekstansometre,
- Çeşitli ebatlarda plastik kaplar.

4.4 Deneyler

Deneyler üç gruba ayrılmaktadır:

- Fiziksel deneyler,
- Durabilite deneyleri,
- Mekanik deneyler.

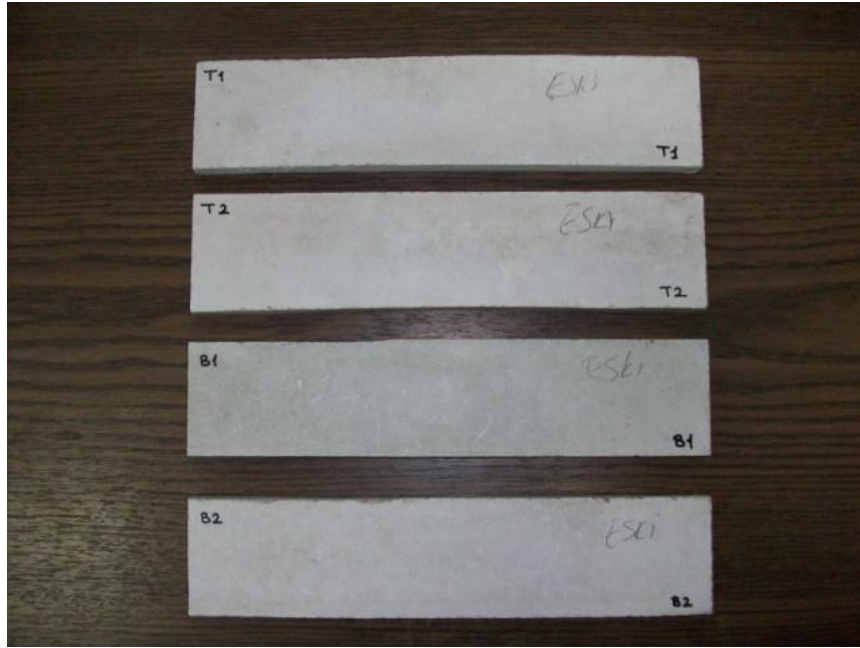
4.4.1 Fiziksel deneyler

CTÇ (GRC) numunelerinin fiziksel özelliklerini belirleme amacıyla yapılan deneylerdir. Yeni üretilen numunelere uygulanan deneyler, 12 yıl önce üretilip, İstanbul'da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalan numunelerle de tekrar edilmiştir.

4.4.1.1 Suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini deneyi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin su emmesini ve kuru yoğunluğunu tayin etme amacıyla yapılmış bir deneydir. TS EN 1170-6/Mart 1999 standardına göre yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan numuneler, 12 yıl önce üretilip, İstanbul'da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalıp, sökülmiş cephe panellerinden deney standardında belirtilen ölçülerde kesilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Deney numuneleri.

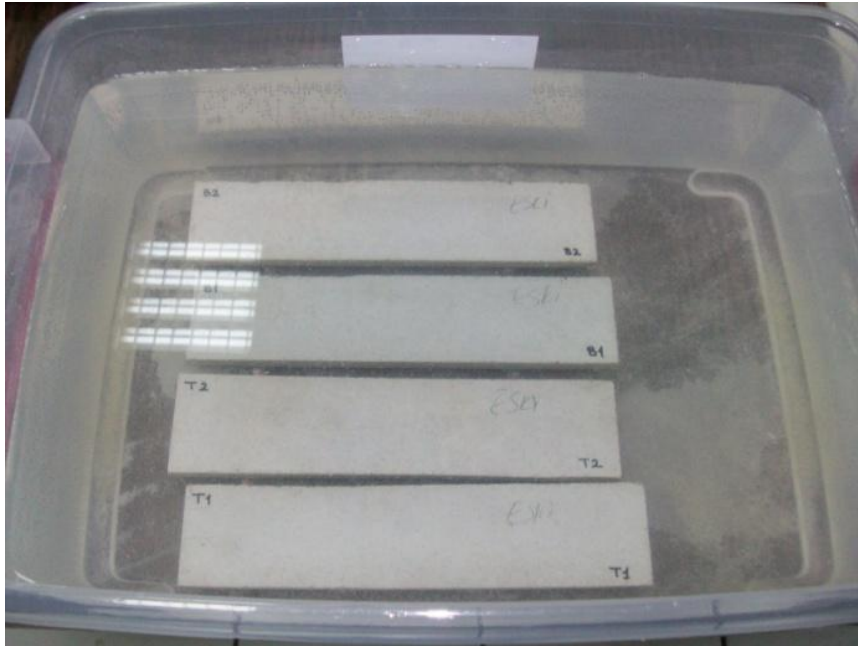
İlk olarak, T1, T2, B1 ve B2 olarak işaretlenen deney parçalarının boyutları bir kumpas yardımıyla ölçülerek not edilmiştir (Şekil 4.2). Elde edilen ölçülere göre her numunenin hacmi hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).



Şekil 4.2 : Deney numunelerinin boyutlarının kumpasla ölçülmesi.

İkinci aşamada, 0,1 gr hassasiyetle tartım yapabilen bir terazi kullanılarak numunelerin kuru kütleleri belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Ölçüm ve tartım işlemleri tamamlanan dört adet deney numunesi, 23°C’de su ile dolu plastik bir kap içerisine, kabın tabanıyla temas etmeyecek şekilde, cam çubuklar üzerine oturtularak yerleştirilmiştir. Tamamen suyla kaplanan deney numuneleri 24 saat boyunca su dolu kap içerisinde bekletilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Deney numunelerinin su dolu kap içerisinde bekletilmesi.

24 saat sonunda sudan alınan numunelerin nemli bir bezle yüzey suyunun silinmesinin ardından yapılan tartım işlemiyle ıslak kütleleri belirlenmiştir (Çizelge 6.7).

Suda bekletme ile su emme miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\gamma = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \quad (4.1)$$

γ : Suda bekletme sonucu su emme, kütlece %,

m_d : Kurutmadan sonra deney parçasının kütlesi, kuru kütle, (gr),

m_{wj} : j gün müddetince suda bekletilen deney parçasının kütlesi, ıslak kütle, (gr),

Kuru yoğunluk ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \times 10^3 \quad (4.26)$$

V : Deney parçasının hacmi, (cm³),

ρ_d : Kuru yoğunluk, kg/m³.

Deneyden elde edilen verilerle yapılan hesapların sonuçları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 4.1 : Suda bekletme ile su emme ve yoğunluk tayini deneyi sonuçları.

Suda Bekletme ile Su Emme ve Yoğunluk						
Deney Parçalarının İşaretlenmesi	Boyutlar (mm)	Hacim (cm³)	Islak Kütle (gr)	Kuru Kütle (gr)	Su Emme (24 saatte)	Kuru Yoğunluk, ρ_d (gr/cm³ veya kg/m³)
			m_w		$\frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100$	
T 1	228,02 x 51,38 x 10,55	123,60	271,26	251,41	7,89	2,03
T 2	227,47 x 53,12 x 11,15	134,73	283,29	259,18	9,30	1,92
B 1	227,47 x 50,48 x 11,62	133,43	290,99	267,40	8,82	2,00
B 2	228,19 x 51,79 x 10,27	121,37	262,88	241,41	8,89	1,99
				Ortalama	8,72	1,98

4.4.1.2 Boşluk yapısı ve geçirimsizlik deneyi

CTÇ (GRC) malzemenin boşluk yapısını ve geçirimsizliğini tespit etmek amacıyla su geçirimsizliği ve buhar geçirimsizliği deneyleri yapılmıştır.

Su geçirimsizliği deneyi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin su geçirimsizliğini tayin etme amacıyla yapılmış bir deneydir.

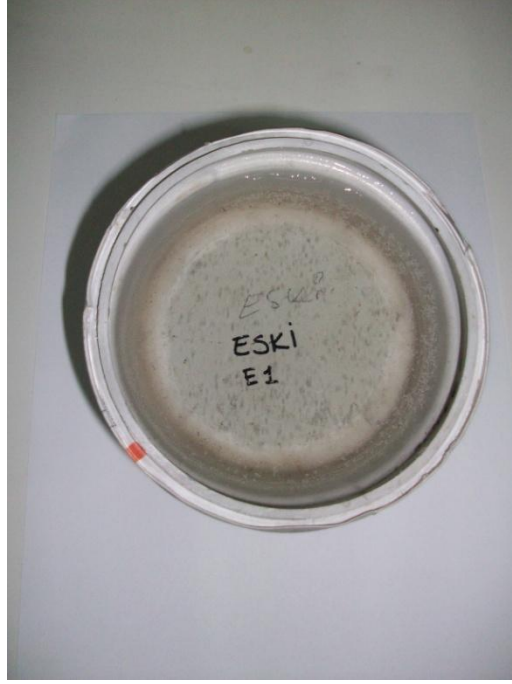
Çalışmada kullanılan numuneler iki farklı panelden kesilmiştir. E1 olarak işaretlenen ilk numune, 12 yıl önce üretilip, İstanbul'da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalıp, sökülen cephe panellerinden kesilmiş bir adet deney parçasıdır. Y1 olarak işaretlenen deney parçası ise, deneyin başlangıç tarihinden 51 gün önce Fibrobeton Sultanbeyli tesislerinde üretilen yeni bir cephe panelinden kesilmiştir.

İlk olarak, E1 ve Y1 numuneleri 80°C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 48 saat boyunca bekletilmiştir. Deney parçaları etüv kurusu haline geldikten sonra bir kumpas kullanılarak çapları ve kalınlıkları ölçülmüştür (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 : Deney parçalarının boyutları.

Numuneler	Numune Boyutları	
	Çap (mm)	Kalınlık (mm)
E 1	104,30	11,92
Y 1	103,65	11,77

E1 numunesi için deney düzeneği hazırlanmasında, numune çapına uygun boyutta plastik boru parçası kesilerek kullanılmıştır. Numune, parafin sürülerek plastik borunun ortasına sabitlenmiştir ve numunenin üst yüzeyi tamamen su ile kaplanacak şekilde deney ortamı hazırlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : E1 numunesi için hazırlanan deney düzeneği.

Laboratuvar ortamında, normal ortam koşullarında 24 saat boyunca bekletilen deney düzeneğine bakıldığında E1 numunesinin alt yüzeyine su geçişi olmadığı görülmüştür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : E1 numunesinin 24 saat sonundaki durumu.

Y1 numunesi için farklı bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Uygun boyutta kesilmiş bir plastik boruya sabitlendikten sonra 130 cm yüksekliğinde bir borunun içerisindeki suyun basıncı altında kalacağı bir deney ortamı hazırlanmıştır (şekil 4.6, şekil 4.7).



şekil 4.6 : Plastik boruya sabitlenen Y1 numunesi.



şekil 4.7 : Y1 numunesi için hazırlanan deney düzeneği.

30 gün boyunca, 24 saatte bir yapılan kontrollerin neticesinde Y1 numunesinin alt yüzeyine su geçişi olmadığı tespit edilmiştir.

Buhar geçirirmliliği deneyi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin buhar geçirirmliliğini tayin etme amacıyla yapılmış bir deneydir.

Çalışmada kullanılan numuneler iki farklı panelden kesilmiştir. E2 olarak işaretlenen ilk numune, 12 yıl önce üretilip, İstanbul’da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalıp, sökülen cephe panellerinden kesilmiş bir adet deney parçasıdır. Y2 olarak işaretlenen deney parçası ise, deneyin başlangıç tarihinden 46 gün önce Fibrobeton Sultanbeyli tesislerinde üretilen yeni bir cephe panelinden kesilmiştir.

İlk olarak, E2 ve Y2 numuneleri 80°C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 48 saat boyunca bekletilmiştir. Deney parçaları etüv kurusu haline geldikten sonra bir kumpas kullanılarak çapları ve kalınlıkları, terazi yardımıyla da ağırlıkları ölçülmüştür (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 : Deney parçalarının boyutları ve ağırlıkları.

Numuneler	Numune Boyutları		Ağırlık (gram)
	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	
E 2	71,73	12,77	93,19
Y 2	73,08	12,63	98,13

İkinci aşamada, her iki numune için de deney düzeneği hazırlanmasına geçilmiştir. Bunun için, içerisinde bir miktar kalsiyum klorür bulunan ve çapları numune boyutlarına uygun iki adet plastik kap hazırlanmıştır. Numuneler, kenarlarına parafin sürülerek plastik kapları kapatacak şekilde sabitlenmiştir. Hazırlanan düzeneklerin ilk tartım işlemi 0,00001 gr hassasiyetle yapılmış ve görülen değer not edilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 : E2 ve Y2 numunelerinin tartılması.

Daha sonra numuneler, içerisinde nem ve sıcaklık ölçer bulunan desikatörün içerisine alınmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Numunelerin desikatör içerisinde muhafaza edilmesi.

Numuneler, 48 gün süreyle içerisinde nem ve sıcaklık ölçer bulunan desikatörün içerisinde muhafaza edilmiştir. Her iki numune için de 24 saat arayla yapılan tartım işlemlerinde görülen değerler, deney ortamının sıcaklık ve nem değerleriyle birlikte not edilmiştir (Çizelge 4.4, 4.5).

Çizelge 4.4 : Y2 numunesinin kütle, nem ve sıcaklık değerleri.

Gün	Kütle (gr)	Nem (%)	Sıcaklık (°C)
1.Gün	152,72300	90	21,5
2.Gün	152,77111	90	22,1
3.Gün	153,68722	91	22,8
4.Gün	153,98672	91	23,1
7.Gün	154,71904	90	21,7
8.Gün	154,89842	91	22,3
9.Gün	155,08429	91	23,5
11.Gün	155,47331	90	23,5
14.Gün	156,03811	91	23,5
15.Gün	156,18820	91	23,5
16.Gün	156,33827	90	23,5
17.Gün	156,50059	90	22,9
18.Gün	156,65252	90	22,8
21.Gün	157,11911	91	21,0
22.Gün	157,25137	91	22,4
23.Gün	157,38943	91	24,3
24.Gün	157,52433	91	24,3
25.Gün	157,65718	91	24,3
28.Gün	158,15000	92	22,8
29.Gün	158,26100	92	22,8
30.Gün	158,39758	84	23,6
31.Gün	158,54276	91	23,5
32.Gün	158,71537	92	21,9
33.Gün	159,12012	91	21,3
34.Gün	159,26307	90	21,5
35.Gün	159,37868	91	20,7
37.Gün	159,60100	91	20,1
40.Gün	159,98300	92	18,9
41.Gün	160,08	92	18,9
42.Gün	160,18	91	19,0
43.Gün	160,28	91	19,5
47.Gün	160,83	91	19,1
48.Gün	160,91	91	19,1

Çizelge 4.5 : E2 numunesinin kütle, nem ve sıcaklık değerleri.

Gün	Kütle (gr)	Nem (%)	Sıcaklık (°C)
1.Gün	151,73168	90	21,5
2.Gün	151,80828	90	22,1
3.Gün	152,47358	91	22,8
4.Gün	152,70762	91	23,1
7.Gün	153,33800	90	21,7
8.Gün	153,49217	91	22,3
9.Gün	153,66434	91	23,5
11.Gün	153,98431	90	23,5
14.Gün	154,47103	91	23,5
15.Gün	154,60706	91	23,5
16.Gün	154,76266	90	23,5
17.Gün	154,89891	90	22,9
18.Gün	155,03815	90	22,8
21.Gün	155,47460	91	21,0
22.Gün	155,59894	91	22,4
23.Gün	155,33560	91	24,3
24.Gün	155,88500	91	24,3
25.Gün	156,43400	91	24,3
28.Gün	156,47064	92	22,8
29.Gün	156,59109	92	22,8
30.Gün	156,71152	84	23,6
31.Gün	156,87953	91	23,5
32.Gün	157,01538	92	21,9
33.Gün	157,40502	91	21,3
34.Gün	157,51700	90	21,5
35.Gün	157,67620	91	20,7
37.Gün	158,89057	91	20,1
40.Gün	158,23957	92	18,9
41.Gün	158,35800	92	18,9
42.Gün	158,45991	91	19,0
43.Gün	158,55626	91	19,5
47.Gün	159,06214	91	19,1
48.Gün	159,14839	91	19,1

4.4.2 Durabilite deneyleri

CTÇ (GRC) numunelerinin durabilite özelliklerini değerlendirme amacıyla yapılan deneylerdir. Yeni üretilen numunelere uygulanan deneyler, aynı zamanda 12 yıl önce üretilip, İstanbul’da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalan numunelerle de yapılmıştır.

4.4.2.1 Tekrarlı hava şartlarında yıpranma tip deneyi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin dayanıklılığını değerlendirmek üzere yapılmış tekrarlı ıslanma-kuruma deneyidir. TS ENV 1170-8/Mart 1998 standardına göre yapılmıştır.

Çalışmada, iki farklı cephe panelinden, deney standardında belirtilen ölçülerde kesilen 24 adet numune kullanılmıştır.

Kullanılan numunelerden 16 adedi, deney başlangıç tarihinden 32 gün önce Fibrobeton firması tarafından üretilen cephe panellerinden kesilmiştir. Bu numunelerin 8 adedi tekrarlı yıpratma etkilerine maruz bırakılırken, geriye kalan 8 adedi ise normal ortam koşullarında, kontrol numunesi olarak bekletilmiştir.

Bu numuneler dışındaki 8 adet numune ise, aynı firma tarafından 12 yıl önce üretilip, İstanbul’da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalıp, sökülen cephe panellerinden elde edilmiştir. Bu numunelerin 4 adedi tekrarlı yıpratma etkilerine maruz bırakılırken, geriye kalan 4 adedi ise normal ortam koşullarında, kontrol numunesi olarak bekletilmiştir.

İlk olarak, 8 adet yeni üretilmiş, “C” koduyla belirtilen tekrarlı yıpratma etkilerine maruz bırakılacak deney numunelerinin ve “K” koduyla belirtilen kontrol numunelerinin kumpas yardımıyla boyutları ve terazi kullanılarak ağırlıkları ölçülmüştür (Çizelge 4.6, Çizelge 4.7).

Çizelge 4.6 : “C” numunelerinin ölçüm sonucu elde edilen değerleri.

Numuneler	Numune Boyutları			Ağırlık (gram)
	Uzunluk (cm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	
C1	40,10	50,535	11,095	469,89
C2	40,30	52,370	10,800	468,48
C3	40,10	51,155	10,610	436,43
C4	40,30	52,255	10,650	462,74
C5	40,20	51,585	11,070	471,83
C6	40,35	51,595	10,845	488,95
C7	40,60	50,790	10,995	470,18
C8	40,45	50,935	11,185	499,70

Çizelge 4.7 : “K” numunelerinin ölçüm sonucu elde edilen değerleri.

Numuneler	Numune Boyutları			Ağırlık (gram)
	Uzunluk (cm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	
K1	40,25	52,260	12,392	533,41
K2	40,20	52,160	11,827	487,55
K3	40,00	51,060	10,677	451,76
K4	40,40	51,130	12,227	515,65
K5	40,40	51,760	11,960	509,98
K6	40,45	52,010	11,920	516,77
K7	40,30	51,355	12,192	513,72
K8	40,45	52,040	12,115	517,98

Ölçüm ve tartım değerleri belirlenen “C” numunelerinin, her biri $48 \pm 0,5$ saat süren 50 yıpratma devresine maruz bırakılma işlemine başlanmıştır. Her yıpratma devresi, numunelerin $24 \pm 0,25$ saat süreyle $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta su içerisinde bekletilmesi ve ardından $24 \pm 0,25$ saat süreyle $70 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıkta etüvde muhafaza edilmesinden oluşmaktadır (Şekil 4.10, 4.11).



Şekil 4.10 : $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta suda bekletilen “C” numuneleri.



Şekil 4.11 : $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta etüvde bekletilen “C” numuneleri.

“C” numuneleri kullanılarak tamamlanan 20 yıpratma devresinin ardından, numunelerin boyut ve ağırlıklarında herhangi bir değişiklik olup olmadığını kontrol etmek amacıyla ölçüm ve tartım işlemleri tekrar edilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 : “C” numunelerinin 20 yıpratma devresi sonrası ölçüm sonuçları.

Numuneler	Numune Boyutları			Ağırlık (gram)
	Uzunluk (cm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	
C1	40,05	50,280	11,090	469,25
C2	40,27	52,205	10,737	464,56
C3	40,10	50,970	10,500	431,67
C4	40,30	51,940	10,592	456,08
C5	40,20	51,580	10,820	466,71
C6	40,35	51,580	10,692	472,83
C7	40,60	50,780	10,945	452,95
C8	40,45	50,930	11,142	482,79

Ayrıca, 12 yıl önce üretilip, İstanbul’da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalıp, sökülen cephe panellerinden elde edilmiş ve “E” koduyla belirtilen 8 adet numunenin 4 adedi, 20 yıpratma devresi sonrasında deneye dahil edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 : 20 devre sonunda deneye dahil edilen “E” numuneleri.

“E” kodlu numunelerin geriye kalan 4 adedi ise normal ortam koşullarında, kontrol numunesi olarak bekletilmiştir. Bu sayede eski ve yeni üretim numunelerin deney sonunda karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Deneye dahil edilen “E” kodlu numunelerin ve “EK” kodlu kontrol numunelerinin boyut ve ağırlık ölçümleri sonucunda elde edilen değerleri not edilmiştir (Çizelge 4.9, Çizelge 4.10).

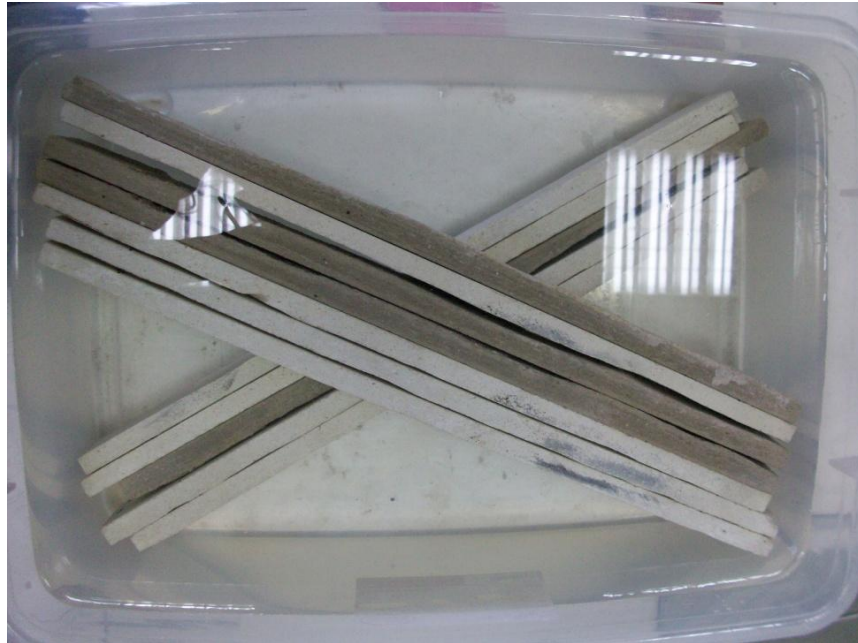
Çizelge 4.9 : “E” numunelerinin ölçüm sonucu elde edilen değerleri.

Numuneler	Numune Boyutları			Ağırlık (gram)
	Uzunluk (cm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	
E1	40,30	52,04	11,645	536,68
E2	40,30	49,005	11,585	494,92
E3	40,30	49,84	12,162	557,58
E4	40,30	51,995	11,872	530,99

Çizelge 4.10 : “EK” numunelerinin ölçüm sonucu elde edilen değerleri.

Numuneler	Numune Boyutları			Ağırlık (gram)
	Uzunluk (cm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	
EK-1	40,30	51,825	10,952	526,33
EK-2	40,30	49,465	12,685	543,23
EK-3	40,25	50,745	12,512	554,50
EK-4	40,15	49,850	12,082	540,71

“E” ve “C” numunelerinin birlikte yer aldığı 30 yıpratma devresiyle birlikte toplam 50 yıpratma devresi tamamlanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 : “C” ve “E” numunelerinin suda bekletilmesi.

50 yıpratma devresi sonunda, “C” ve “E” numunelerinin boyut ve ağırlıklarında herhangi bir değişiklik olup olmadığını kontrol etmek amacıyla ölçümler tekrar edilmiştir (Çizelge 4.11, Çizelge 4.12).

Çizelge 4.11 : “C” numunelerinin 50 yıpratma devresi sonunda ölçüm sonuçları.

Numuneler	Numune Boyutları			Ağırlık (gram)
	Uzunluk (cm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	
C1	40,00	50,145	11,090	457,16
C2	40,25	52,040	10,757	454,99
C3	40,00	51,000	10,495	422,14
C4	40,25	51,905	10,580	447,57
C5	40,15	51,505	10,800	458,51
C6	40,35	51,525	10,687	463,79
C7	40,60	50,690	10,932	443,75
C8	40,45	50,840	11,127	471,41

Çizelge 4.12 : “E” numunelerinin 30 yıpratma devresi sonunda ölçüm sonuçları.

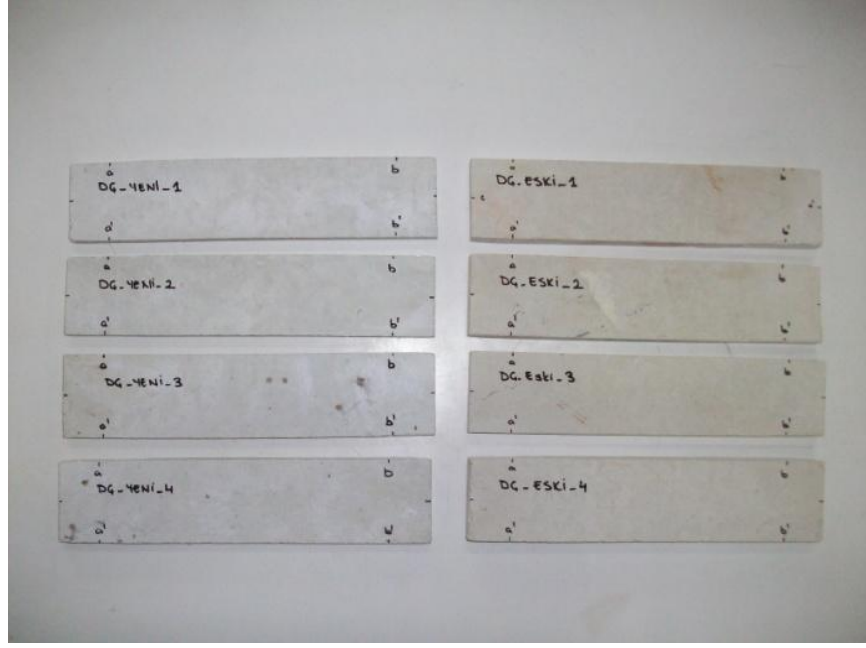
Numuneler	Numune Boyutları			Ağırlık (gram)
	Uzunluk (cm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	
E1	40,30	51,715	11,640	511,96
E2	40,30	48,355	11,477	471,75
E3	40,30	49,33	12,175	530,06
E4	40,30	51,100	11,882	506,52

“K” ve “EK” kodlu kontrol numuneleri normal ortam koşullarında bekletilmeye devam edilmiştir.

4.4.2.2 Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin donma-çözülme etkisine dayanıklılığını değerlendirmek üzere yapılmış bir durabilite deneyidir. TS 699/Ocak 1987, UDK 691.2, Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları standardına göre yapılmıştır.

Çalışmada, iki farklı cephe panelinden, deney standardında belirtilen ölçülerde kesilen 8 adet numune kullanılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi numuneleri.

Kullanılan numunelerden 4 adedi, deney başlangıç tarihinden 48 gün önce Fibrobeton firması tarafından üretilen cephe panellerinden kesilmiştir. Numuneler “DÇ-Yeni” koduyla belirtilmiştir.

Geriye kalan 4 adet numune ise, aynı firma tarafından 12 yıl önce üretilip, İstanbul’da bir otelin cephesinde doğal iklim şartlarına maruz kalıp, sökülen cephe panellerinden elde edilmiştir. Bu numuneler ise “DÇ-Eski” koduyla belirtilmiştir.

İlk olarak, 24 saat süreyle etüvde bekletilen deney numuneleri, etüv kurusu haline geldikten sonra bir desikatöre konularak oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 : Numunelerin desikatörde soğutulması.

Oda sıcaklığındaki deney parçalarının, 0,01 gr hassasiyetli teraziyle ağırlıkları ve 0,01 mm hassasiyetli kumpas yardımıyla boyutları ölçülmüştür (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 : “DÇ-Yeni” ve “DÇ-Eski” numunelerinin tartım işlemi.

Elde edilen ölçüm ve tartım sonuçları çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 : “DÇ-Eski” ve “DÇ-Yeni” numunelerinin boyut ve ağırlık değerleri.

Numuneler	Numune Boyutları			Ağırlık (gram)
	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	
DÇ-Eski-1	223,42	50,22	12,33	288,25
DÇ-Eski-2	222,19	49,84	12,40	294,96
DÇ-Eski-3	223,32	48,97	11,91	285,25
DÇ-Eski-4	221,96	51,00	12,66	312,98
DÇ-Yeni-1	226,76	50,06	10,19	250,72
DÇ-Yeni-2	226,35	49,395	10,305	246,46
DÇ-Yeni-3	227,55	51,055	9,655	245,54
DÇ-Yeni-4	226,76	50,770	9,847	246,54

İkinci aşamada, deney numuneleri 48 saat süreyle su dolu bir kaptaki bekletilerek suya doymun bir hale gelmeleri sağlanmıştır. Suya doymun hale gelen numuneler, su dolu kaptan çıkarıldıktan sonra yüzey suyu silinmiş ve tartım işlemi tekrar edilmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14 : Numunelerin suya doymun haldeki ağırlık değerleri.

Suya Doymun Numuneler	Ağırlık (gram)
DÇ-Eski-1	276,08
DÇ-Eski-2	281,25
DÇ-Eski-3	272,43
DÇ-Eski-4	297,38
DÇ-Yeni-1	231,47
DÇ-Yeni-2	227,17
DÇ-Yeni-3	226,27
DÇ-Yeni-4	227,50

Suya doymun numunelerin -20°C’ye ayarlanmış soğuk hava dolabına alınmasıyla deneye başlanmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 : Numunelerin soğuk hava dolabında bekletilmesi.

Numuneler, 2 saat süreyle soğuk hava dolabının içerisinde muhafaza edildikten sonra 20°C’de su dolu bir kabın içerisinde de 2 saat boyunca bekletilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 : Numunelerin su dolu kap içerisinde bekletilmesi.

Her biri 4 saat süreyle devam eden 25 adet donma-çözülme devresi tekrar edilmiştir. Çevrimlerin tamamlanmasının ardından, su dolu kaptan alınan numunelerin yüzey suları silinmiş ve 80°C'ye ayarlanmış etüvde 96 saat süreyle bekletilmişlerdir. Bu sayede değişmez kütleye ulaşması sağlanan numuneler, etüvden çıkarıldıktan sonra desikatöre alınmıştır. Oda sıcaklığındaki numunelerin ağırlıkları 0,01 gr hassasiyetli terazi yardımıyla belirlenmiştir.

Don tesirleri sebebiyle koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması (don kaybı), standartta ifade edilen formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D_k = \frac{G_o - G_k}{G_o} \times 100 \quad (4.3)$$

D_k = Don kaybı (%)

G_o = Numunenin deneyden önceki kütlesi (gr)

G_k = Numunenin deneyden sonraki kütlesi (gr)

Formül kullanılarak elde edilen değerler, “DÇ-Eski” ve “DÇ-Yeni” numuneleri için ayrı ayrı çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 4.15, Çizelge 4.16).

Çizelge 4.15 : “DÇ-Eski” numunelerinin hesaplanan don kaybı değerleri.

Numuneler	Deney Öncesi Kütle (G_o)	Deney Sonrası Kütle (G_k)	Don Kaybı (D_k)
			$\frac{G_o - G_k}{G_o} \times 100$
DÇ-Eski-1	288,25	268,04	7,01
DÇ-Eski-2	294,96	272,60	7,58
DÇ-Eski-3	285,25	264,03	7,44
DÇ-Eski-4	312,98	287,52	8,13
Ortalama			7,54

Çizelge 4.16 : “DÇ-Yeni” numunelerinin hesaplanan don kaybı değerleri.

Numuneler	Deney Öncesi Kütle (G_o)	Deney Sonrası Kütle (G_k)	Don Kaybı (D_k)
			$\frac{G_o - G_k}{G_o} \times 100$
DÇ-Yeni-1	250,72	229,12	8,61
DÇ-Yeni-2	246,46	224,71	8,82
DÇ-Yeni-3	245,54	224,10	8,73
DÇ-Yeni-4	246,54	225,18	8,66
Ortalama			8,70

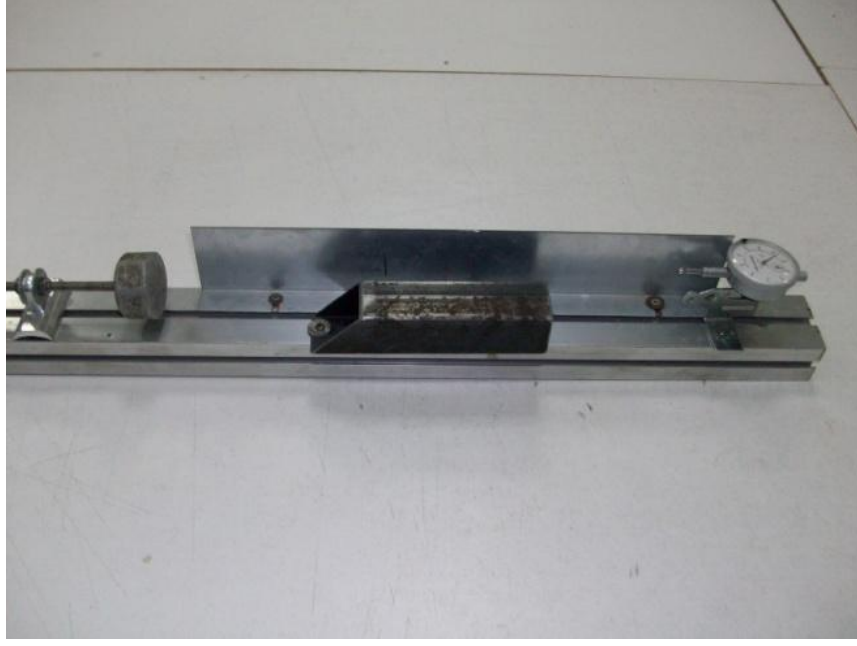
4.4.2.3 Rutubet nedeniyle en büyük boyutsal değişimlerin ölçülmesi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin su içeriğindeki değişimlere bağlı olarak meydana gelen en büyük boyutsal değişimlerini (kalıcı hidrolik rötre ve geri dönüşümlü genleşme) tanımlayan bir deneydir. TS EN 1170-7/Mart 1999 standardına göre yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan 6 adet deney numunesi, deney başlangıç tarihinden 54 gün önce Fibrobeton firması tarafından üretilen cephe panellerinden elde edilmiştir. Deney standardında belirtilen ölçülerde kesilen parçalar “BD” koduyla adlandırılmıştır.

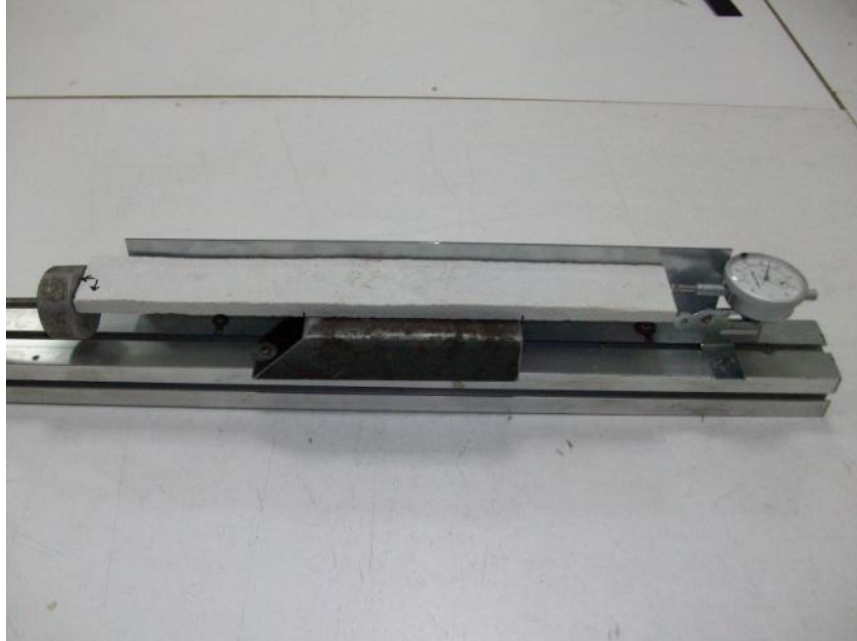
“BD” numunelerinin ağırlıkları, 0,01 gr hassasiyetle tartım yapabilen bir terazi yardımıyla ölçülmüştür.

Hassas boyutsal ölçüm yapabilmek için ise deneye özel bir cihaz tasarlanmış ve imal edilmiştir. Metal bir profil üzerine sabitlenen ekstansometre ve numunenin her iki yönde sabit kalmasını sağlayan ek parçalardan oluşan cihaz, Şekil 4.19’da görülmektedir.



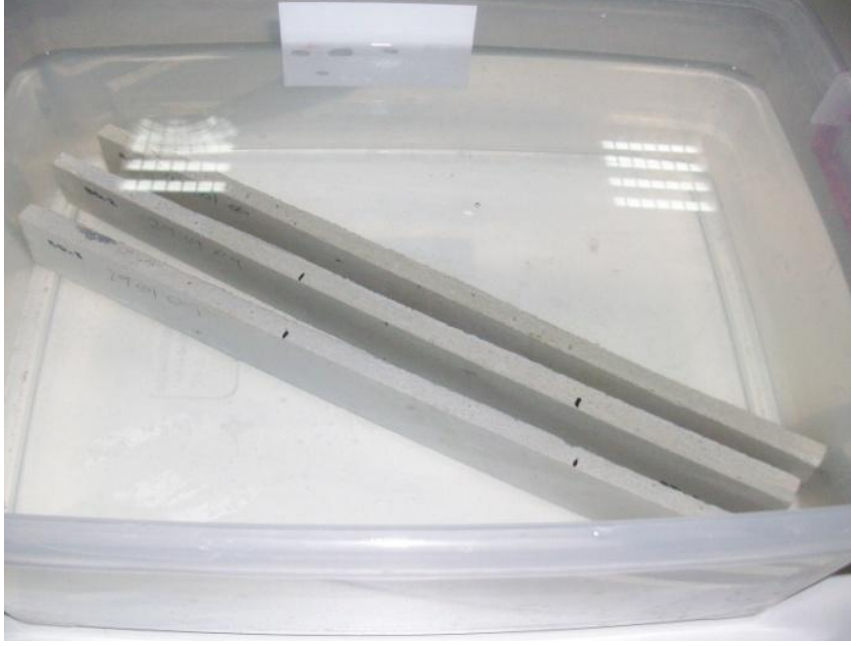
Şekil 4.19 : Deney için hazırlanan cihaz.

Bir kısa kenarı sabitleyici parçaya dayanan numunenin diğer kısa kenarı ise ekstansometrenin hareketli ucuna dayanmaktadır. Söz konusu noktalar ilk ölçümde belirlenmiş ve işaretlenmiştir. Deney öncesi ve sonrasında boyutsal değişim ölçümleri yapılan numuneler, her defasında cihaza aynı şekilde yerleştirilmiş, sabitleyici ve ekstansometre ucuna dayanan işaretli noktaların yönleri kesinlikle değiştirilmemiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 : “BD” deney numunelerinin boyutsal ölçüm işlemi.

İlk olarak, deney numunelerinden BD-1, BD-2 ve BD-3 olarak adlandırılan üç adedi, 20°C su ile dolu kap içerisinde 96 saat süreyle bekletilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 : BD-1-2-3 numunelerinin su dolu kaptaki bekletilmesi.

Belirtilen süre sonunda su dolu kaptan çıkarılan BD-1, BD-2 ve BD-3 numunelerinin yüzey suları silindikten sonra ölçüm ve tartım işlemleri tekrarlanmıştır.

Deney standardında belirtilen formül kullanılarak numunelerin genleşme değerleri hesaplanmış, çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 4.17).

$$\frac{\Delta l_s}{l} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 10^3 \quad (4.4)$$

Çizelge 4.17 : Suda bekletilen “BD” numunelerinin genleşme değerleri.

Numuneler	Deney Başlangıcında Uzunluk l_0	96 Saat Suda Bekledikten Sonra Uzunluk l_1	Genleşme Değeri
			$\frac{\Delta l_e}{l} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 10^3$
BD-1	38	71	868,4 = $\frac{71-38}{38} \times 10^3$
BD-2	49	88	795,9 = $\frac{88-49}{49} \times 10^3$
BD-3	80	114	425 = $\frac{114-80}{80} \times 10^3$
Ortalama Genleşme Değeri			696,45

Ayrıca, deney standardında belirtilen formül kullanılarak numunelerin kütle değişim değerleri de hesaplanmış, çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18 : Suda bekletilen “BD” numunelerinin kütle değişim değerleri.

Numuneler	Deney Başlangıcında Kütle m_0	96 Saat Suda Bekledikten Sonra Kütle m_1	Kütle Değişimi
			$\frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$
BD-1	438,25	469,61	7,16
BD-2	469,18	494,87	5,48
BD-3	451,99	476,21	5,36
Ortalama Kütle Değişimi			6,00

İkinci aşamada ise, deney numunelerinden BD-4, BD-5 ve BD-6 olarak adlandırılan üç adedi, 33°C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 21 gün süreyle bekletilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 : BD-4-5-6 numunelerinin etüvde bekletilmesi.

21 gün sonunda etüvden çıkarılan numuneler, laboratuvar ortamında 6 saatlik bir dengeleme süresi sonrasında tartılmış ve iki uç arası mesafe ölçümleri yapılmıştır.

Deney standardında belirtilen formül kullanılarak numunelerin rötre değerleri hesaplanmış, çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19 : Etüvde bekletilen “BD” numunelerinin hesaplanan rötre değerleri.

Numuneler	Deney Başlangıcında Uzunluk l_0	21 Gün Etüvde Bekledikten Sonra Uzunluk l_2	Rötre Değeri
			$\frac{\Delta l_s}{l} = \frac{l_0 - l_2}{l_0} \times 10^3$
BD-4	80	36	$550,00 = \frac{80-36}{80} \times 10^3$
BD-5	108	70	$351,85 = \frac{108-70}{108} \times 10^3$
BD-6	63	23	$634,92 = \frac{63-23}{63} \times 10^3$
Ortalama Rötre Değeri			512,26

Ayrıca, deney standardında belirtilen formül kullanılarak numunelerin kütle değişim değerleri de hesaplanmış, çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20 : Etüvde bekletilen “BD” numunelerinin kütle değişim değerleri.

Numuneler	Deney Başlangıcında Kütle m_0	21 Gün Etüvde Bekledikten Sonra Kütle m_2	Kütle Değişimi
			$\frac{m_0-m_2}{m_0} \times 100$
BD-4	518,70	494,33	4,70
BD-5	473,59	451,70	4,62
BD-6	420,94	402,50	4,38
Ortalama Kütle Değişimi			4,57

En Büyük Boyutsal Değişim Değeri Hesabı:

$$\frac{\Delta l_c}{l} = \frac{\Delta l_s}{l} + \frac{\Delta l_e}{l}$$

$$\frac{\Delta l_c}{l} = 512,26 + 696,45 = 1.208,71$$

4.4.3 Mekanik deneyler

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır.

4.4.3.1 Eğilme deneyi

Tekrarlı hava şartlarında yıpranma ve don tesirlerine dayanıklılık deneylerinde kullanılan CTÇ/GRC numunelerine, TS EN 1170-5 standardına uygun olarak eğilme deneyi uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmanın amacı, eğilmeye maruz kalan cam elyaf takviyeli çimento (CTÇ/GRC) bileşimli bir malzemenin orantısal limitte ve kırılma anındaki gerilme ve deformasyon performansını belirlemektir.

Tekrarlı yıpranma deneyi numuneleriyle eğilme deneyi

TS ENV 1170-8 standardına göre yapılmış olan tekrarlı hava şartlarında yıpranma tip deneyinde kullanılan CTÇ/GRC numunelerine ve normal ortam koşullarında bekletilen, aynı üretim tarihli kontrol numunelerine eğilme deneyi uygulanmıştır.

Deney düzeneğinin oluşturulmasında, mesnetler arası mesafesi 18,8 cm olan bir eğilme deneyi cihazı, kırılma anındaki deformasyonu belirlemek üzere ekstansometre, dört noktadan yüklemeyi sağlamak üzere numune üzerine oturan ve ayaklar arası mesafesi 6,3 cm olan metal bir parça kullanılmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 : Eğilme deneyi düzeneği.

Oluşturulan deney düzeneğine uygun numune boyutu elde etmek için 5x40 cm boyutlarındaki numuneler iki eşit parçaya kesilmiştir.

Numuneler, düzgün yüzeyler mesnetler üzerine gelecek şekilde deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Bu şekilde, uygulanan yükün eşit dağılması sağlanmıştır.

Deney sırasında, deney cihazında okunan yük miktarına bağlı sehim miktarı ekstansometre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her bir numunenin kırılma anındaki yük ve sehim değerleri not edilmiştir.



Şekil 4.24 : Kırılma sonrası C5-2 deney numunesi.



Şekil 4.25 : Kırılma sonrası EK1-1 deney numunesi.

Deney parçalarının mekanik davranışlarını karşılaştırmak üzere her bir numune için yük-sehim grafikleri hazırlanmıştır. Bu grafiklerden faydalanarak ve aşağıdaki formüller kullanılarak, numunelerin deformasyon (ϵ_{LOP} ve ϵ_{MOR}) ve gerilme değerleri (σ_{LOP} ve σ_{MOR}) belirlenmiştir.

$$\epsilon_{LOP} = \frac{108}{23} \times \frac{\Delta_{LOP} \times d}{L^2} \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_{MOR} = \frac{108}{23} \times \frac{\Delta_{MOR} \times d}{L^2} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{LOP} = \frac{F_{LOP} \times L}{b \times d^2} \quad (4.7)$$

$$\sigma_{MOR} = \frac{F_{MOR} \times L}{b \times d^2} \quad (4.8)$$

b : Deney parçasının genişliği, mm

d : Deney parçasının kalınlığı (en yakın 0,1 mm'ye yuvarlatılmış), mm

F_{LOP} : Orantısal limitteki yük, N

F_{MOR} : Kırılma yükü, N

L : Mesnetler arası mesafe, mm

Δ_{LOP} : Orantısal limitteki sehim, mm

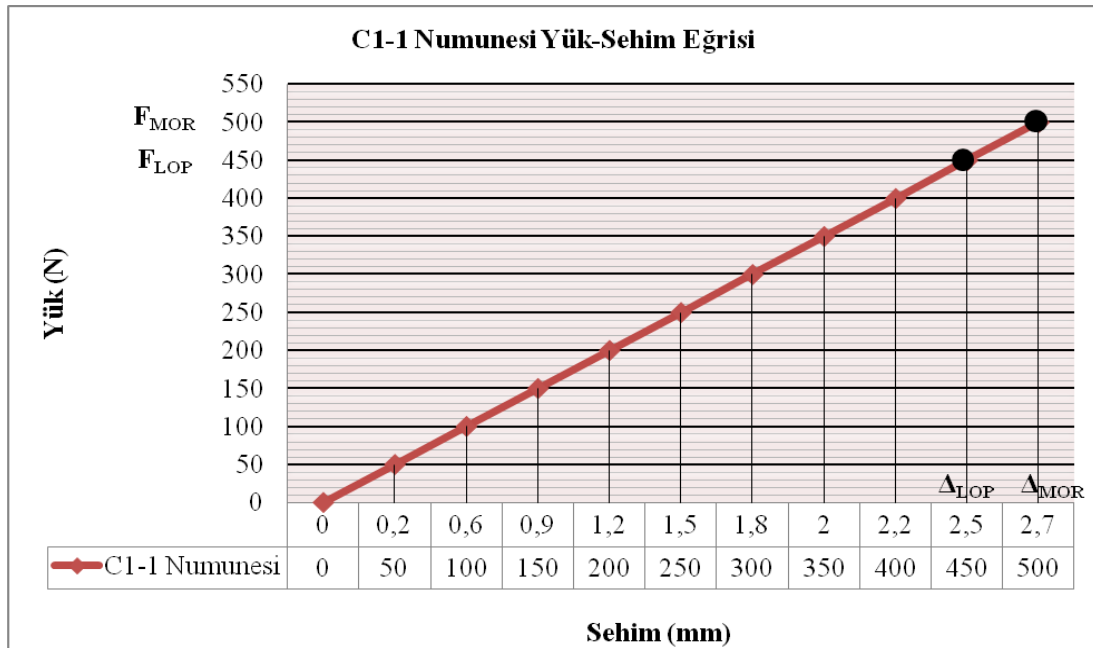
Δ_{MOR} : Kırılma anındaki sehim, mm

ε_{LOP} : Orantısal limitteki birim deformasyon

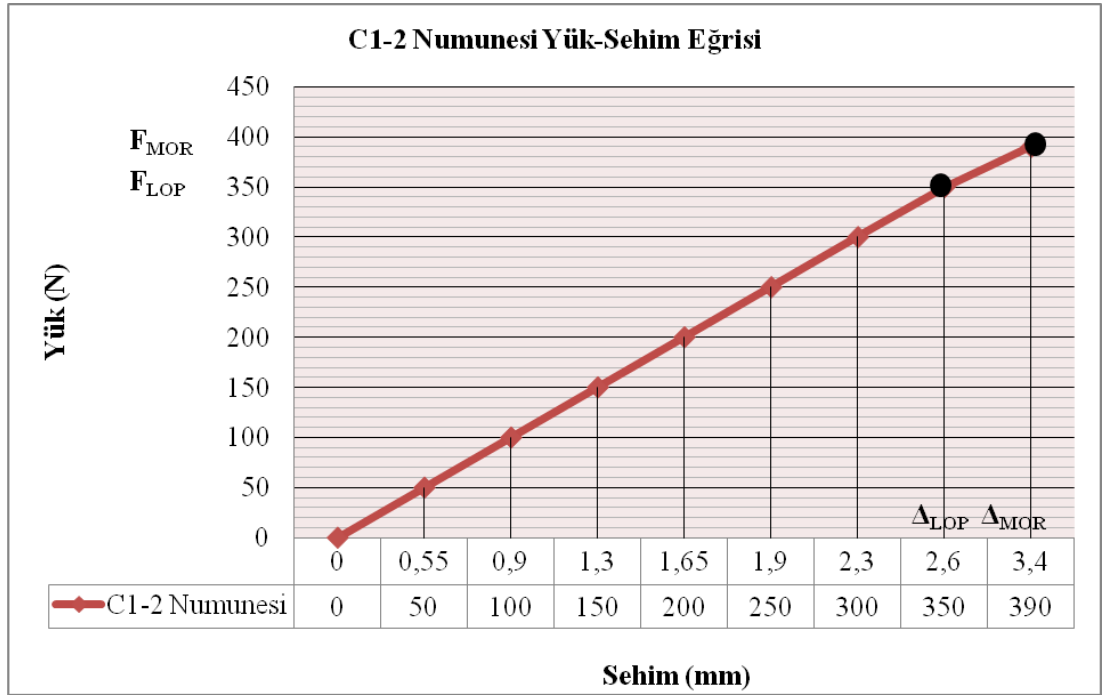
ε_{MOR} : Kırılma anındaki birim deformasyon

σ_{LOP} : Orantısal limitteki gerilme, MPa

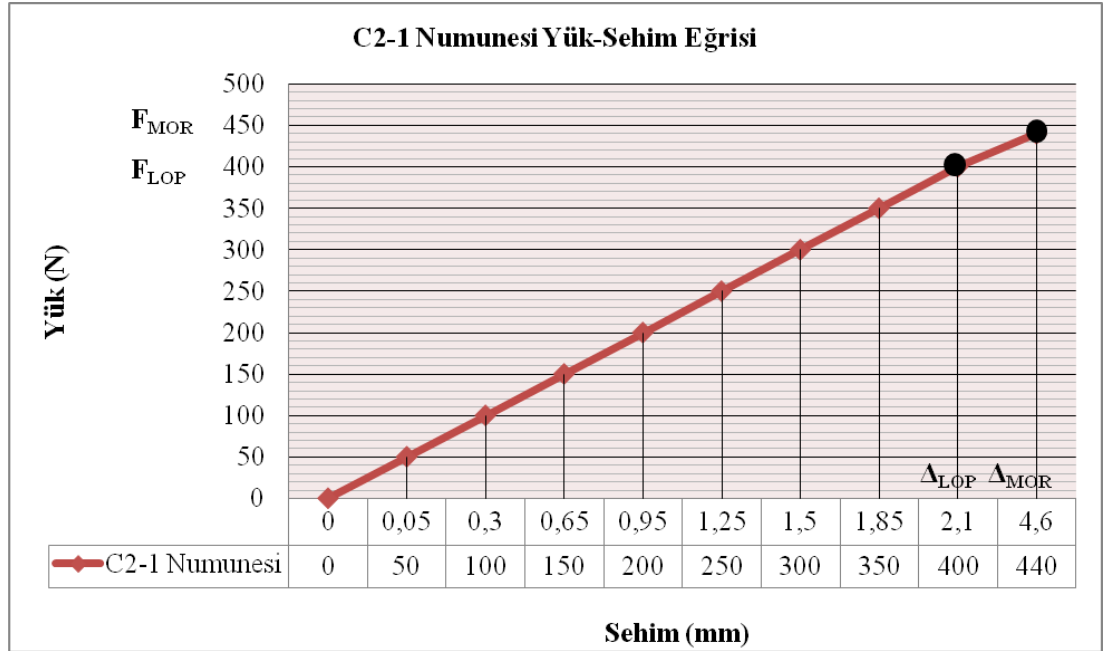
σ_{MOR} : Kırılma anındaki gerilme, MPa



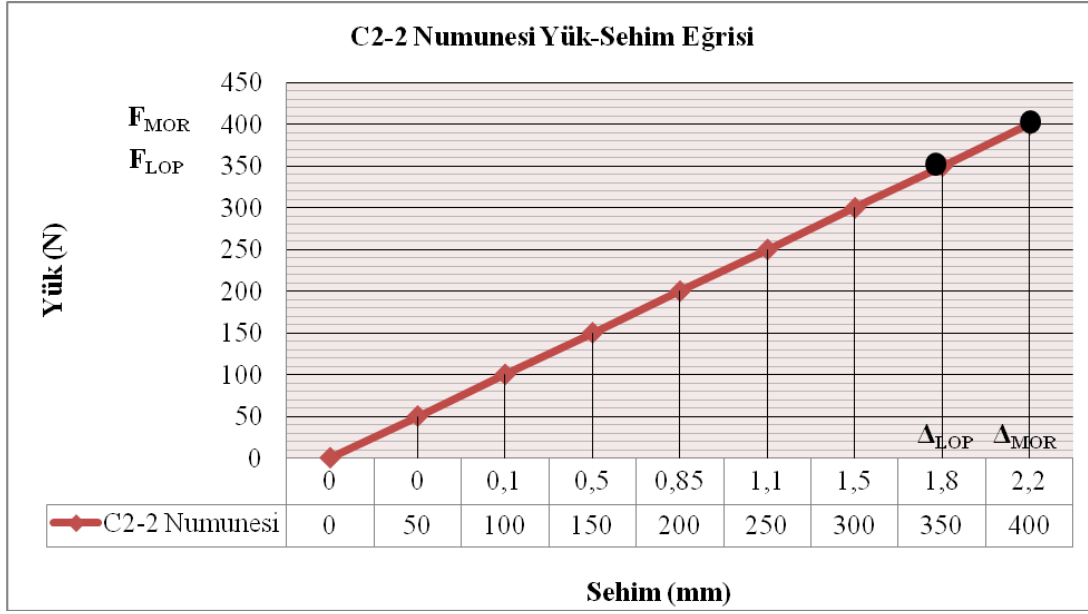
Şekil 4.26 : C1-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



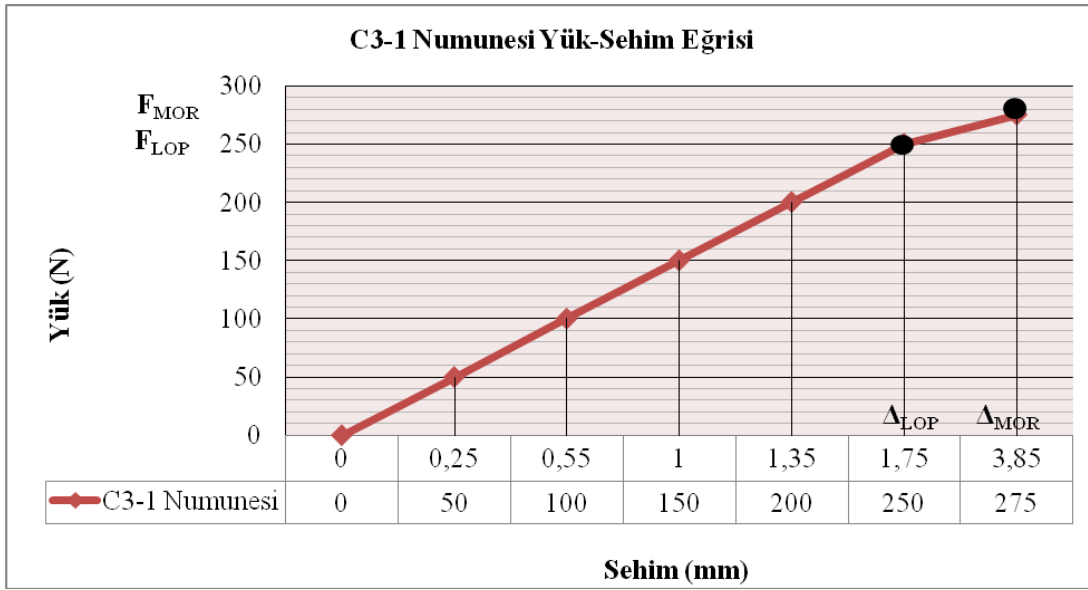
Şekil 4.27 : C1-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



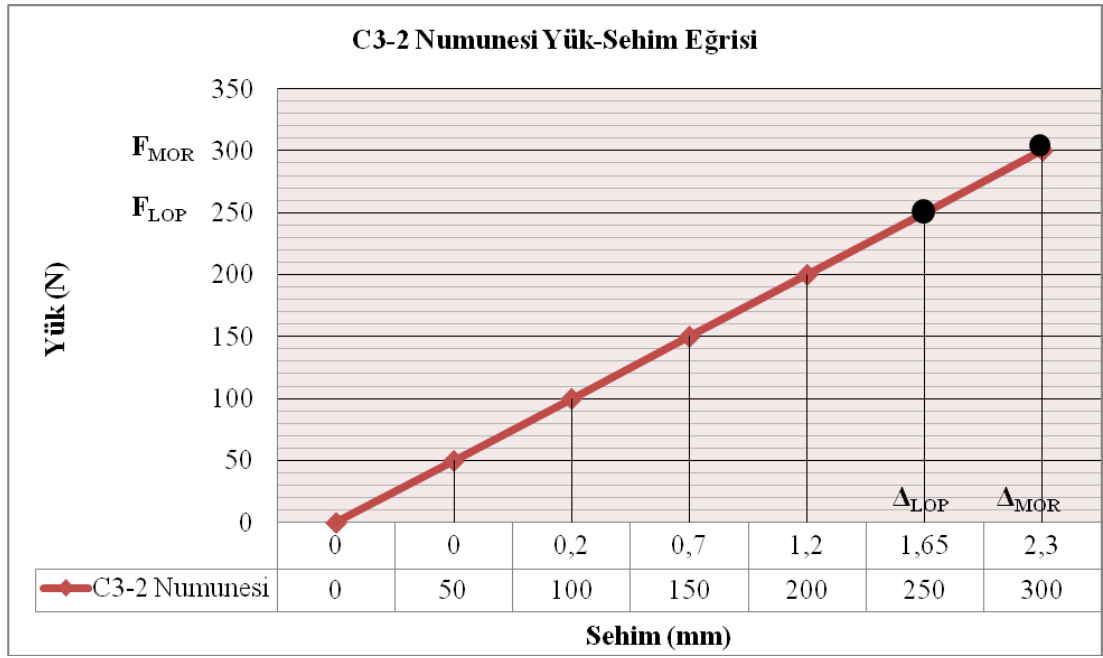
Şekil 4.28 : C2-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



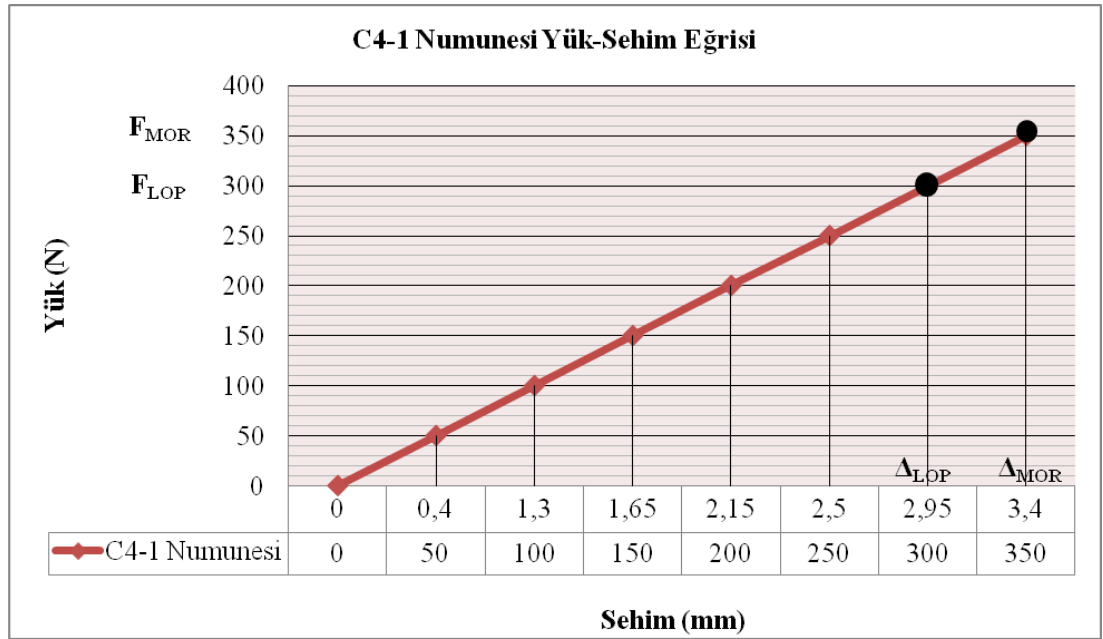
Şekil 4.29 : C2-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



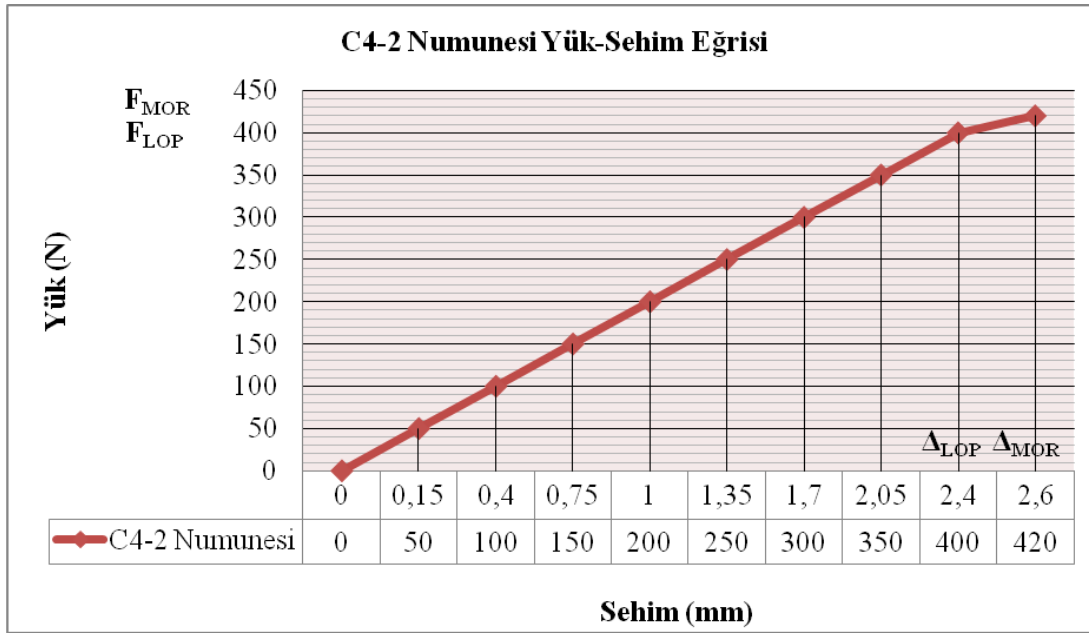
Şekil 4.30 : C3-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



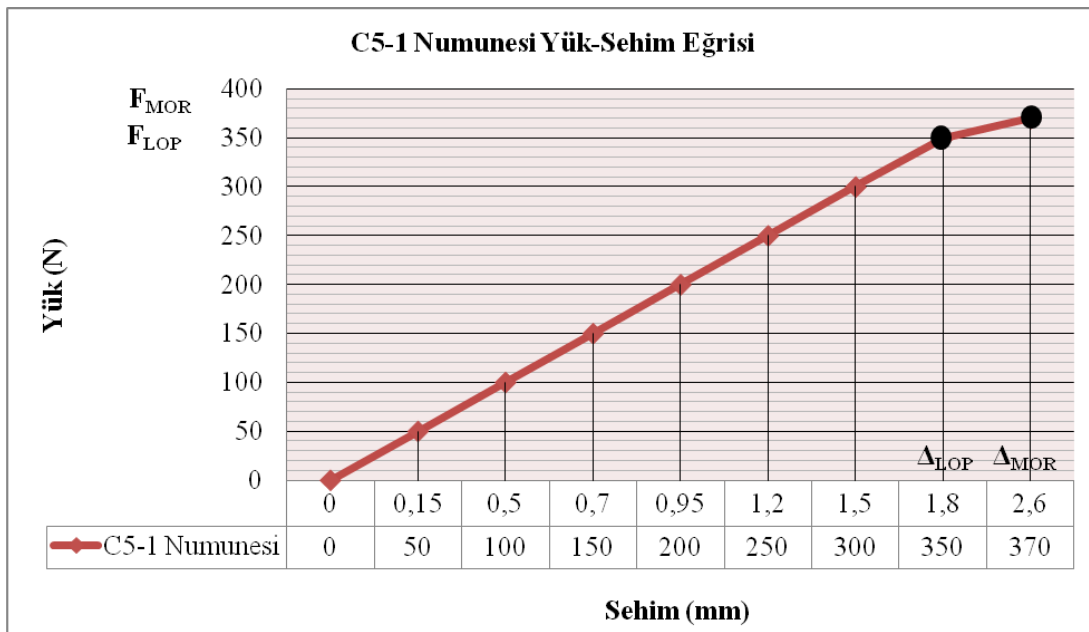
Şekil 4.31 : C3-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



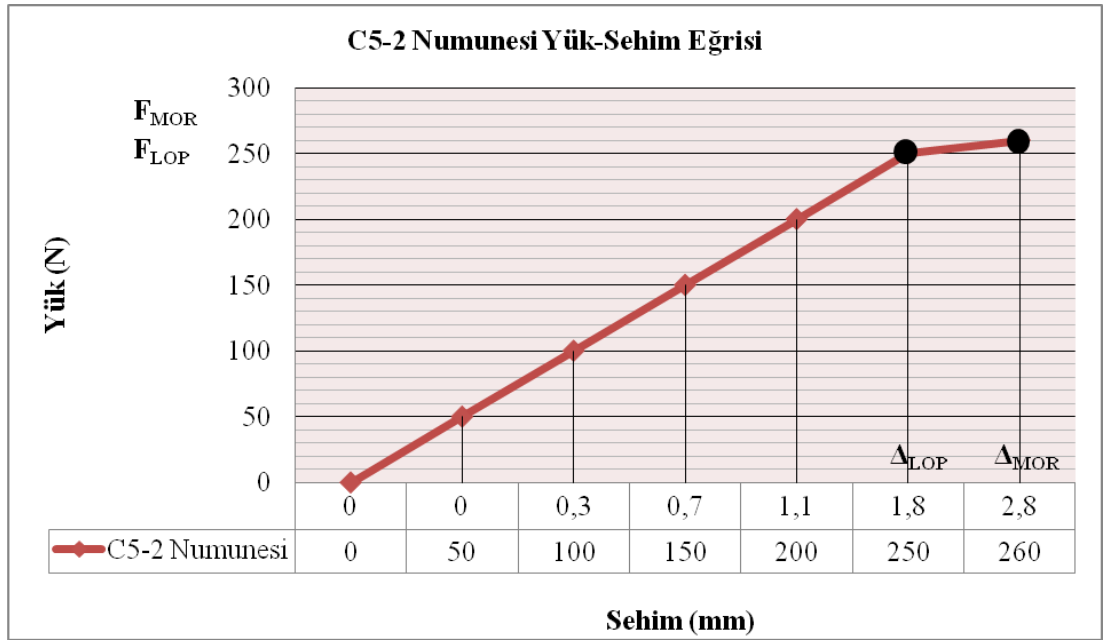
Şekil 4.32 : C4-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



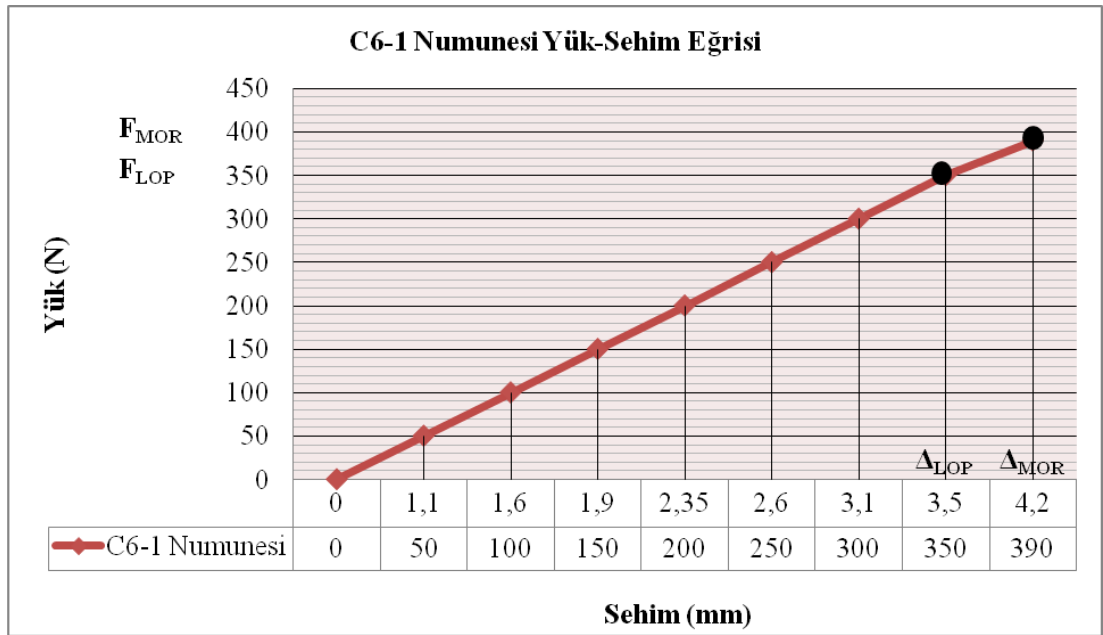
Şekil 4.33 : C4-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



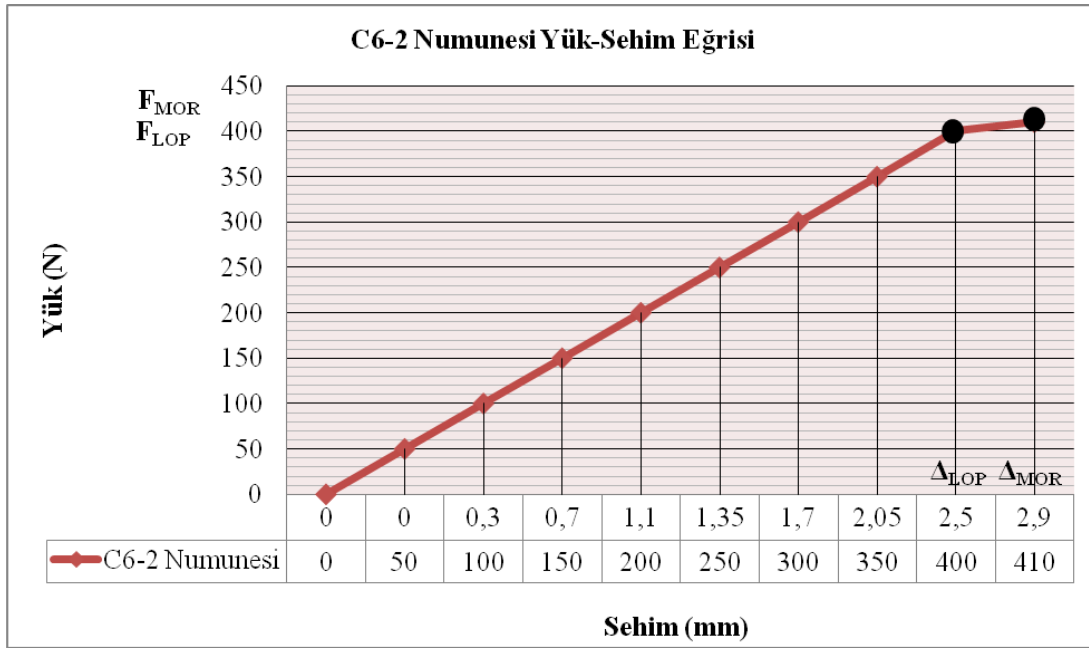
Şekil 4.34 : C5-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



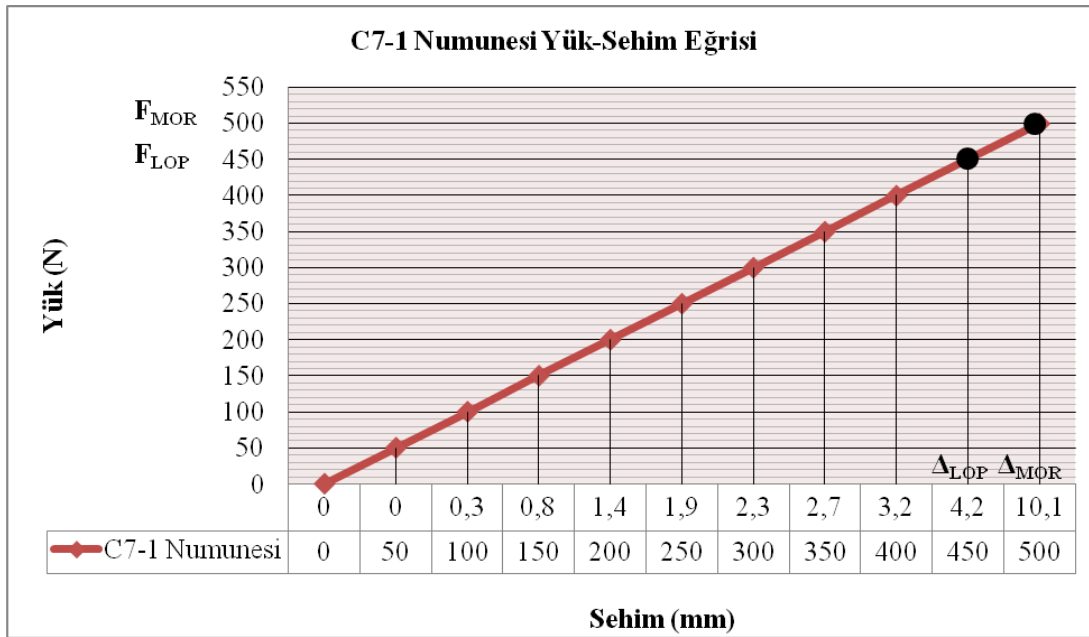
Şekil 4.35 : C5-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



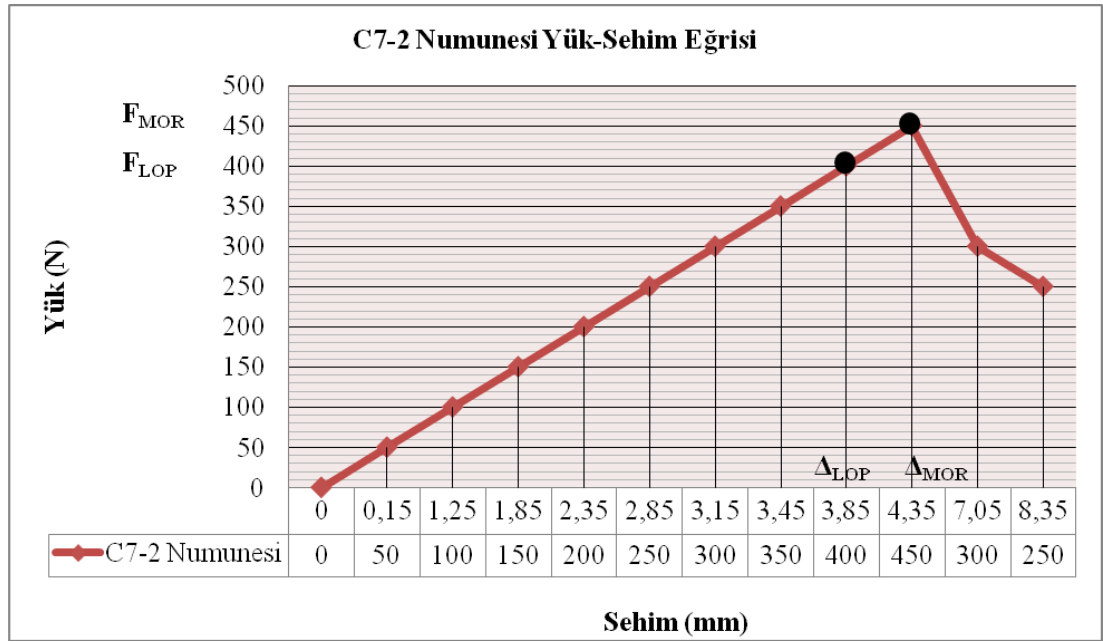
Şekil 4.36 : C6-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



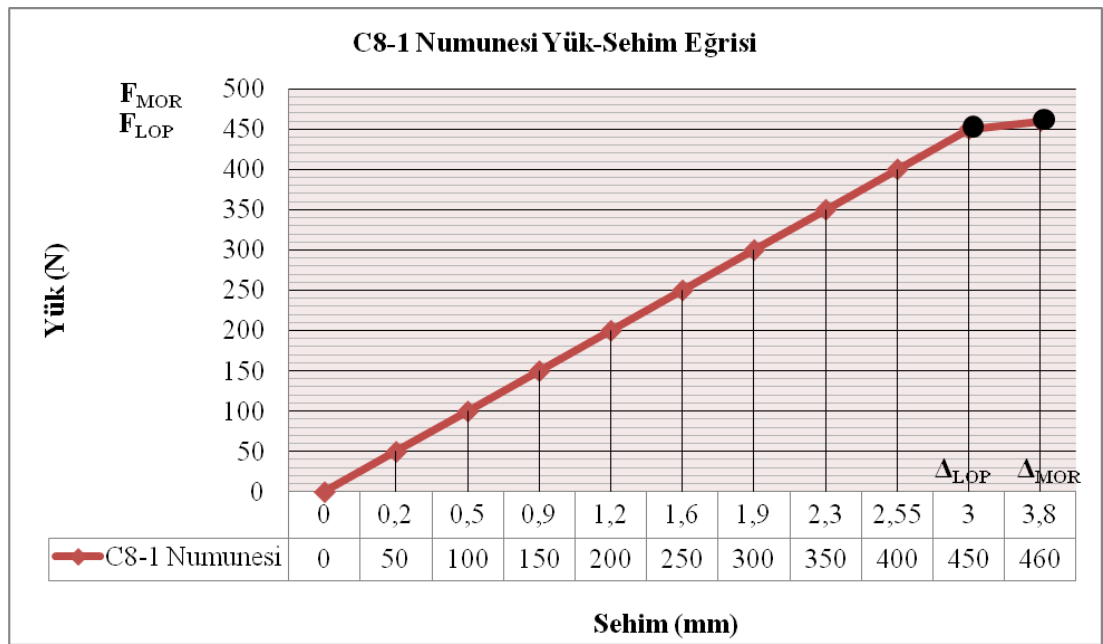
Şekil 4.37 : C6-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



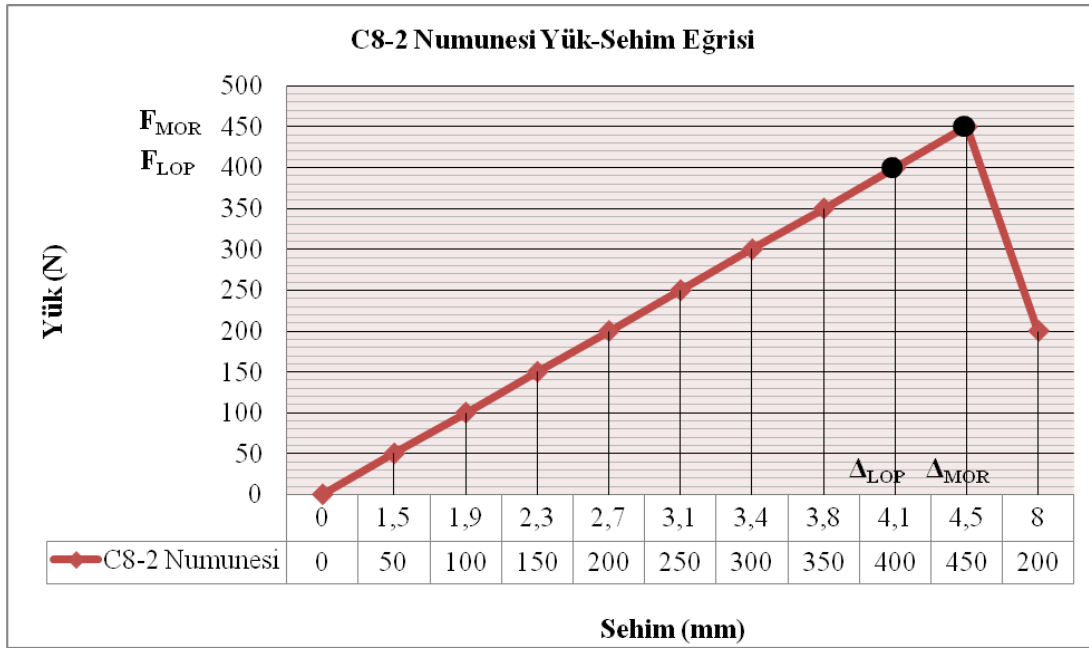
Şekil 4.38 : C7-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



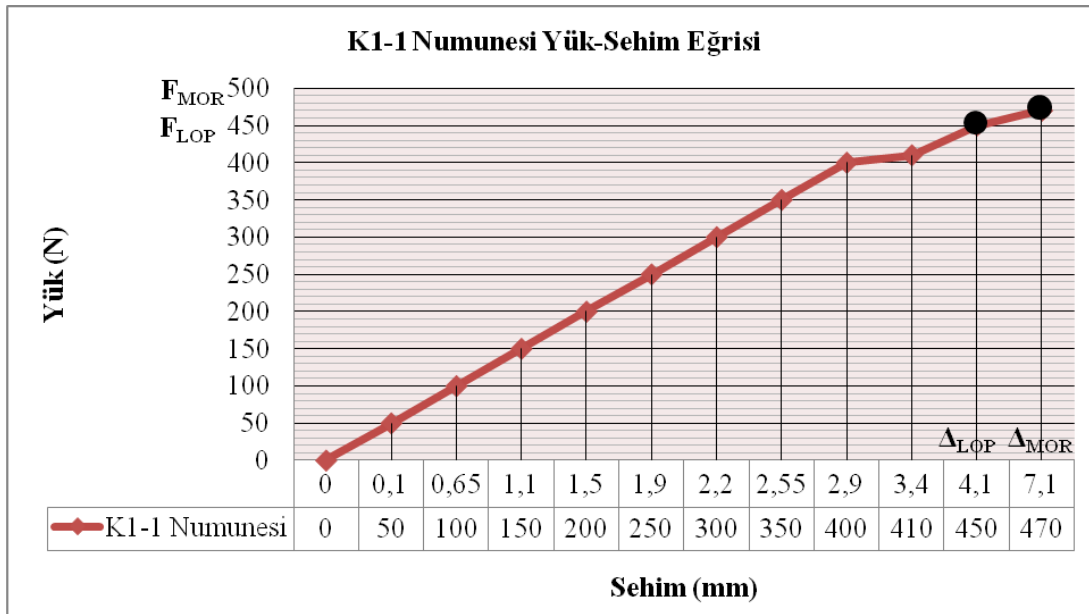
Şekil 4.39 : C7-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



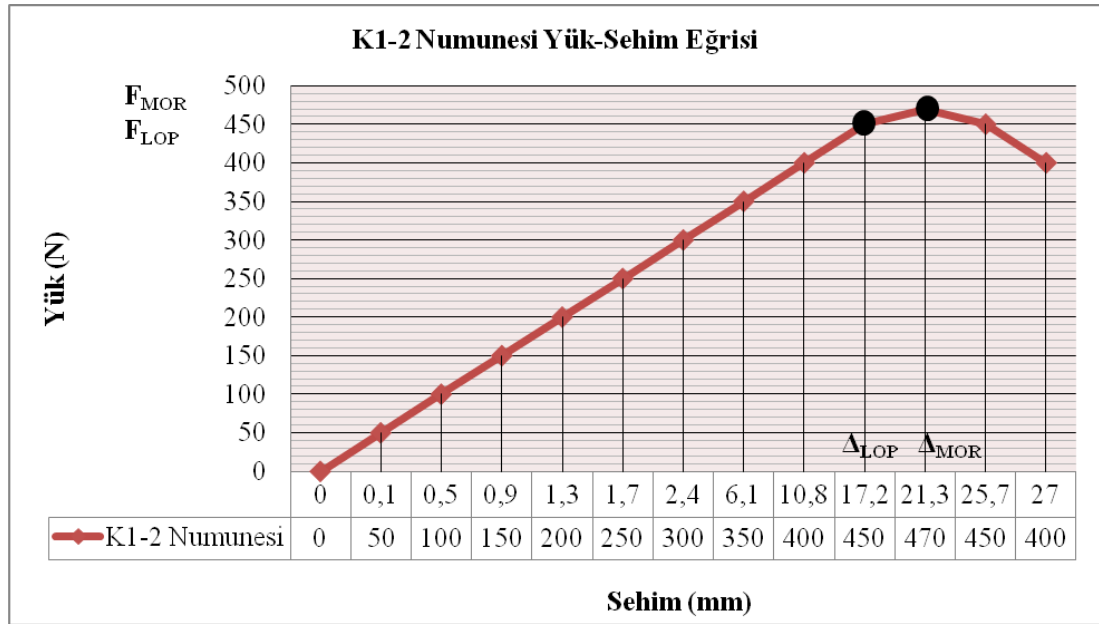
Şekil 4.40 : C8-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



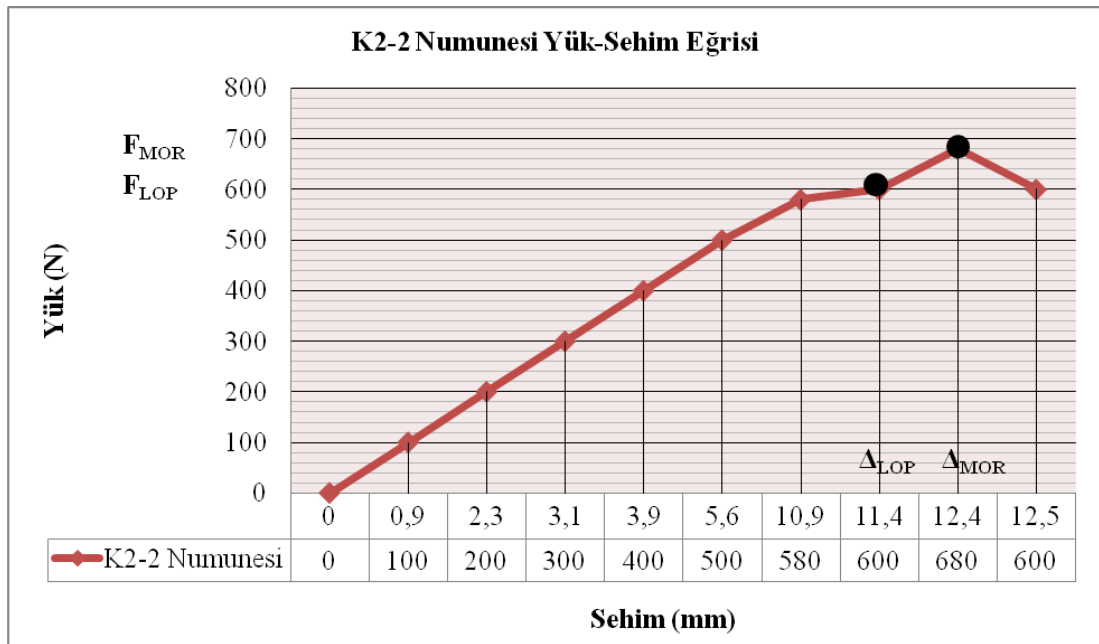
Şekil 4.41 : C8-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



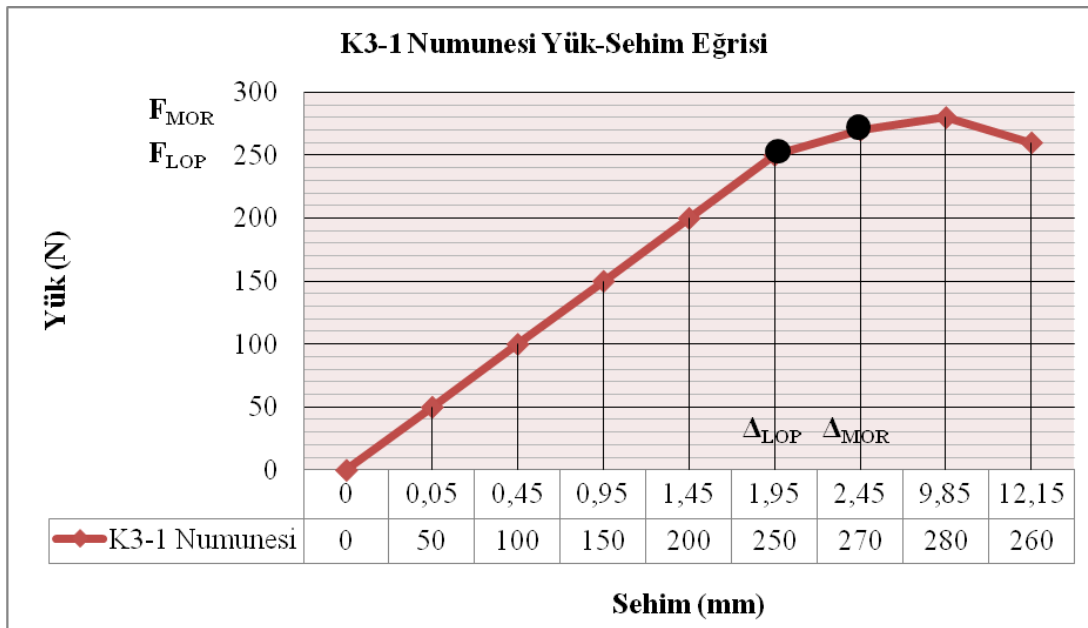
Şekil 4.42 : K1-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



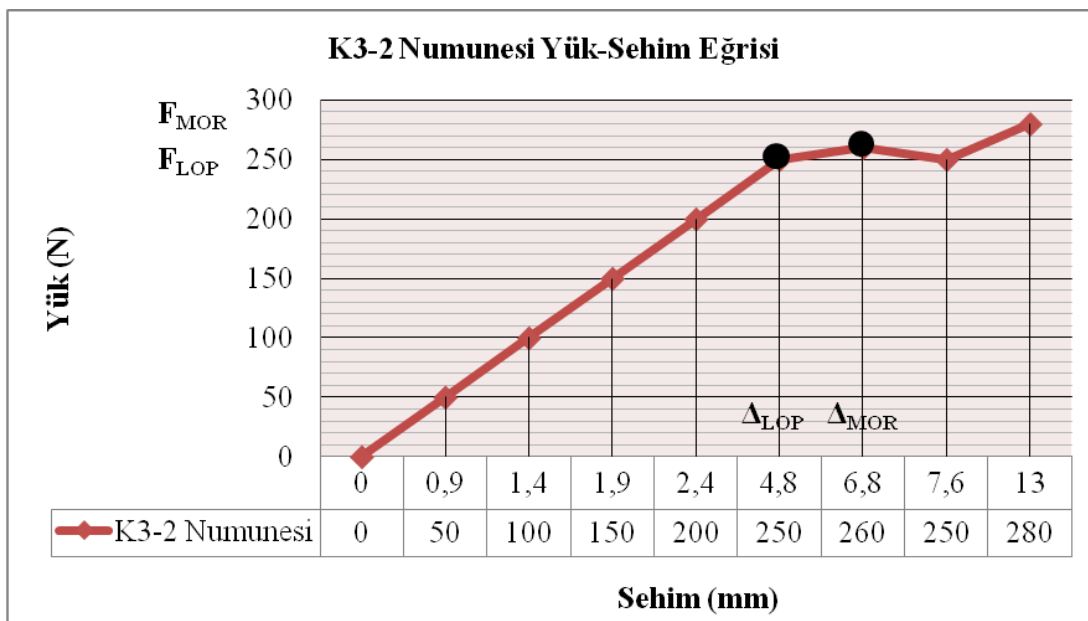
Şekil 4.43 : K1-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



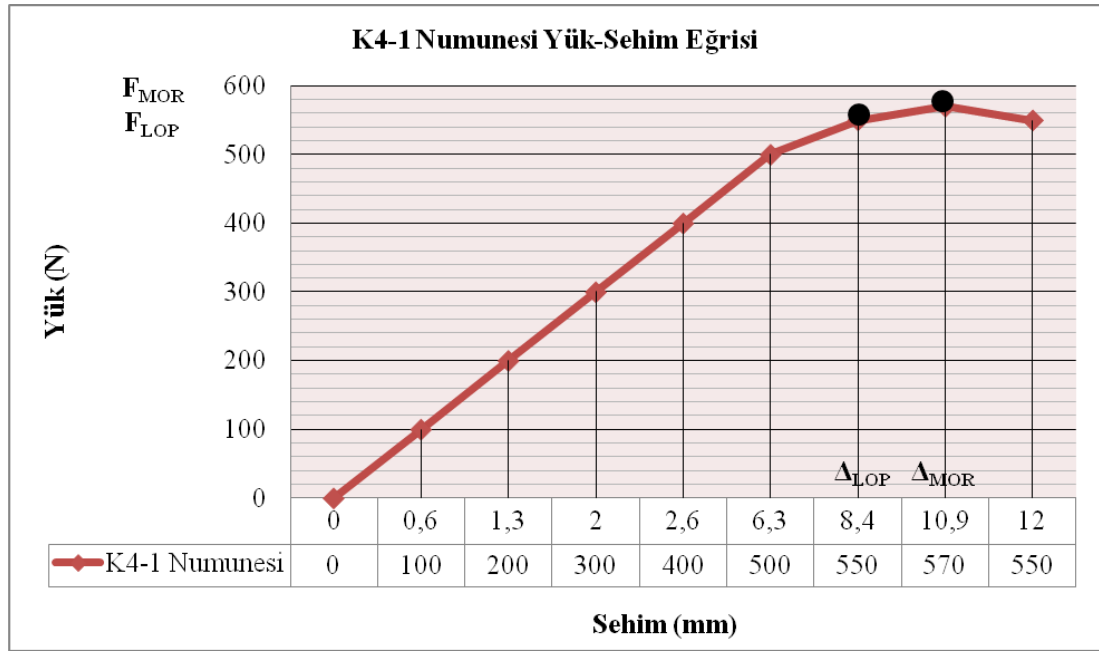
Şekil 4.44 : K2-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



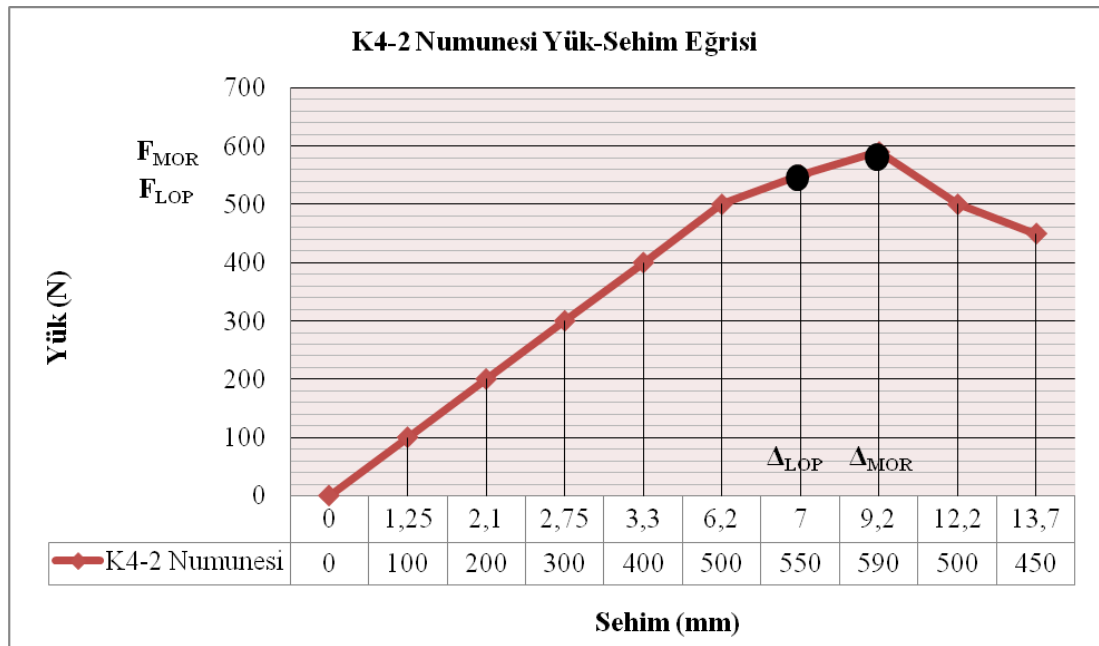
Şekil 4.45 : K3-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



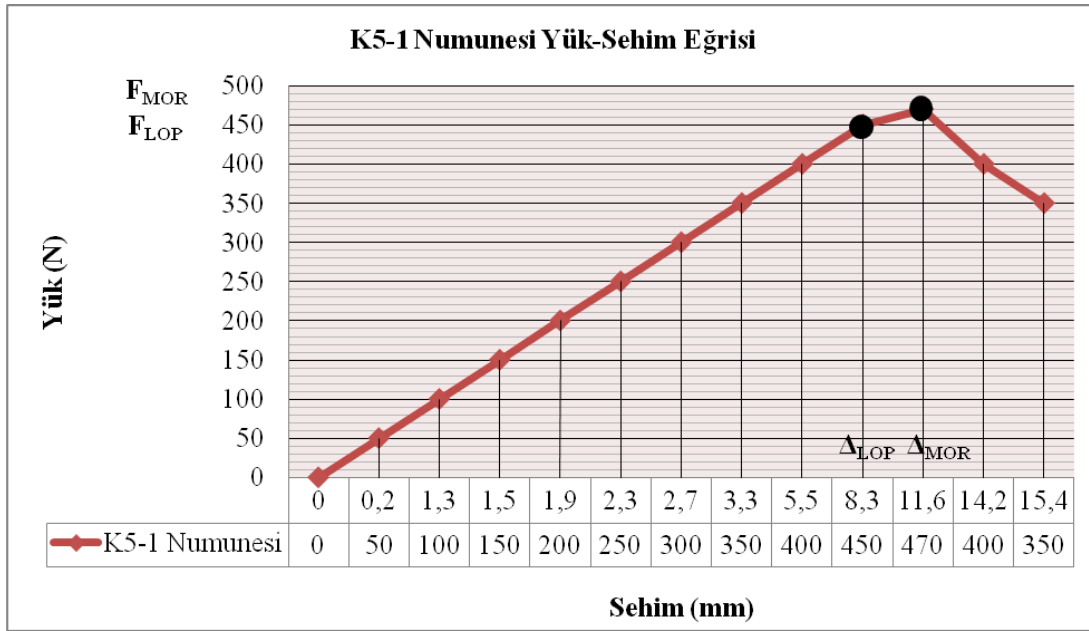
Şekil 4.46 : K3-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



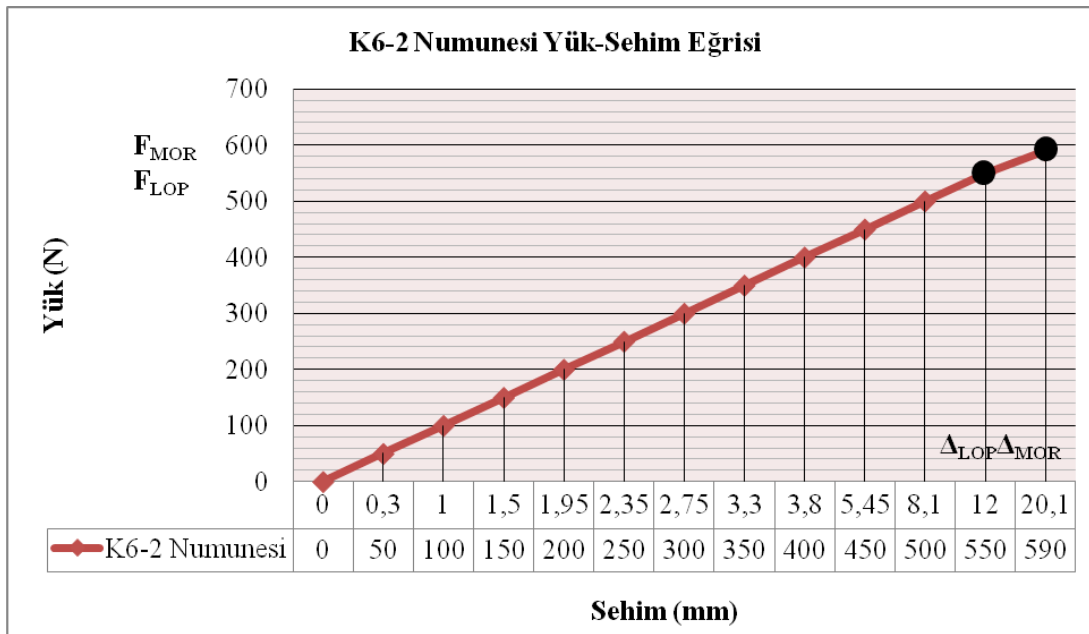
Şekil 4.47 : K4-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



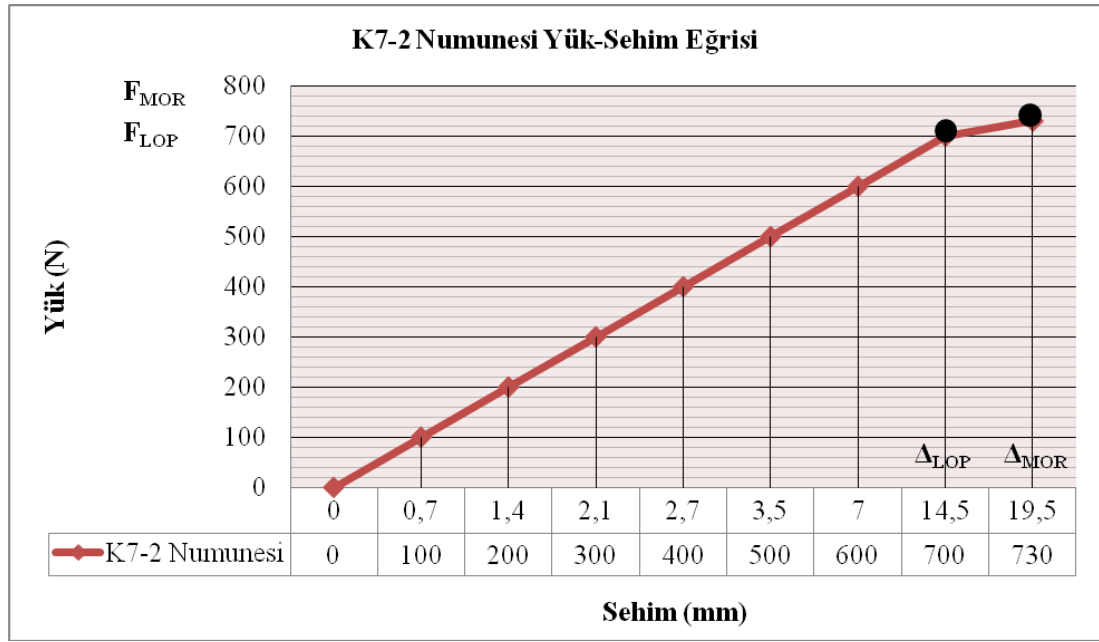
Şekil 4.48 : K4-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



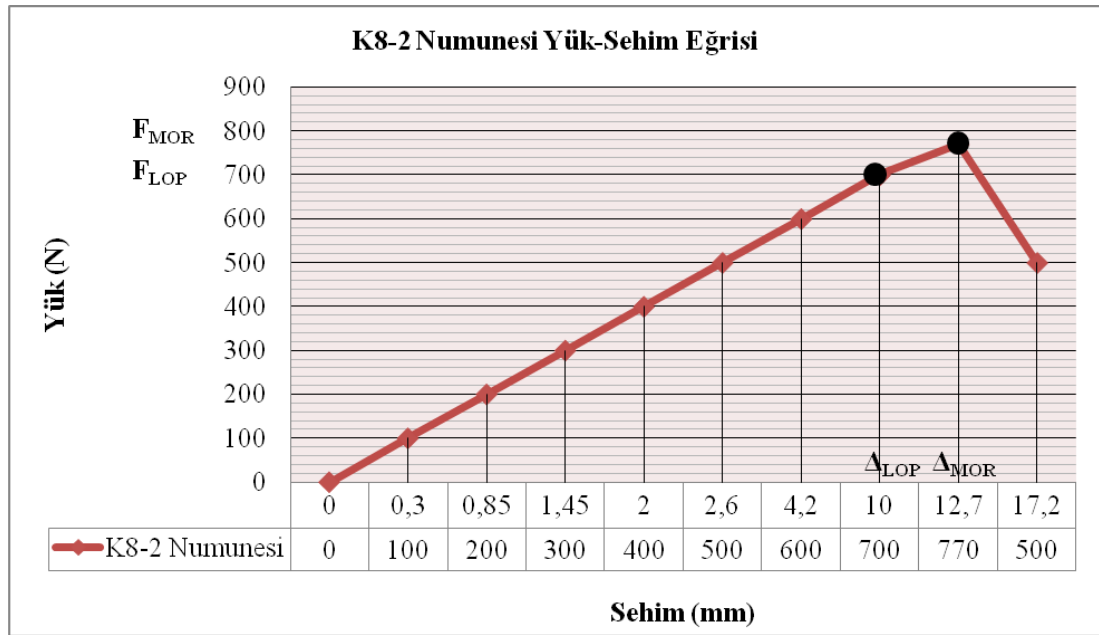
Şekil 4.49 : K5-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



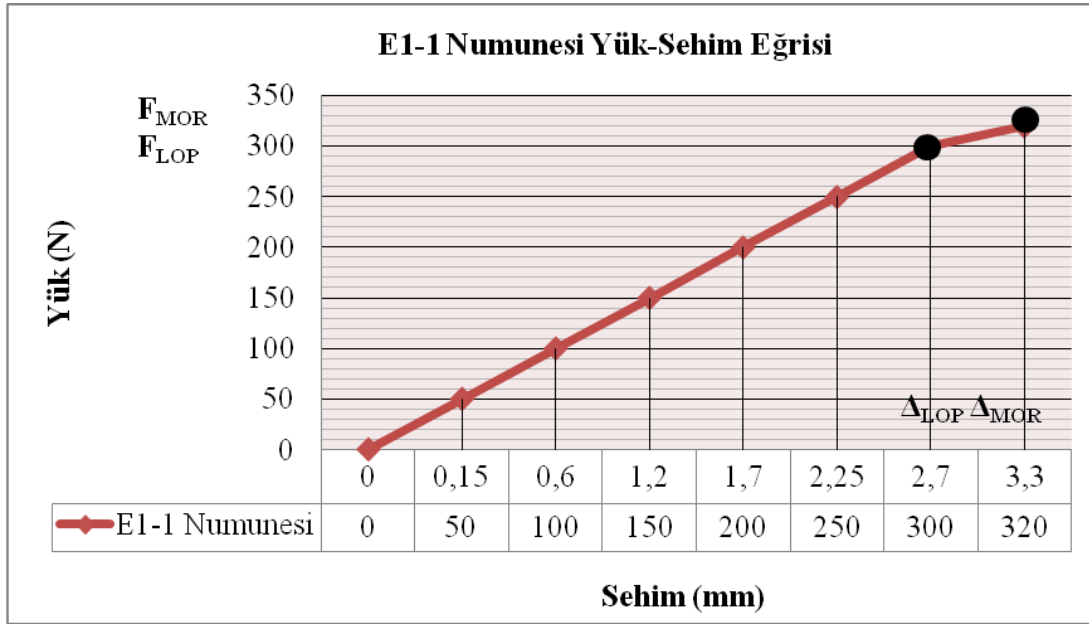
Şekil 4.50 : K6-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



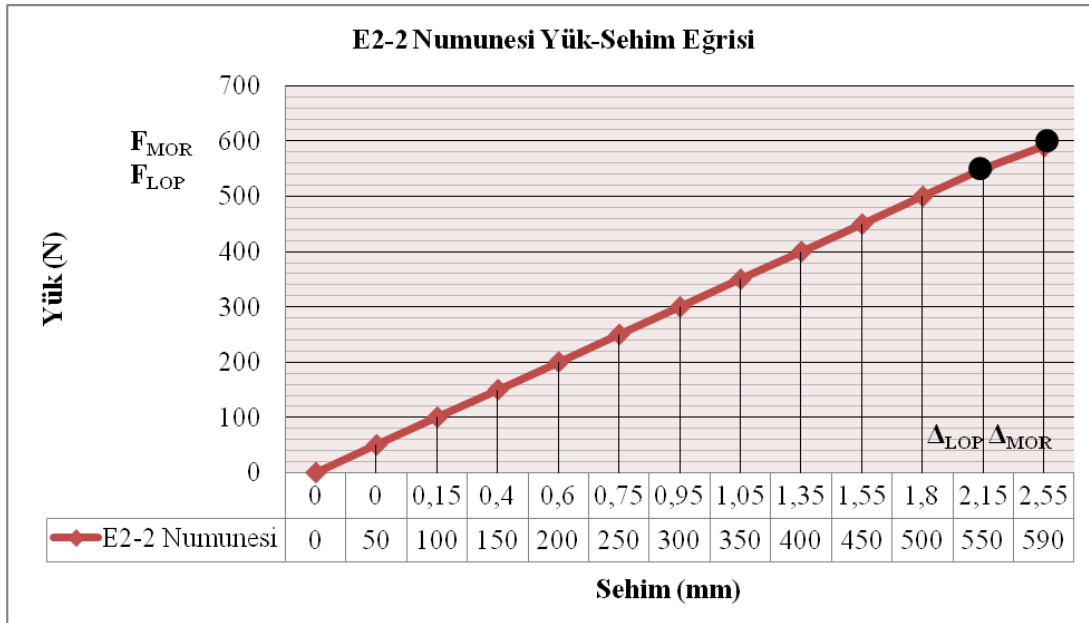
Şekil 4.51 : K7-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



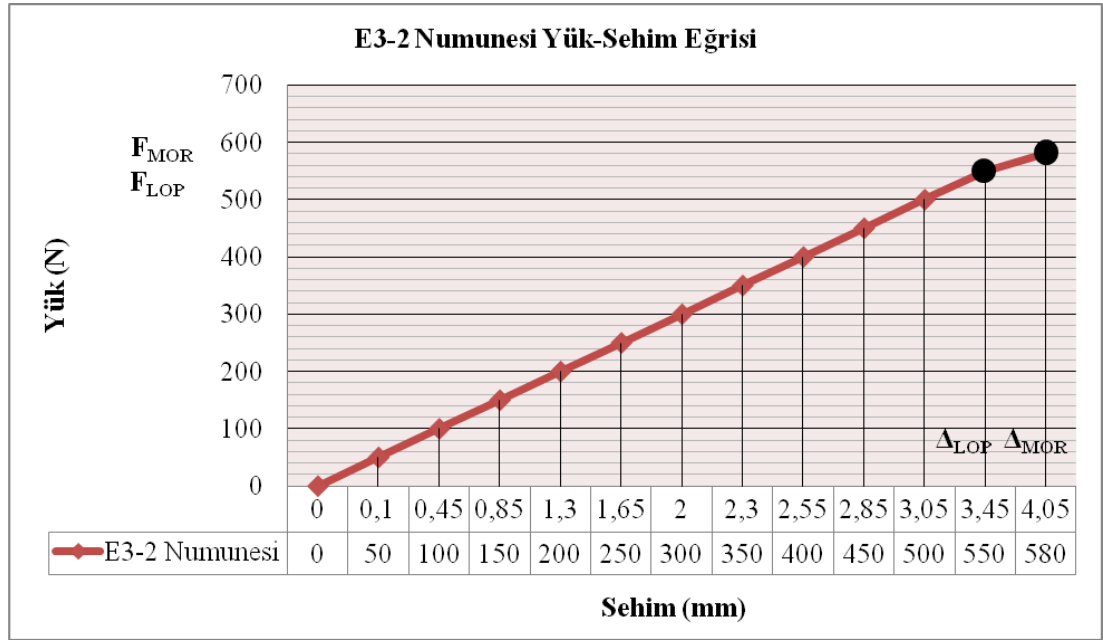
Şekil 4.52 : K8-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



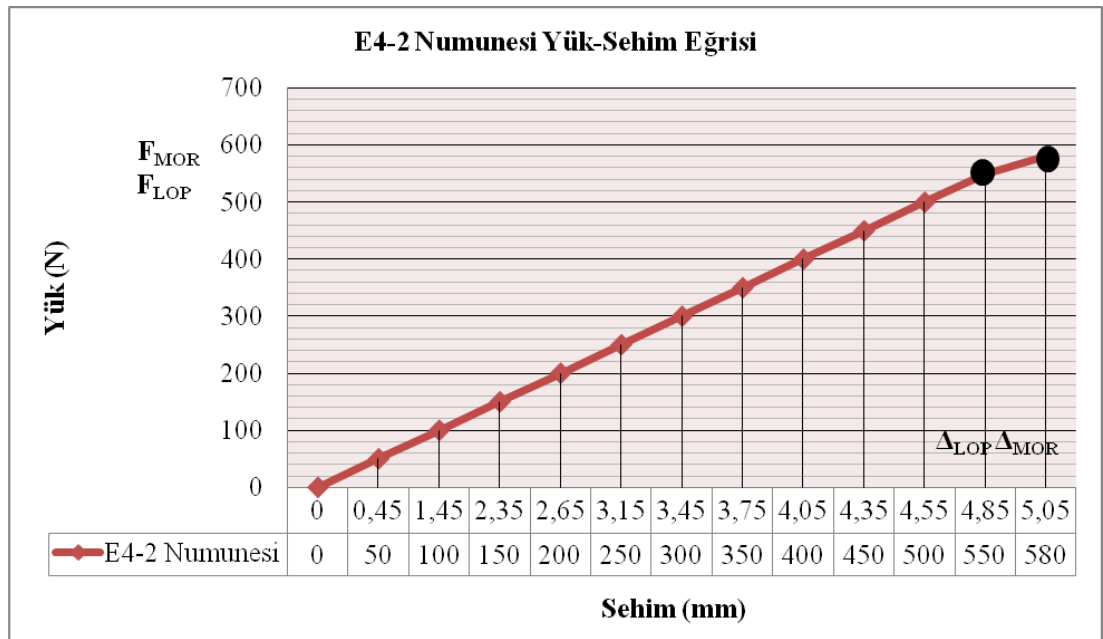
Şekil 4.53 : E1-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



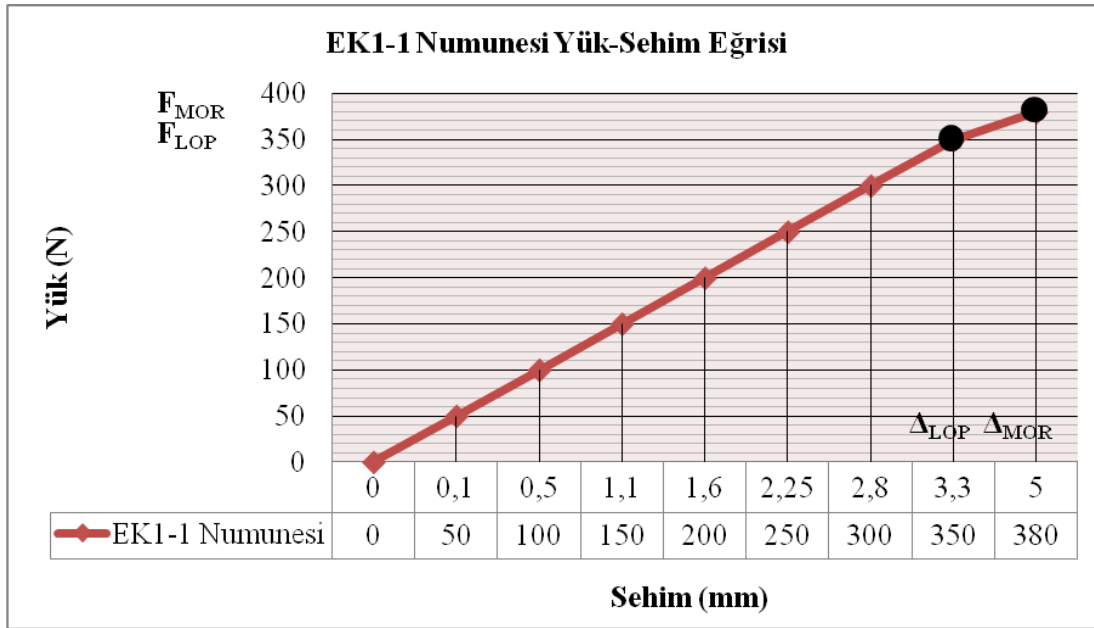
Şekil 4.54 : E2-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



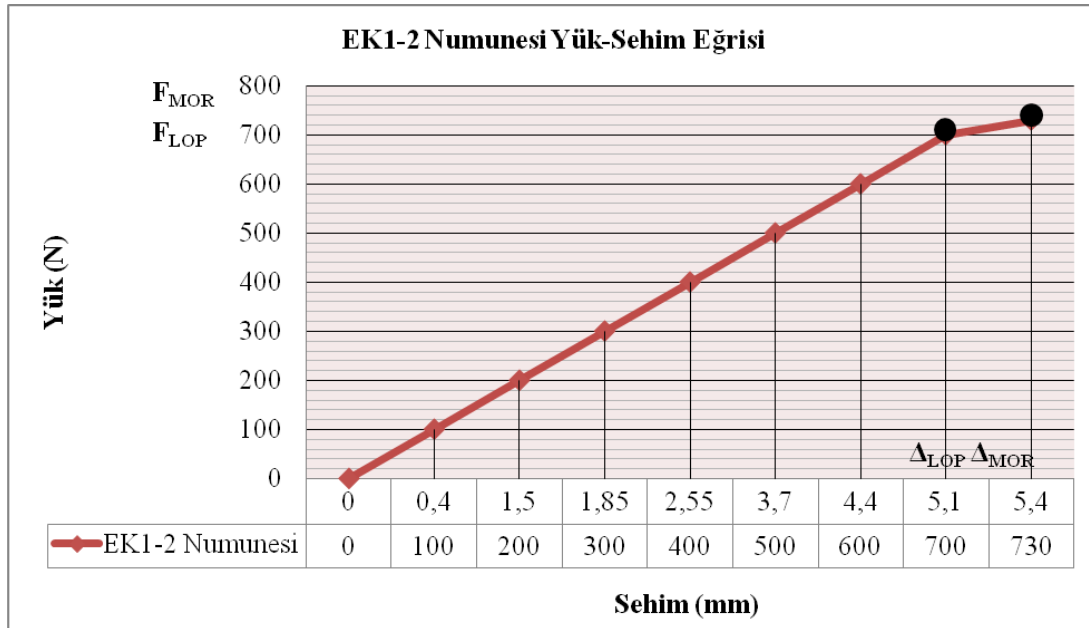
Şekil 4.55 : E3-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



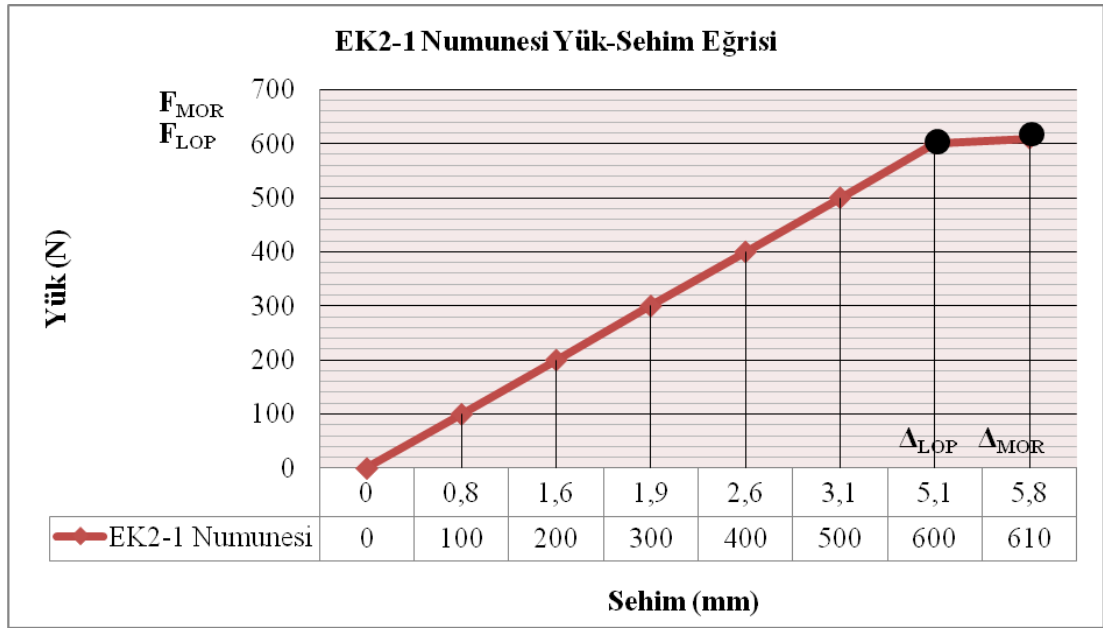
Şekil 4.56 : E4-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



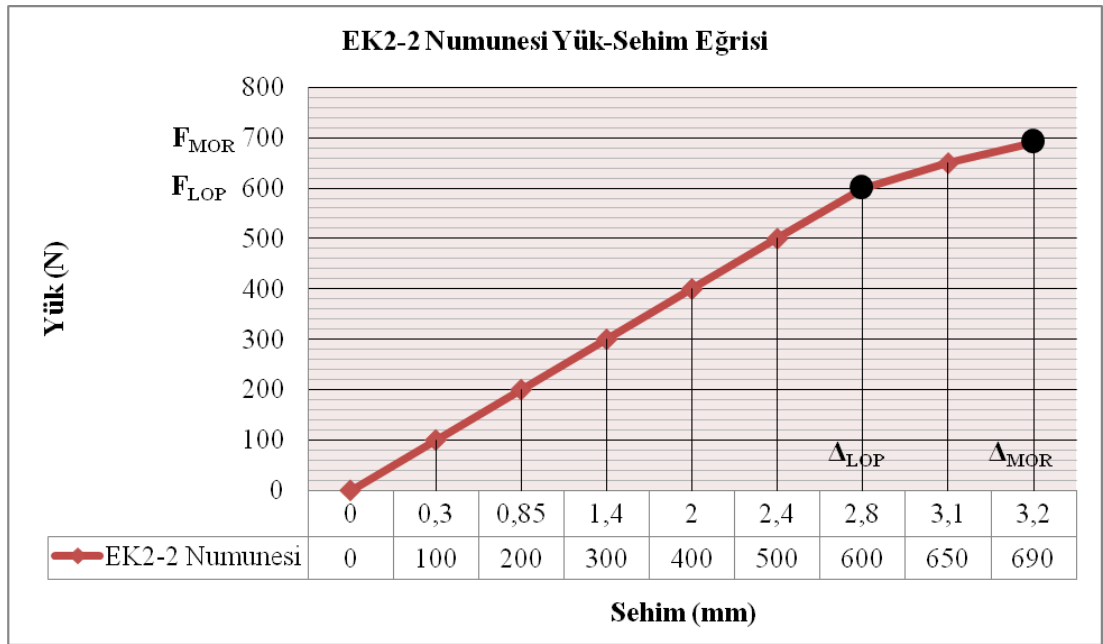
Şekil 4.57 : EK1-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



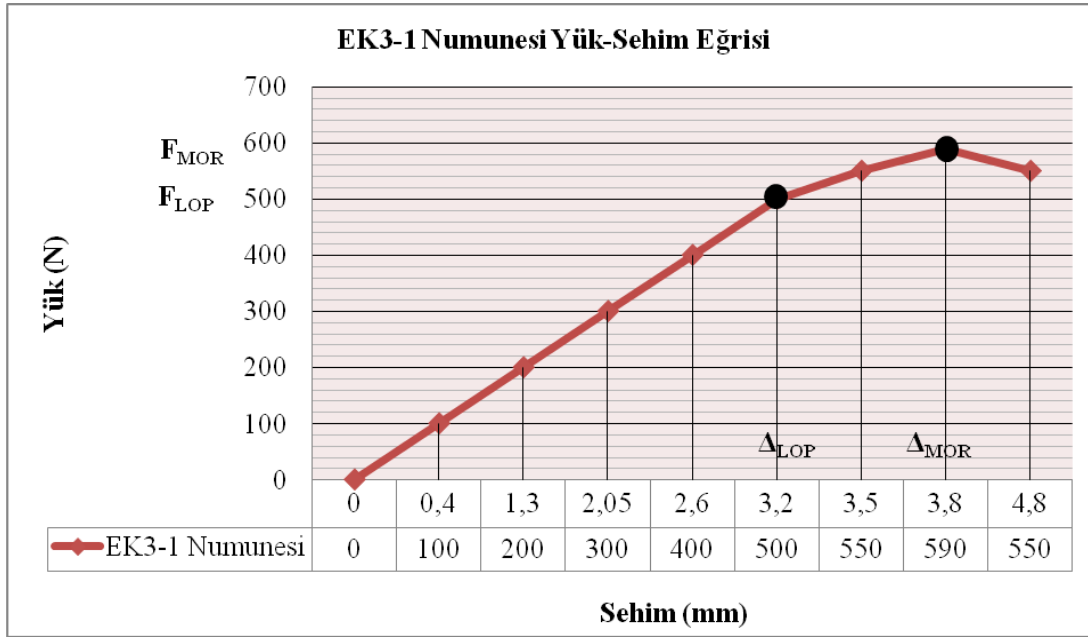
Şekil 4.58 : EK1-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



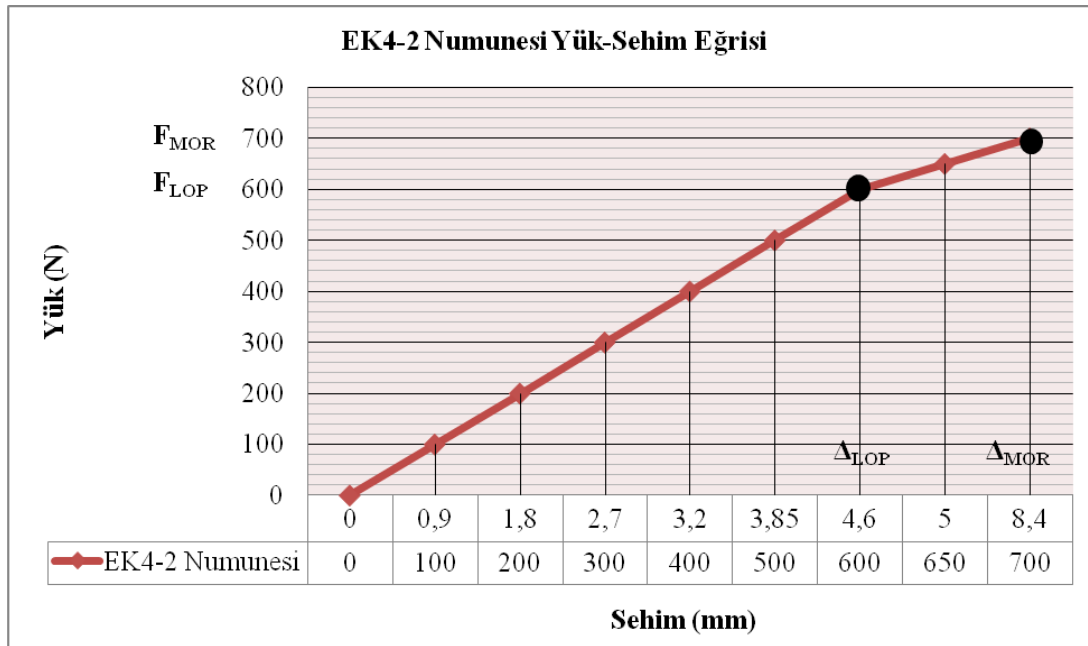
Şekil 4.59 : EK2-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



Şekil 4.60 : EK2-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



Şekil 4.61 : EK3-1 numunesi yük-sehim eğrisi.



Şekil 4.62 : EK4-2 numunesi yük-sehim eğrisi.

Don tesirlerine dayanıklılık deneyi numuneleriyle eğilme deneyi

TS 699 standardına göre yapılmış olan tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyinde kullanılan CTÇ/GRC numunelerine ve normal ortam koşullarında bekletilen, aynı üretim tarihli kontrol numunelerine eğilme deneyi uygulanmıştır.

Deney düzeneğinin oluşturulmasında, mesnetler arası mesafesi 18,8 cm olan bir eğilme deneyi cihazı, kırılma anındaki deformasyonu belirlemek üzere ekstansometre, dört noktadan yüklemeyi sağlamak üzere numune üzerine oturan ve ayaklar arası mesafesi 6,3 cm olan metal bir parça kullanılmıştır.

Deneye başlamadan önce, tekrarlı donma-çözülme işlemine maruz kalmış numunelerin ve kontrol numunelerinin boyutları ölçülmüştür (Çizelge 4.21, 4.22).

Çizelge 4.21 : Donma-çözülme işlemine maruz kalmış numunelerin boyutları.

Numuneler	Numune Boyutları		
	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
DÇ-Eski-1	223,33	50,28	12,49
DÇ-Eski-2	222,57	49,87	12,66
DÇ-Eski-3	223,53	48,93	11,96
DÇ-Eski-4	221,84	50,63	12,52
DÇ-Yeni-1	226,58	50,20	10,22
DÇ-Yeni-2	226,18	49,63	10,02
DÇ-Yeni-3	227,24	51,00	9,91
DÇ-Yeni-4	226,95	50,84	9,81

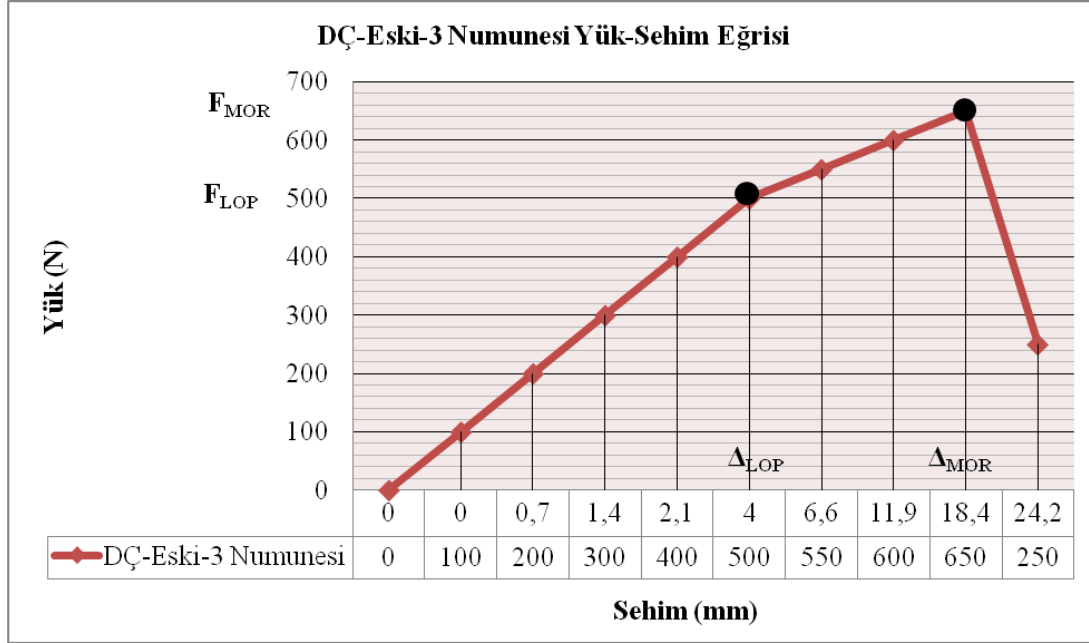
Çizelge 4.22 : Normal ortam koşullarında kontrol numunelerinin boyutları.

Numuneler	Numune Boyutları		
	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
Kontrol-Eski-1	221,83	51,12	11,91
Kontrol-Eski-2	221,91	51,11	11,58
Kontrol-Eski-3	221,66	50,34	11,93
Kontrol-Eski-4	223,36	49,43	11,52
Kontrol-Yeni-1	228,02	51,06	9,19
Kontrol-Yeni-2	226,87	50,09	9,86
Kontrol-Yeni-3	228,49	51,34	9,79
Kontrol-Yeni-4	228,05	50,52	9,76

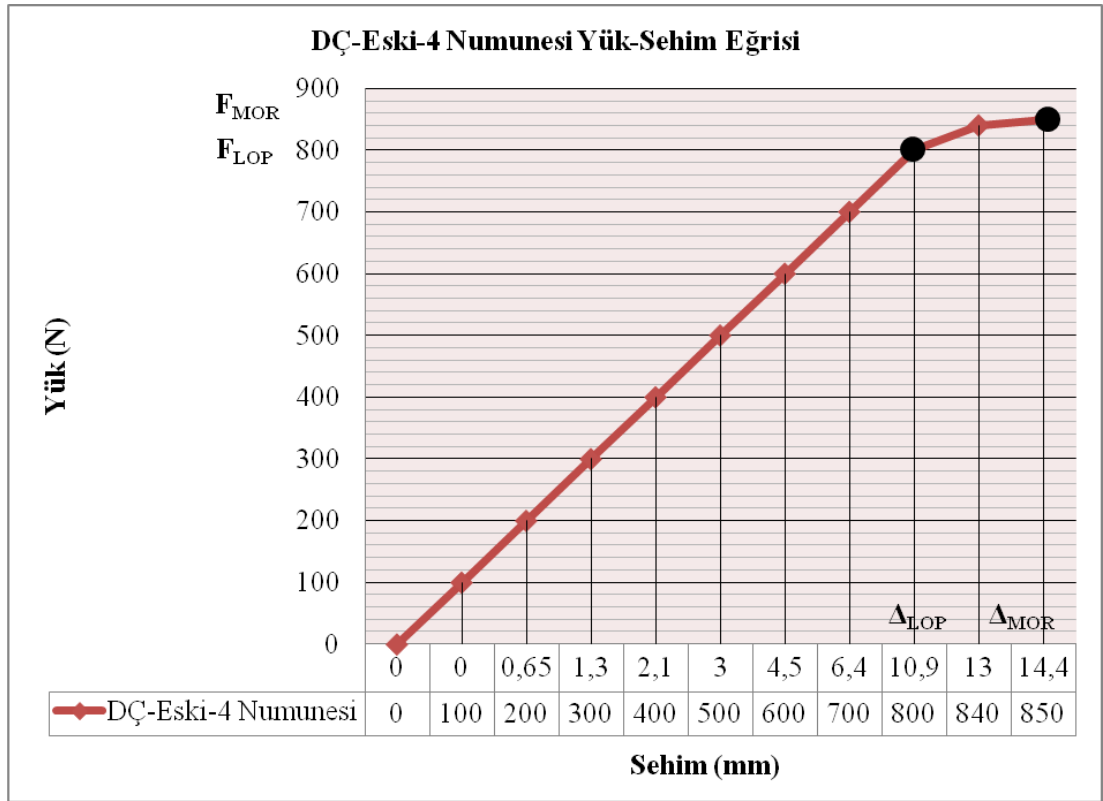
Numuneler, düzgün yüzeyler mesnetler üzerine gelecek şekilde deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Bu şekilde, uygulanan yükün eşit dağılması sağlanmıştır.

Deney sırasında, deney cihazında okunan yük miktarına bağlı sehim miktarı ekstansometre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her bir numunenin kırılma anındaki yük ve sehim değerleri not edilmiştir.

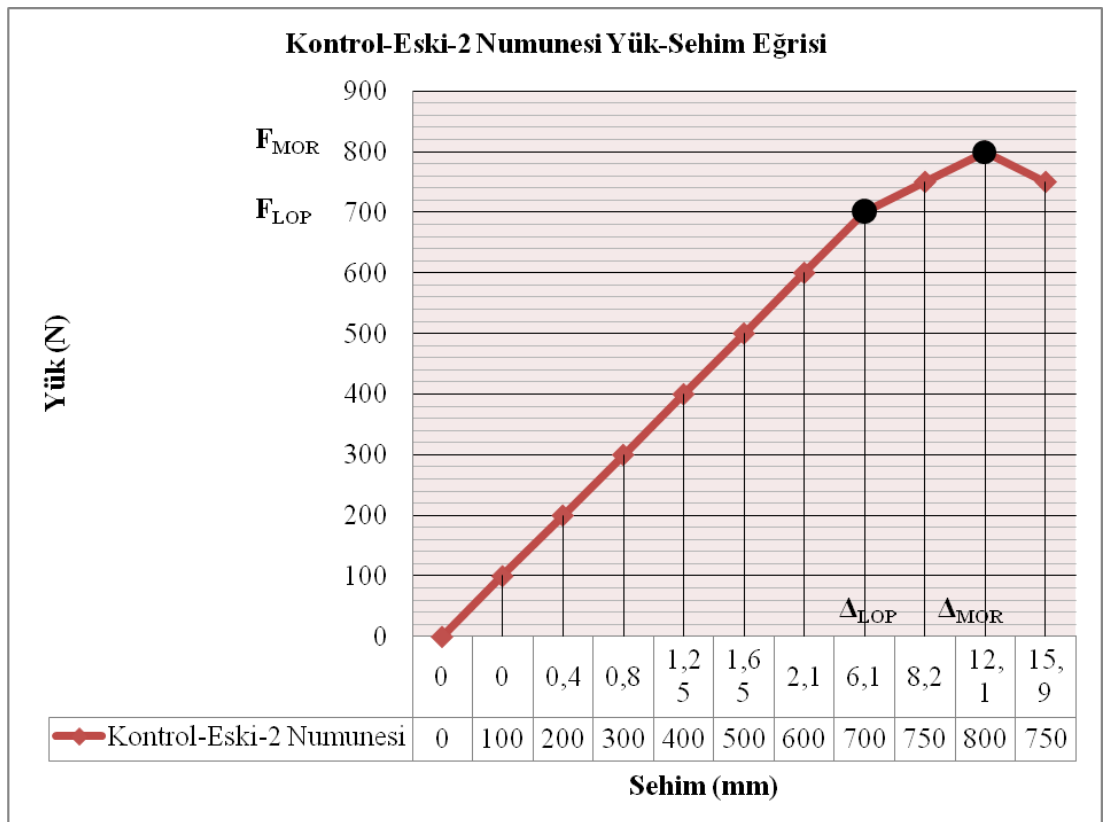
Deney parçalarının mekanik davranışlarını karşılaştırmak üzere her bir numune için yük-sehim grafikleri hazırlanmıştır. Bu grafiklerden faydalanarak, numunelerin deformasyon (ϵ_{LOP} ve ϵ_{MOR}) ve gerilme değerleri (σ_{LOP} ve σ_{MOR}) belirlenmiştir.



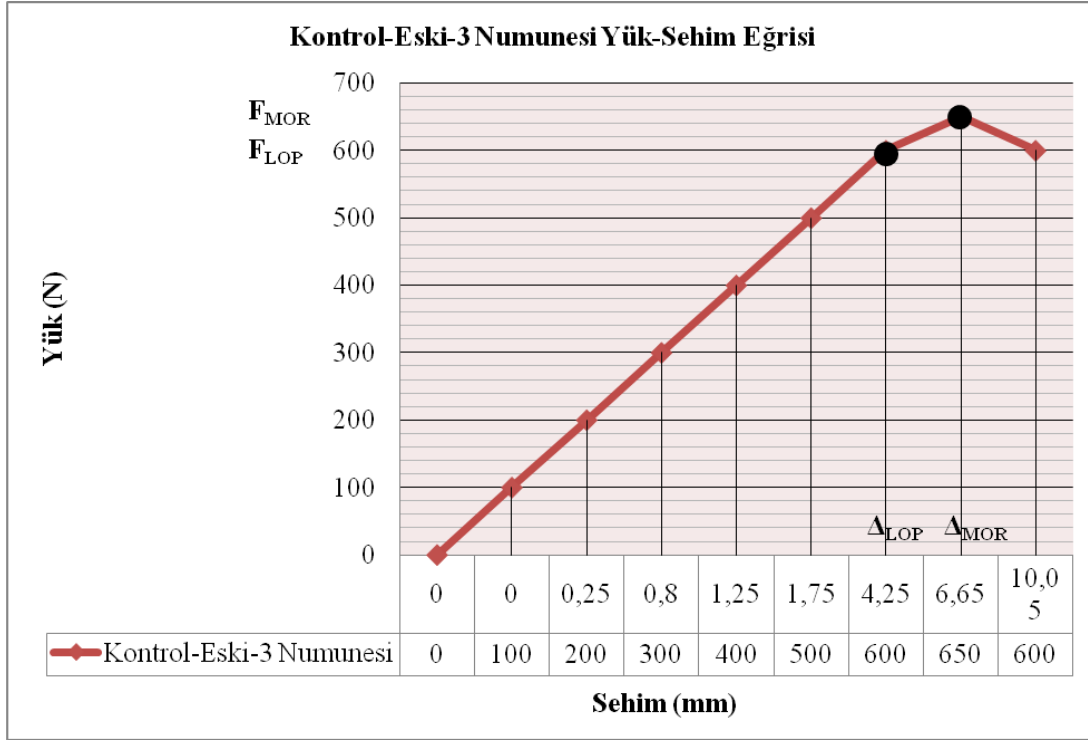
Şekil 4.63 : DÇ-Eski-3 numunesi yük-sehim eğrisi.



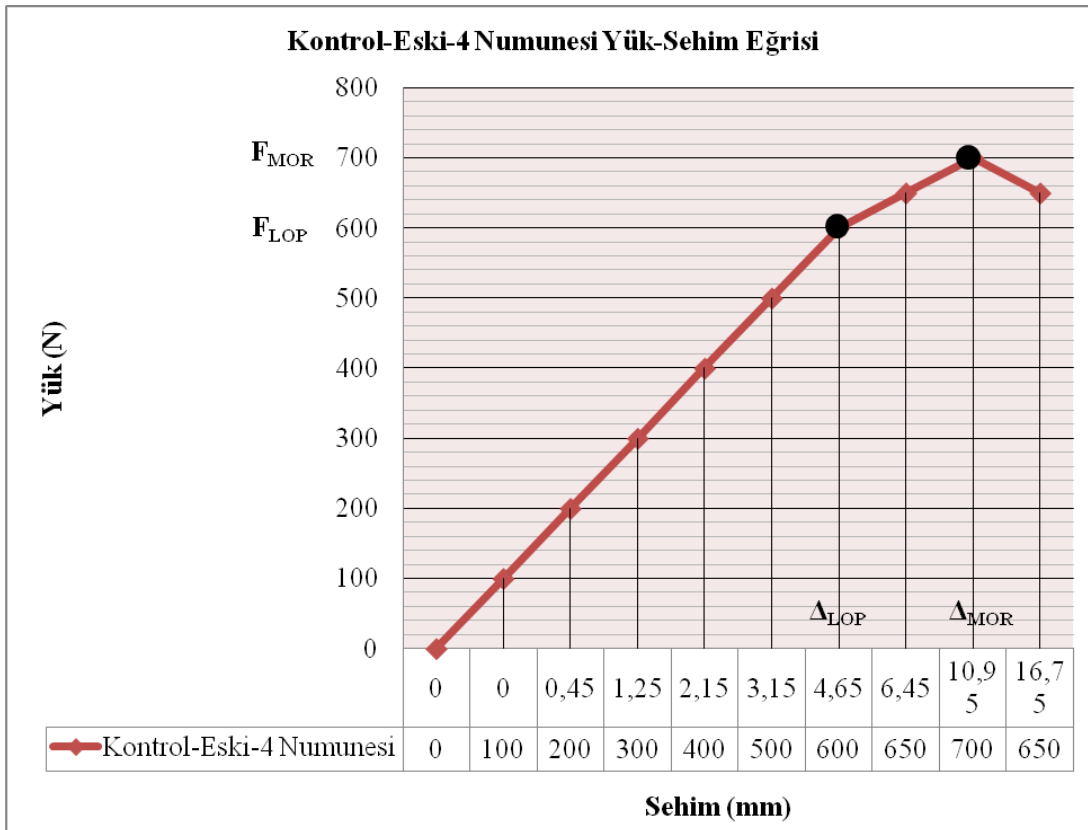
Şekil 4.64 : DÇ-Eski-4 numunesi yük-sehim eğrisi.



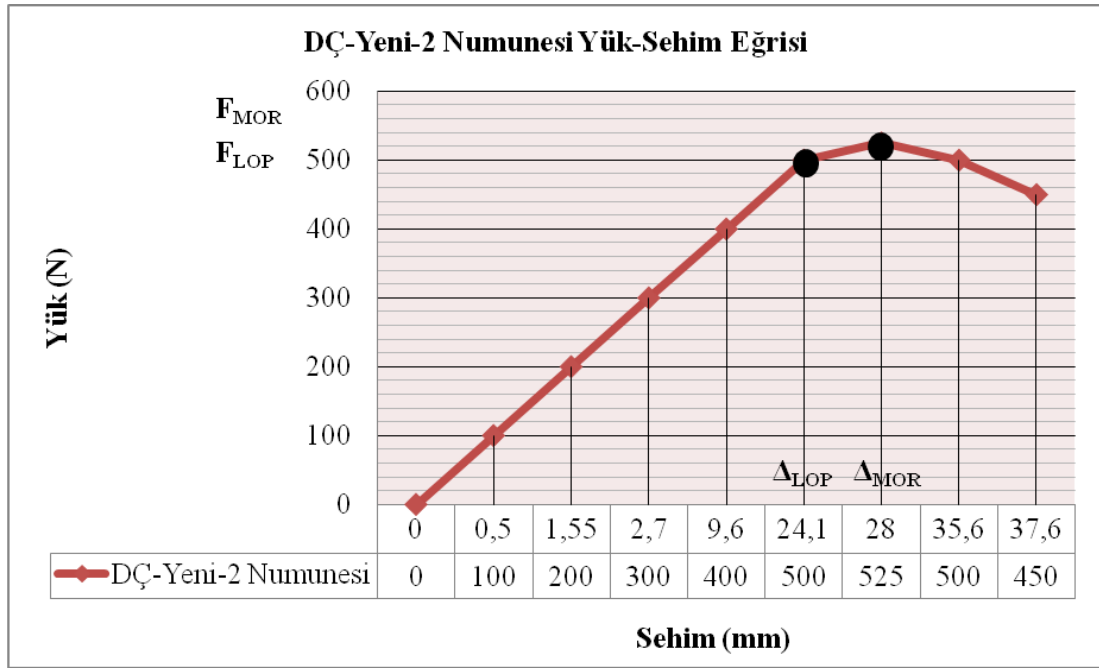
Şekil 4.65 : Kontrol-Eski-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



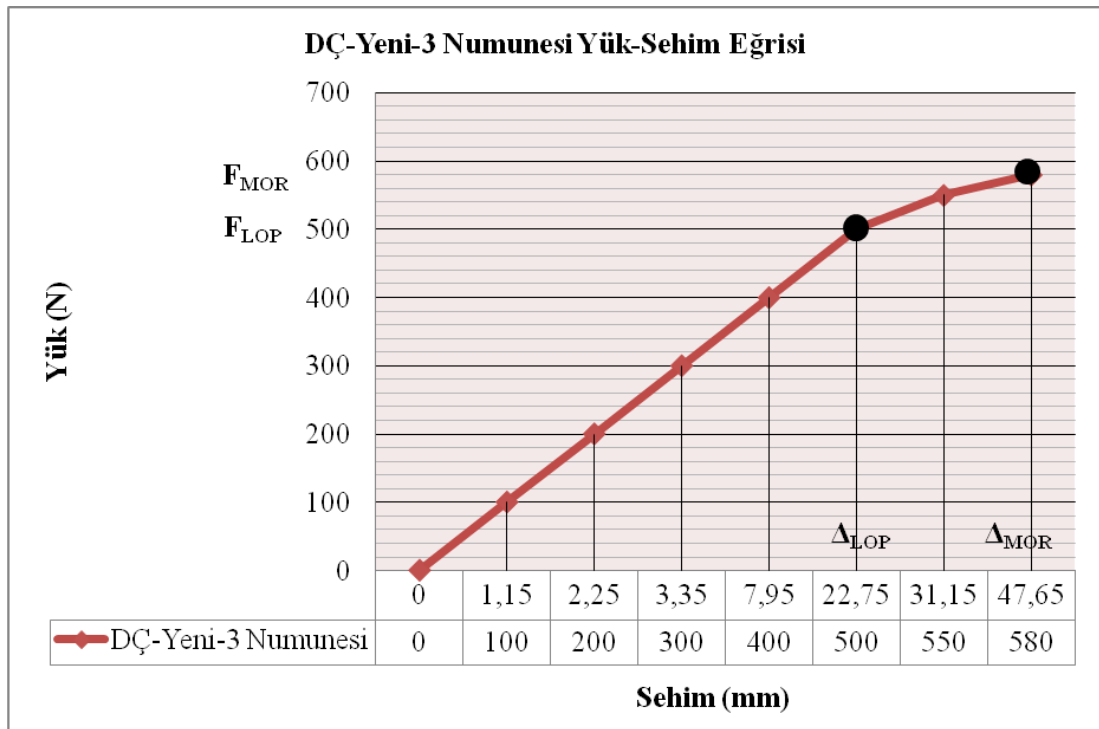
Şekil 4.66 : Kontrol-Eski-3 numunesi yük-sehim eğrisi.



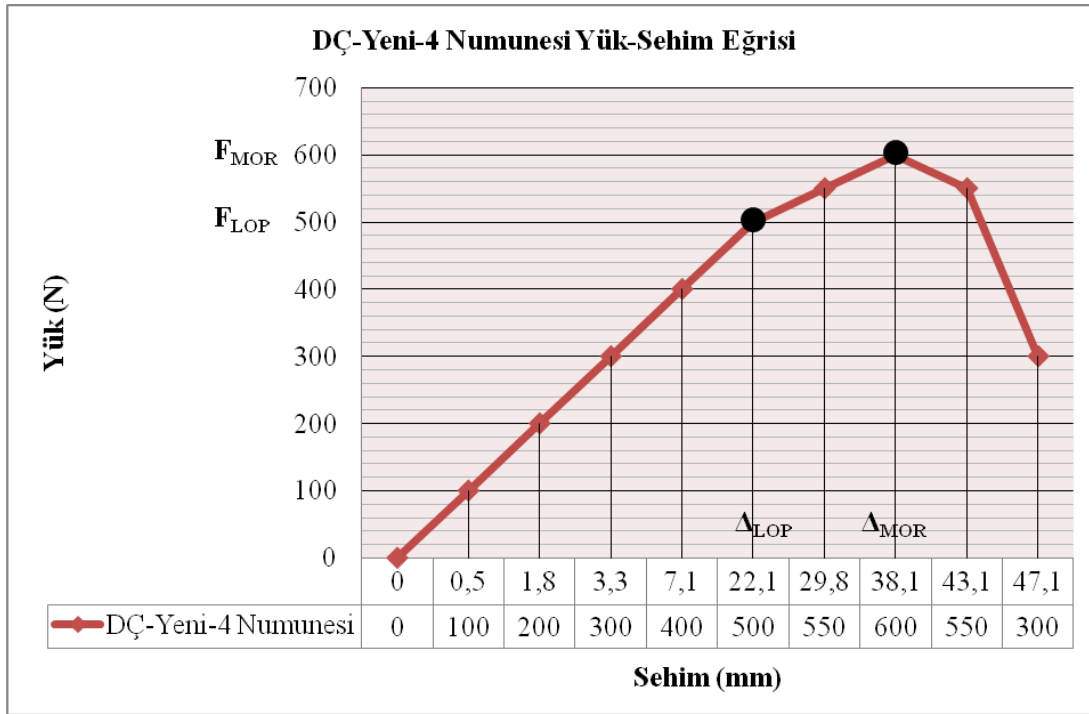
Şekil 4.67 : Kontrol-Eski-4 numunesi yük-sehim eğrisi.



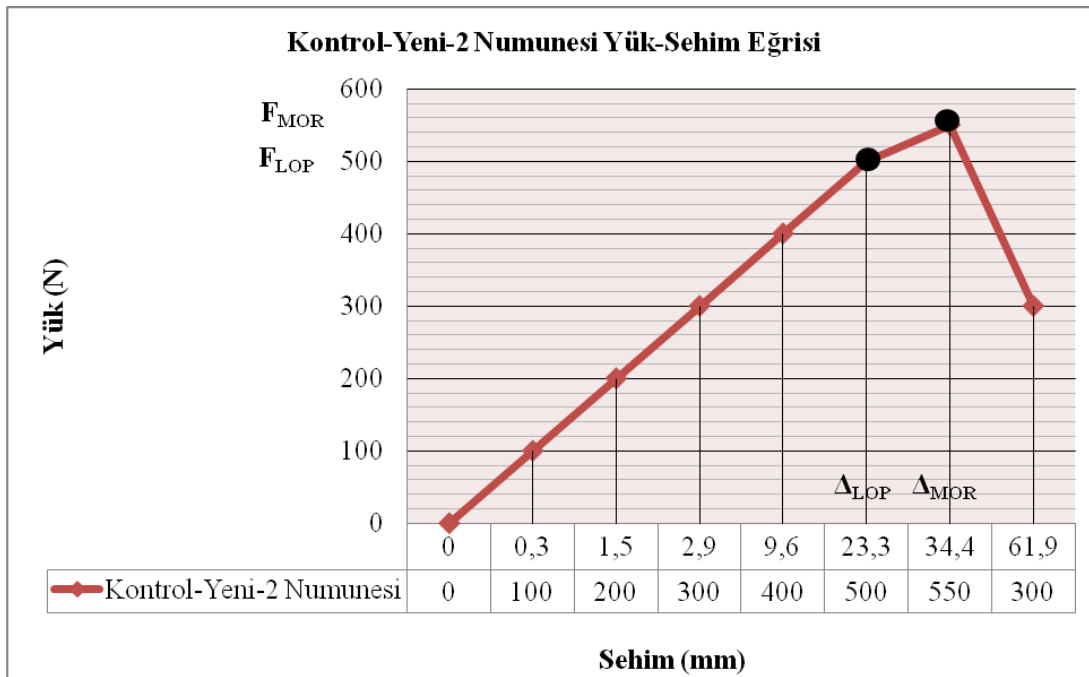
Şekil 4.68 : DÇ-Yeni-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



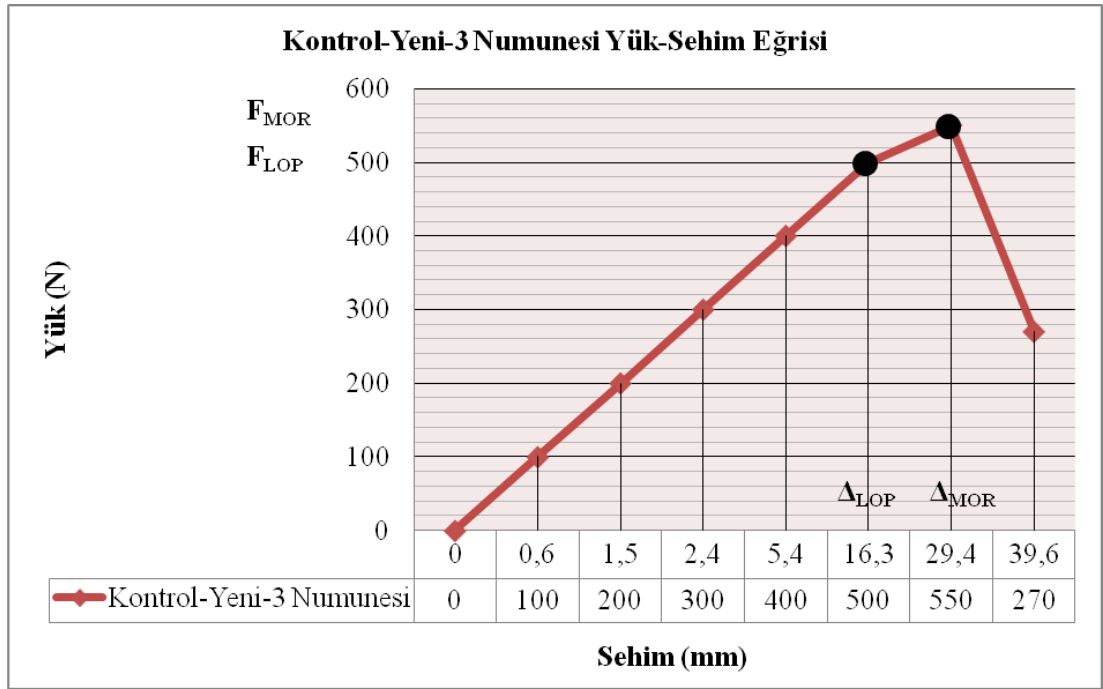
Şekil 4.69 : DÇ-Yeni-3 numunesi yük-sehim eğrisi.



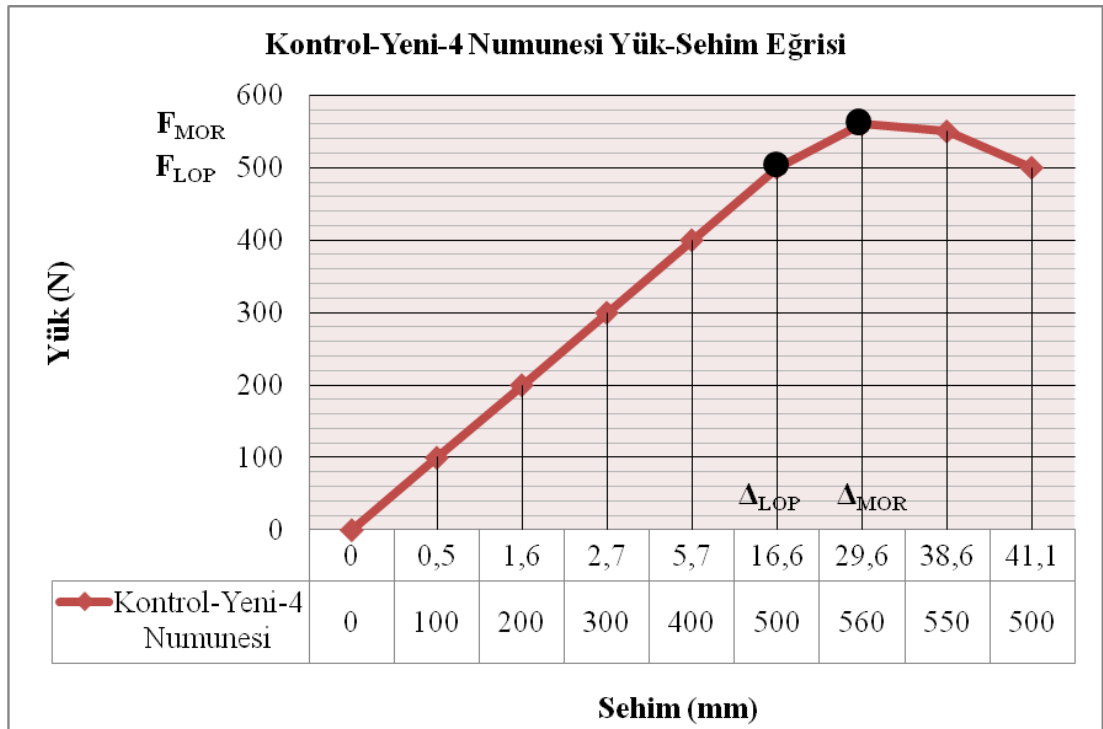
Şekil 4.70 : DC-Yeni-4 numunesi yük-sehim eğrisi.



Şekil 4.71 : Kontrol-Yeni-2 numunesi yük-sehim eğrisi.



Şekil 4.72 : Kontrol-Yeni-3 numunesi yük-sehim eğrisi.



Şekil 4.73 : Kontrol-Yeni-4 numunesi yük-sehim eğrisi.

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneyisel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla sonuçların çizelgeler haline getirilmesi yöntemi kullanılmış, ihtiyaç duyulan yerlerde ayrıca grafik anlatımdan da faydalanılmıştır.

5.1 Deneylerin Değerlendirilmesi

5.1.1 Fiziksel deneylerin değerlendirilmesi

Fiziksel deneyler kapsamında yapılan su emme ve kuru yoğunluk tayini, su ve buhar geçirimsizliği tayini deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirmesi aşağıda görülmektedir.

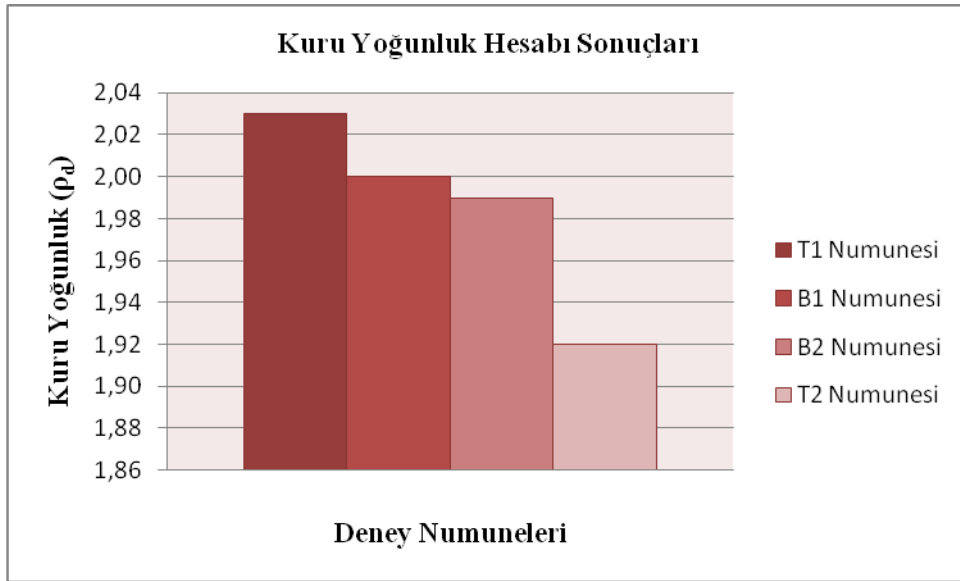
5.1.1.1 Su emme ve kuru yoğunluk tayini deneyinin değerlendirilmesi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) numunelerinin 24 saat boyunca su dolu kapta bekletilmesinin ardından yapılan ölçüm ve hesaplar sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Deney parçalarının su emme ve kuru yoğunluk değerleri.

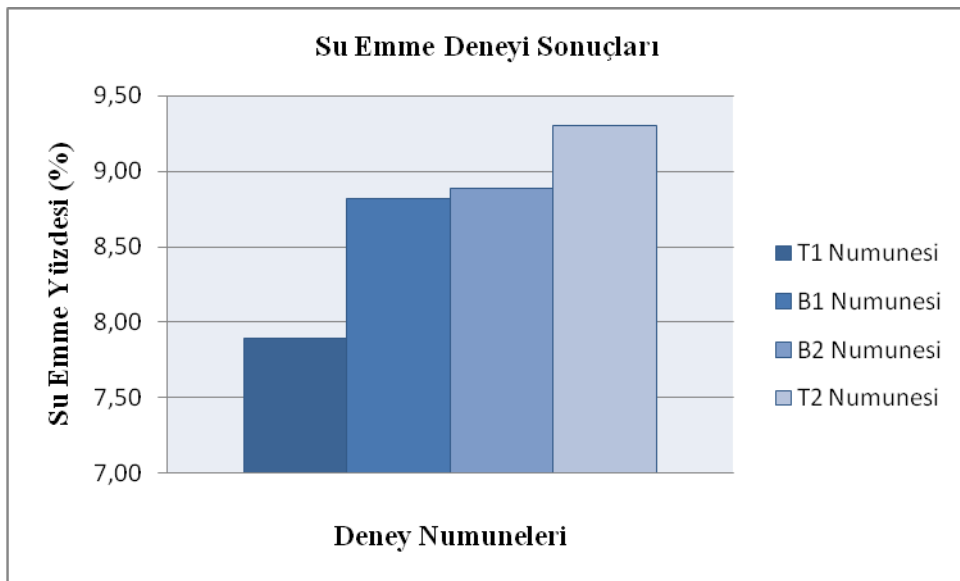
Numuneler	Deney Sonuçları	
	Su Emme (%)	Kuru Yoğunluk (ρ_d)
T1	7,89	2,03
B1	8,82	2,00
B2	8,89	1,99
T2	9,30	1,92

Kuru kütle değerlerinin, hacim değerlerine bölünmesiyle hesaplanan kuru yoğunluk değerleri Şekil 5.1’de gösterildiği gibi numuneler arasında değişiklik göstermektedir.



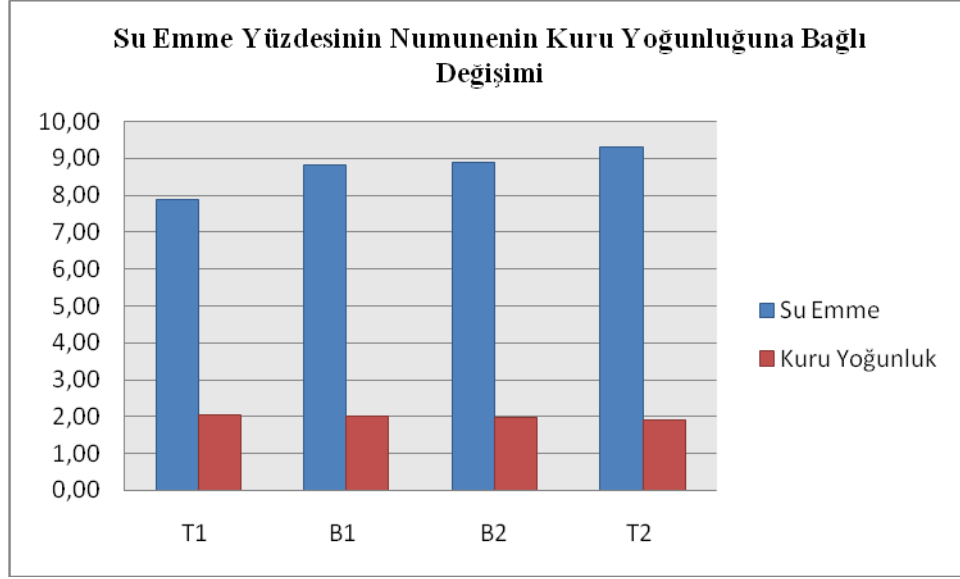
Şekil 5.1 : Deney numunelerinin kuru yoğunluk değerleri.

Deney sonuçlarına göre hesaplanan su emme yüzdeleri ise aşağıdaki gibidir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : Deney numunelerinin su emme değerleri.

Yukarıdaki grafikler birleştirildiğinde, numunelerin kuru yoğunluk değerleriyle su emme yüzdelerinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Kuru yoğunluk değeri daha az olan numunelerin su emme yüzdelerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Kuru yoğunluğa bağlı su emme yüzdesinin değişimi.

Deney sonuçları cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) numunelerinin bileşim özelliklerine (kum granülometrisi, polimer içeriği vb.) ve işçiliğe (sıkıştırma) bağlıdır. Numunelerin tamamı aynı cephe panelinden kesildiği için kum granülometrisi, polimer içeriği gibi özellikleri aynıdır. Ancak işçilikten kaynaklanan sıkıştırma farklılıkları nedeniyle bir cephe panelinin her noktasındaki kuru yoğunluk değerinin aynı olmadığı, kendi içerisinde farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Boşluk yapısının homojen olmaması beraberinde panelin farklı bölgelerindeki su emme yüzdelерinin de değişmesi sonucunu getirmiştir.

5.1.1.2 Boşluk yapısı ve geçirimlilik deneyinin değerlendirilmesi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) numunelerinin boşluk yapısının geçirimlilik özelliklerini belirlemek üzere yapılan su geçirimliliği ve buhar geçirimliliği deneylerinin değerlendirmeleri aşağıdaki gibidir.

Su geçirimliliği deneyinin değerlendirilmesi

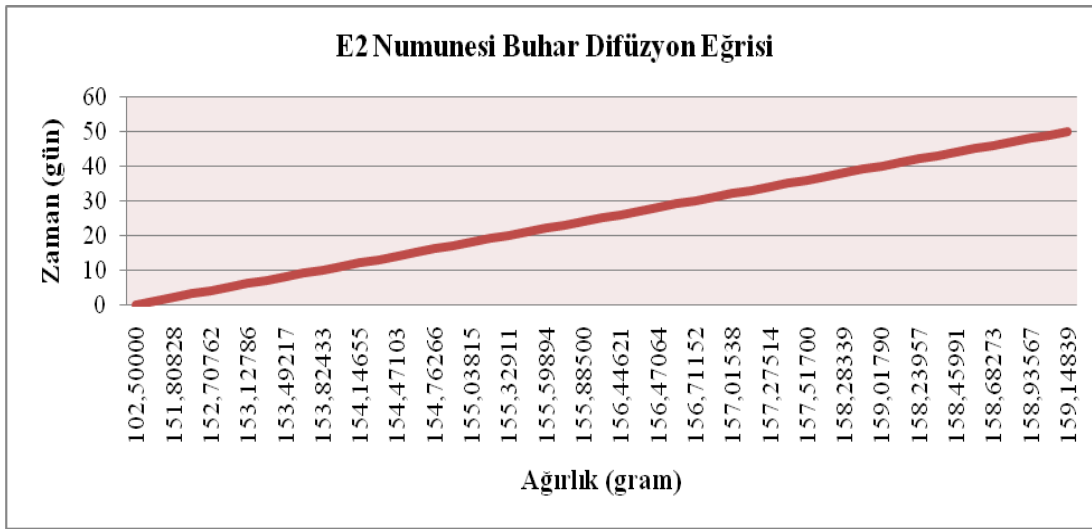
Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) numunelerinin su geçirimliliğini tayin etmek amacıyla yapılan çalışmada, kullanılan numunelerin her ikisinde de bir yüzeyden diğer yüzeye su geçişi olmadığı görülmüştür. Bu durum, malzemenin cephe paneli üretiminde kullanılmaya uygunluğunu göstermektedir.

Ayrıca, 12 yıl boyunca doğal ortam şartlarına maruz kalıp sökülen panelden kesilen numunede de aynı sonucun elde edilmiş olması, malzemenin su geçirimsizlik özelliğini zamanla kaybetmediğini kanıtlamaktadır.

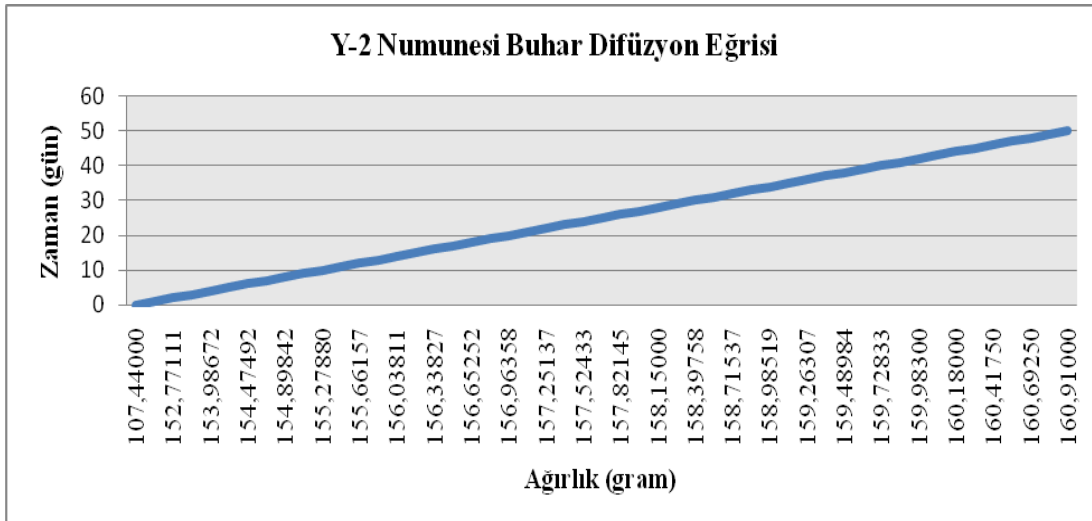
Buhar geçirirnililiği deneyinin değerlendirilmesi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin buhar geçirirnililiğini tayin etme amacıyla, ortalama %90 nem ve $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yapılan deneyde kullanılan her iki numunenin de bir yüzeyinden diğer yüzeyine buhar geçişine izin verdiği belirlenmiştir.

Hazırlanan deney düzeneklerinin buhar geçirirnililiğine bağlı ağırlıklarının arttığı, dolayısıyla CTÇ/GRC bileşimindeki malzemenin buhar geçişine izin verdiği şekil 5.4 ve şekil 5.5'te görölmektedir. Eğrilerin doğrusal olması düzenli buhar geçişi olduğunu kanıtlamaktadır.



şekil 5.4 : E2 numunesi buhar difüzyon eğrisi.



şekil 5.5 : Y2 numunesi buhar difüzyon eğrisi.

Deney parçalarından E2 numunesinin su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) 71, Y2 deney numunesinin su buharı direnç faktörü (μ) ise 56,80 olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca, 12 yıl boyunca doğal ortam şartlarına maruz kalıp sökülen panelden kesilen numuneyle yeni üretilen panelden elde edilen numunenin buhar difüzyon eğrilerinin örtüşmesi, malzemenin buhar geçirimsizlik özelliğini zamanla kaybetmediğini kanıtlamaktadır.

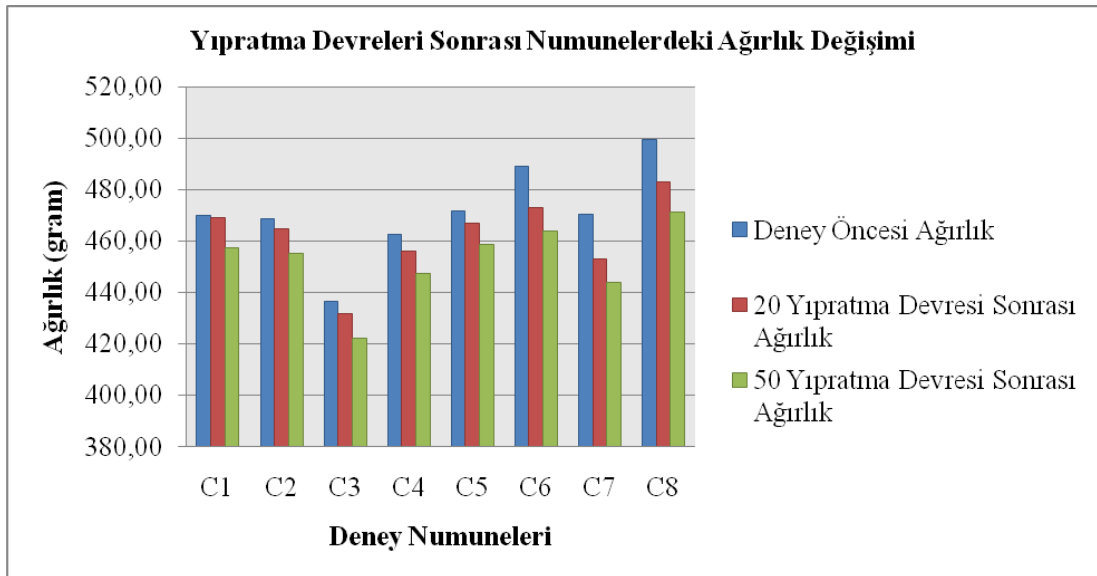
5.1.2 Durabilite deneylerinin değerlendirilmesi

Durabilite deneyleri kapsamında yapılan tekrarlı hava şartlarında yıpranma, tabii don tesirlerine dayanıklılık ve rutubet nedeniyle en büyük boyutsal değişimlerin ölçülmesi deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirmesi aşağıda görülmektedir.

5.1.2.1 Tekrarlı hava şartlarında yıpranma tip deneyinin değerlendirilmesi

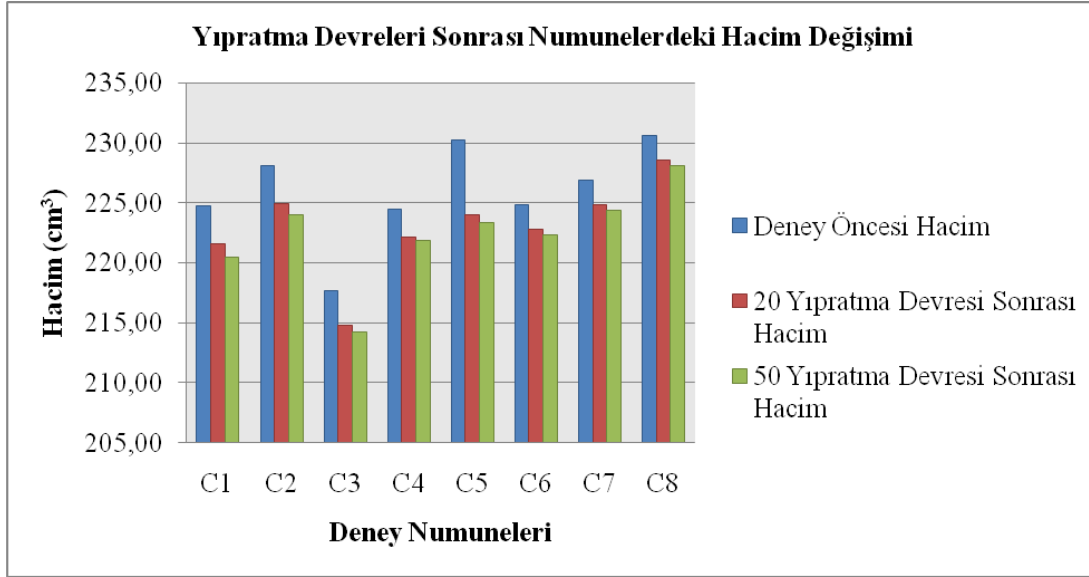
Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin dayanıklılığını değerlendirmek üzere yapılan ve tekrarlı ıslanma-kuruma devrelerinden oluşan deney kapsamında, deney öncesinde, 20 yıpratma devresi sonunda ve 50 yıpratma devresi sonunda alınan ölçüm sonuçları grafiklerle özetlenmiştir.

Toplam 50 yıpratma devresine maruz bırakılan “C” numunelerinde, 20 ve 50 devre sonunda alınan tartım değerlerinde, ilk ölçülen değerlere göre ağırlık kaybı gözlenmiştir (Şekil 5.6).



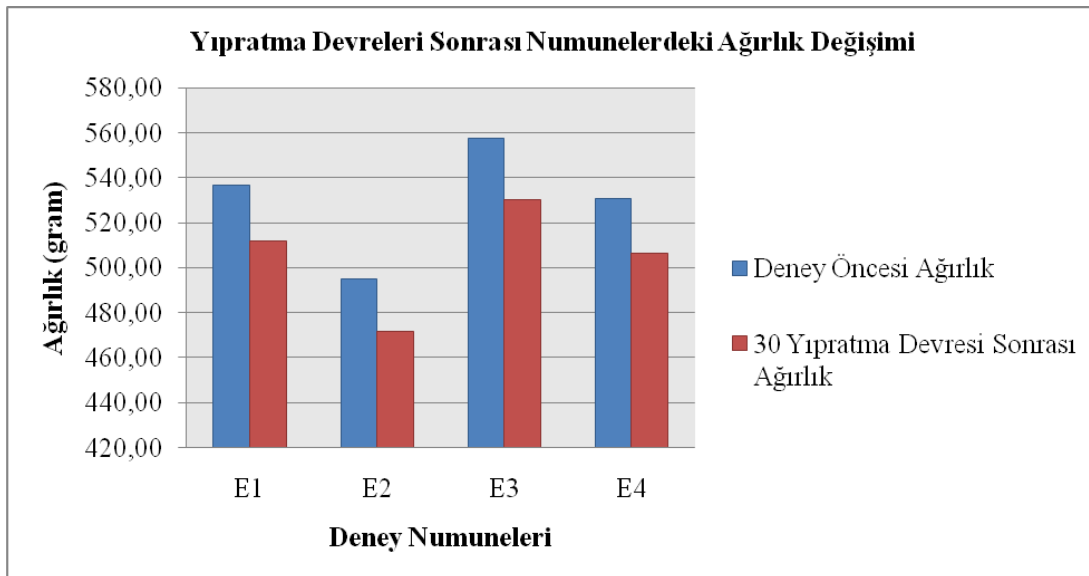
Şekil 5.6 : Yıpratma devreleri sonrası “C” numunelerindeki ağırlık değişimi.

Ayrıca, “C” numunelerinin, 20 ve 50 devre sonunda yapılan ölçümler sonucu hesaplanan hacim değerlerinde de, ilk ölçülen değerlere göre azalma olmuştur (Şekil 5.7).

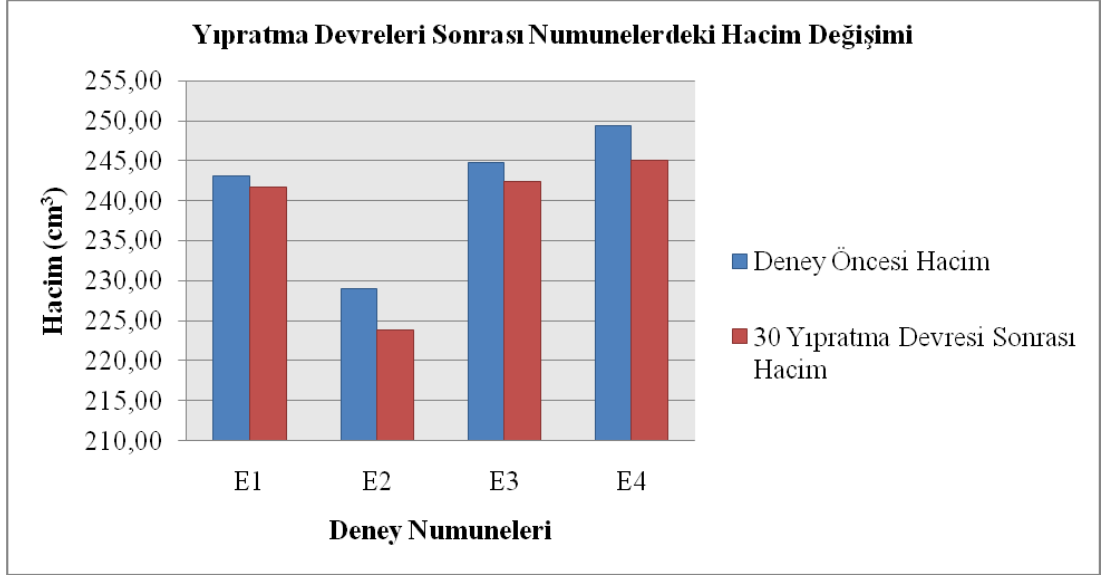


Şekil 5.7 : Yıpratma devreleri sonrası “C” numunelerindeki hacim değişimi.

Deneye ikinci aşamada, yani 20 yıpratma devresi tamamlandıktan sonra dahil edilen “E” numunelerinin de deney öncesinde ve 30 devre sonunda ölçüm ve tartım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen veriler sonucu oluşturulan grafiklerde numunelerin ağırlık ve hacim kayıpları görülmektedir (Şekil 5.8, Şekil 5.9).



Şekil 5.8 : Yıpratma devreleri sonrası “E” numunelerindeki ağırlık değişimi.

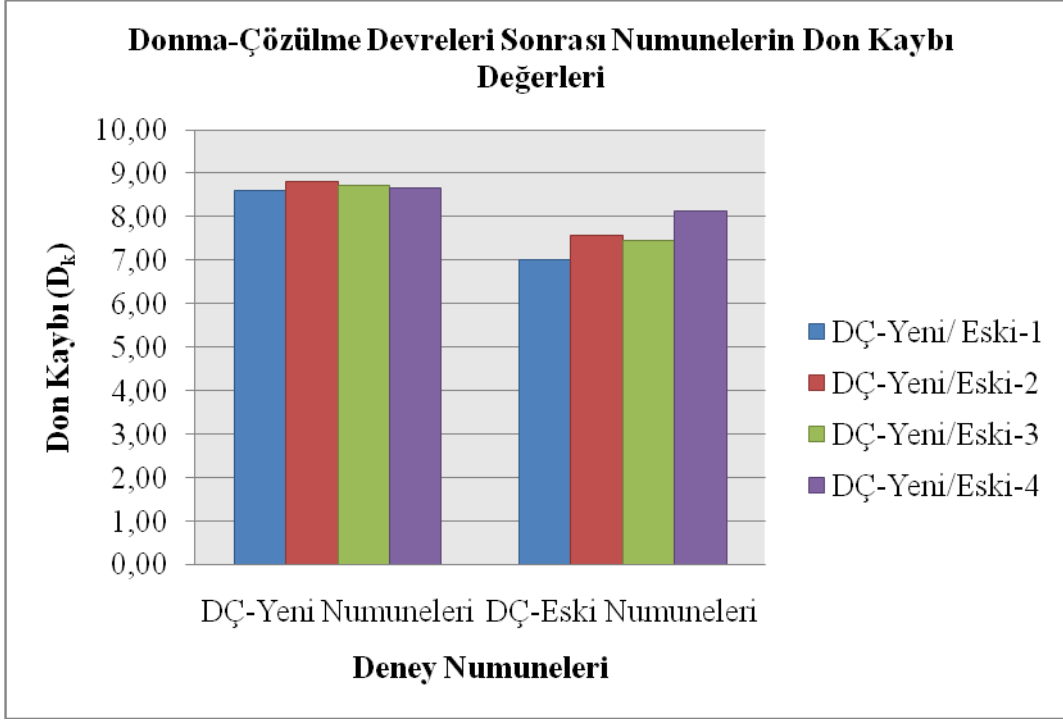


Şekil 5.9 : Yıpratma devreleri sonrası “E” numunelerindeki hacim değişimi.

Cam elyaf takviyeli betonun kullanım sırasında, tabii şartlarda maruz kalacağı, rutubet, kuruma, sıcaklık gibi temel yıpratma parametrelerini içeren bu deneysel çalışmada, deney için üretilen “C” kodlu malzemenin söz konusu yıpratma etkilerine bağlı olarak ağırlık ve hacim kaybına uğradığı görülmüştür. Belirli bir süre gerçek yıpratma şartlarına maruz kalmış olan “E” kodlu malzemeler de temsili deney şartlarından etkilenmiş, benzer sonuçlar elde edilmiştir.

5.1.2.2 Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyinin değerlendirilmesi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin donma-çözülme etkisine dayanıklılığını değerlendirmek üzere yapılan deneyde, don tesirleri sebebiyle deney parçalarından koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması (don kaybı) her bir numune için hesaplanmıştır. Yeni üretim numuneler ve doğal iklim şartlarına maruz kalmış eski numuneler kendi içlerinde karşılaştırıldığında birbirine yakın don kaybı değerleri elde edilmiştir. Ancak yeni ve eski numunelerin ortalama don kaybı değerleri mukayese edildiğinde, yeni üretim deney numunelerinde kütle azalmasının daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 : Numunelerin don kaybı değerlerinin karşılaştırılması.

5.1.2.3 Boyutsal değişimlerin değerlendirilmesi

Cam elyaf takviyeli beton (CTÇ/GRC) bileşimindeki malzemenin su içeriğindeki değişimlere bağlı olarak meydana gelen en büyük boyutsal değişimlerini (kalıcı hidrolik rötre ve geri dönüşümlü genleşme) belirlemek amacıyla yapılan deney sonucunda elde edilen;

- $\Delta l_s / l = 0,5$ mm/m değeri, kalıcı hidrolik rötrenin ifadesidir. Sonuç 3 değişkenin bir fonksiyonudur; GRC/CTÇ bileşeni, rutubet şartları ve malzemenin deneye tabi tutulduğu andaki yaşı.
- $\Delta l_e / l = 0,7$ mm/m değeri, geri dönüşümlü rötrenin ifadesidir. Sonuç 2 değişkenin bir fonksiyonudur; GRC/CTÇ bileşeni ve malzemenin deneye tabi tutulduğu andaki yaşı.
- $\Delta l_s / l$ ve $\Delta l_e / l$ sonuçları ayrı ayrı değerlendirilemez.
- $\Delta l_c / l = 1,2$ mm/m, en büyük boyutsal değişimin değeri, bir GRC/CTÇ bileşenli malzemenin içerdiği su miktarının bir fonksiyonudur ve $\Delta l_s / l$ ile $\Delta l_e / l$ değerlerinin toplamıdır.

5.1.3 Mekanik deneylerin değerlendirilmesi

Tekrarlı hava şartlarında yıpranma ve tabii don tesirlerine dayanıklılık deneylerine maruz kalan numunelerle ve bunların kontrol numuneleriyle yapılan eğilme deneyleri sonucunda elde edilen verilerin değerlendirmesi aşağıda görülmektedir.

5.1.3.1 Eğilmede deneyinin değerlendirilmesi

Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyine maruz kalan deney parçalarının, tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyine maruz kalan deney parçalarının ve kontrol numunelerinin mekanik davranışlarını karşılaştırmak üzere her bir numune için hesaplanan deformasyon (ϵ_{LOP} ve ϵ_{MOR}) ve gerilme değerleri (σ_{LOP} ve σ_{MOR}) aşağıdaki çizelgelerde görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi “C” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri.

Numune	Genişlik	Kalınlık	Mesnet Açıklığı	Orantısız Limitteki Şehim	Kırılma Anındaki Şehim	Orantısız Limitteki Yük	Kırılma Yüğü	Orantısız Limitteki Birim Deformasyon	Kırılma Anındaki Birim Deformasyon	Orantısız Limitteki Gerilme	Kırılma Anındaki Gerilme
	b (mm)	d (mm)	L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	Δ_{MOR} (mm)	F_{LOP} (N)	F_{MOR} (N)	ϵ_{LOP}	ϵ_{MOR}	σ_{LOP} (N/mm ²)	σ_{MOR} (N/mm ²)
C3-1	51,0	10,0	188	1,75	3,85	250	275	0,002	0,005	9,22	10,14
C4-2	52,1	10,6	188	2,40	2,60	400	420	0,003	0,004	12,86	13,50
C5-1	51,7	11,0	188	1,80	2,60	350	370	0,003	0,004	10,52	11,12
C5-2	51,7	11,0	188	1,80	2,80	250	260	0,003	0,004	7,51	7,81
C6-2	51,7	11,0	188	2,50	2,90	400	410	0,003	0,004	12,02	12,32
C8-1	50,9	11,4	188	3,00	3,80	450	460	0,005	0,006	12,79	13,07
Ortalama Değerler :				2,21	3,09	350,00	365,83	0,003	0,005	10,82	11,33

Çizelge 5.3 : Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi “K” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri.

Numune	Genişlik b (mm)	Kalınlık d (mm)	Mesnet Açıklığı L (mm)	Orantısız Limitteki Sehim Δ_{LOP} (mm)	Kırılma Anındaki Sehim Δ_{MOR} (mm)	Orantısız Limitteki Yük F_{LOP} (N)	Kırılma Yükü F_{MOR} (N)	Orantısız Limitteki Birim Deformasyon ϵ_{LOP}	Kırılma Anındaki Birim Deformasyon ϵ_{MOR}	Orantısız Limitteki Gerilme σ_{LOP} (N/mm ²)	Kırılma Anındaki Gerilme σ_{MOR} (N/mm ²)
K1-2	52,3	12,4	188	17,20	21,30	450	470	0,028	0,035	10,52	10,99
K2-2	52,2	11,8	188	10,90	12,40	580	680	0,017	0,019	15,00	17,59
K3-1	51,1	10,7	188	1,95	2,45	250	270	0,003	0,003	8,03	8,68
K3-2	51,1	10,7	188	4,80	6,80	250	260	0,007	0,010	8,03	8,35
K4-1	51,1	12,2	188	6,30	10,90	500	570	0,010	0,018	12,36	14,09
K4-2	51,1	12,2	188	6,20	9,20	500	590	0,010	0,015	12,36	14,58
K5-1	51,8	12,0	188	8,30	11,60	450	470	0,013	0,018	11,34	11,84
K7-2	51,4	12,2	188	14,50	19,50	700	730	0,023	0,032	17,20	17,94
K8-2	52,0	12,1	188	10,00	12,70	700	770	0,016	0,020	17,28	13,07
Ortalama Değerler :				8,91	11,87	486,67	534,44	0,014	0,019	12,46	13,01

Çizelge 5.4 : Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi “E” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri.

Numune	Genişlik	Kalınlık	Mesnet Açıklığı	Orantıs al Limitteki Sehim	Kırılma Anındaki Sehim	Orantıs al Limitteki Yük	Kırılma Yükü	Orantıs al Limitteki Birim Deformasyon	Kırılma Anındaki Birim Deformasyon	Orantıs al Limitteki Gerilme	Kırılma Anındaki Gerilme
	b (mm)	d (mm)	L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	Δ_{MOR} (mm)	F_{LOP} (N)	F_{MOR} (N)	ϵ_{LOP}	ϵ_{MOR}	σ_{LOP} (N/mm ²)	σ_{MOR} (N/mm ²)
E1-1	51,7	11,7	188	2,70	3,30	300	320	0,004	0,005	7,97	8,50
E2-2	48,4	11,5	188	2,15	2,55	550	590	0,003	0,004	16,15	17,33
E3-2	49,3	12,2	188	3,45	4,05	550	580	0,006	0,007	14,09	14,86
E4-2	51,1	11,9	188	4,85	5,05	550	580	0,008	0,008	14,29	15,07
Ortalama Değerler :				3,29	3,74	487,50	517,50	0,005	0,006	13,13	13,94

Çizelge 5.5 : Tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi “EK” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri.

Numune	Genişlik b (mm)	Kalınlık d (mm)	Mesnet Açıklığı L (mm)	Orantısıl Limitteki Sehim Δ_{LOP} (mm)	Kırılma Anındaki Sehim Δ_{MOR} (mm)	Orantısıl Limitteki Yük F_{LOP} (N)	Kırılma Yükü F_{MOR} (N)	Orantısıl Limitteki Birim Deformasyon ϵ_{LOP}	Kırılma Anındaki Birim Deformasyon ϵ_{MOR}	Orantısıl Limitteki Gerilme σ_{LOP} (N/mm ²)	Kırılma Anındaki Gerilme σ_{MOR} (N/mm ²)
EK1-1	51,8	10,9	188	3,30	5,00	350	380	0,005	0,007	10,69	11,61
EK1-2	51,8	10,9	188	5,10	5,40	700	730	0,007	0,008	21,38	22,30
EK2-1	49,5	12,7	188	5,10	5,80	600	610	0,009	0,010	14,13	14,36
EK2-2	49,5	12,7	188	2,80	3,20	600	690	0,005	0,005	14,13	16,25
EK3-1	50,7	12,5	188	3,20	3,80	500	590	0,005	0,006	11,86	14,00
EK4-2	49,9	12,1	188	4,60	8,40	600	700	0,007	0,013	15,44	18,01
Ortalama Değerler :				4,02	5,27	558,33	616,67	0,006	0,008	14,61	16,09

Çizelge 5.6 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi “DÇ-Eski” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri.

Numune	Genişlik b (mm)	Kalınlık d (mm)	Mesnet Açıklığı L (mm)	Orantısıl Limitteki Sehim Δ_{LOP} (mm)	Kırılma Anındaki Sehim Δ_{MOR} (mm)	Orantısıl Limitteki Yük F_{LOP} (N)	Kırılma Yükü F_{MOR} (N)	Orantısıl Limitteki Birim Deformasyon ϵ_{LOP}	Kırılma Anındaki Birim Deformasyon ϵ_{MOR}	Orantısıl Limitteki Gerilme σ_{LOP} (N/mm ²)	Kırılma Anındaki Gerilme σ_{MOR} (N/mm ²)
DÇ- Eski-3	48,9	12,0	188	4,00	18,40	500	650	0,006	0,029	13,35	17,35
DÇ- Eski-4	50,6	12,5	188	10,90	14,40	800	850	0,018	0,024	19,02	20,21
Ortalama Değerler :				7,45	16,40	650,00	750,00	0,012	0,027	16,19	18,78

Çizelge 5.7 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi “Kontrol-Eski” numunelerinin eğilme deneyi sonucu deformasyon ve gerilme değerleri.

Numune	Genişlik b (mm)	Kalınlık d (mm)	Mesnet Açıklığı L (mm)	Orantısız Limitteki Sehim Δ_{LOP} (mm)	Kırılma Anındaki Sehim Δ_{MOR} (mm)	Orantısız Limitteki Yük F_{LOP} (N)	Kırılma Yükü F_{MOR} (N)	Orantısız Limitteki Birim Deformasyon ϵ_{LOP}	Kırılma Anındaki Birim Deformasyon ϵ_{MOR}	Orantısız Limitteki Gerilme σ_{LOP} (N/mm ²)	Kırılma Anındaki Gerilme σ_{MOR} (N/mm ²)
Kontrol- Eski-2	51,1	11,6	188	6,10	12,10	700	800	0,009	0,019	19,14	21,87
Kontrol- Eski-3	50,3	11,9	188	4,25	6,65	600	650	0,007	0,010	15,84	17,15
Kontrol- Eski-4	49,4	11,5	188	4,65	10,95	600	700	0,007	0,017	17,26	20,14
Ortalama Değerler :				5,00	9,90	633,33	716,67	0,008	0,015	17,41	19,72

Çizelge 5.8 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi “DÇ-Yeni” numunelerinin eğilme deneyi sonucu hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri.

Numune	Genişlik b (mm)	Kalınlık d (mm)	Mesnet Açıklığı L (mm)	Orantısals Limitteki Sehim Δ_{LOP} (mm)	Kırılma Anındaki Sehim Δ_{MOR} (mm)	Orantısals Limitteki Yük F_{LOP} (N)	Kırılma Yükü F_{MOR} (N)	Orantısals Limitteki Birim Deformasyon ϵ_{LOP}	Kırılma Anındaki Birim Deformasyon ϵ_{MOR}	Orantısals Limitteki Gerilme σ_{LOP} (N/mm ²)	Kırılma Anındaki Gerilme σ_{MOR} (N/mm ²)
DÇ- Yeni-2	49,6	10,0	188	24,10	28,00	500	525	0,032	0,037	18,95	19,90
DÇ- Yeni-3	51,0	9,9	188	22,75	47,65	500	580	0,030	0,063	18,80	21,81
DÇ- Yeni-4	50,8	9,8	188	22,10	38,10	500	600	0,029	0,050	19,27	23,12
Ortalama Değerler :				22,98	37,92	500,00	568,33	0,030	0,050	19,01	21,61

Çizelge 5.9 : Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyi “Kontrol-Yeni” numunelerinin eğilme deneyi sonucu deformasyon ve gerilme değerleri.

Numune	Genişlik b (mm)	Kalınlık d (mm)	Mesnet Açıklığı L (mm)	Orantısals Limitteki Sehim Δ_{LOP} (mm)	Kırılma Anındaki Sehim Δ_{MOR} (mm)	Orantısals Limitteki Yük F_{LOP} (N)	Kırılma Yükü F_{MOR} (N)	Orantısals Limitteki Birim Deformasyon ϵ_{LOP}	Kırılma Anındaki Birim Deformasyon ϵ_{MOR}	Orantısals Limitteki Gerilme σ_{LOP} (N/mm ²)	Kırılma Anındaki Gerilme σ_{MOR} (N/mm ²)
Kontrol-Yeni-2	50,1	9,9	188	23,30	34,40	500	550	0,031	0,045	19,14	21,06
Kontrol-Yeni-3	51,3	9,8	188	16,30	29,40	500	550	0,021	0,038	19,08	20,99
Kontrol-Yeni-4	50,5	9,8	188	16,60	29,60	500	560	0,022	0,038	19,38	21,71
Ortalama Değerler :				18,73	31,13	500,00	553,33	0,025	0,040	19,20	21,25

6. SONUÇLAR

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler literatür araştırması ile birlikte değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları aşağıdaki gibidir:

- TS EN 1170-6 standardına göre yapılan suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini deneyi sonucunda GRC'nin kuru yoğunluk değeri $1,98 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Elde edilen yoğunluk değeri, literatür araştırmasında belirlenen $1,9\text{-}2,1 \text{ kg/dm}^3$ aralığına uygundur. Püskürtme yöntemiyle üretilen GRC'nin %3-15 aralığında olması gereken su emme değeri ise bu çalışmada %8,72 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışmada elde edilen veriler GRC'nin kuru yoğunluk değeriyle su emme değerinin ters orantılı olduğunu göstermektedir. Kuru yoğunluk değeri azaldıkça su emme yüzdesi artmaktadır. İşçilikten kaynaklanan sıkıştırma farklılıkları nedeniyle, bir cephe panelinin her noktasındaki kuru yoğunluk değerinin aynı olmadığı, kendi içerisinde farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Aynı panel içerisindeki boşluk yapısının homojen olmaması, beraberinde panelin farklı bölgelerindeki su emme değerinin de değişmesi sonucunu getirmiştir.
- GRC'nin geçirimsizliğini tayin etme amacıyla yapılan su geçirimsizlik deneyinde, malzemenin arka yüzeyinde neme rastlanmamıştır. Bu sonuç, GRC'nin suya karşı yüksek dirence sahip bir cephe kaplama malzemesi olduğunu kanıtlamıştır. Farklı numuneler üzerinde yapılan deney sonucunda numune yaşının da GRC'nin su geçirgenliğini etkilemediği belirlenmiştir.
- GRC'nin su buharı geçirgenliğini belirleme amacıyla yapılan buhar difüzyon direnci deneyi sonucunda malzemenin iki yüzeyi arasında düzenli buhar geçişi olduğu görülmüştür. Deney için hazırlanan her iki düzeneğin de 48 günlük deney süresi sonunda tespit edilen ağırlık artışı %5 oranında olmuştur. Farklı yaşlardaki örneklerin aynı buhar difüzyon değerine sahip olması, GRC'nin buhar difüzyon değerinin yaşa bağlı olmadığını, zamanla artış veya azalma göstermeyip sabit kaldığını göstermektedir. Her iki numune için 56,80 ve 71

olarak elde edilen su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) değerleri, literatür incelemesinde bulunan $\mu=50-200$ aralığına uygundur.

- TS ENV 1170-8 standardına göre yapılan tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyi ile GRC'nin kullanım sırasında, tabii şartlarda karşılaşacağı, rutubet, kuruma, sıcaklık gibi temel yıpratma parametreleri örneklerle uygulanmıştır. Tekrarlı ıslanma-kuruma devreleri sonucunda malzemede ağırlık ve hacim kayıpları olduğu tespit edilmiştir. Yeni üretim numunelerdeki ağırlık kaybı, 20 devre sonunda %2 oranındayken, 50 devre sonunda ise %4'e çıkmıştır. Aynı numunelerde tespit edilen hacim kaybı 20 devre sonunda %1 oranında, 50 devre sonunda ise %2 oranında olmuştur. Islanma-kuruma devrelerinin devam etmesiyle birlikte numunelerin ağırlık ve hacim kayıpları artmıştır. Aynı deney, dış ortam koşullarına 12 yıl boyunca maruz kalmış numunelerle tekrar edildiğinde, 30 devre sonunda %5'lik ağırlık kaybı ve %1'lik hacim kaybı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, GRC'nin tekrarlı hava şartlarına bağlı ağırlık kaybının zamanla arttığını, hacimsel, dolayısıyla boyutsal kayıplarının ise önce artıp, belirli bir yaştan sonra azaldığını göstermektedir.
- TS 699 standardına göre yapılan tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyinde don tesirleri sebebiyle deney parçalarından koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması (don kaybı), yeni üretim numunelerde %8,70 oranında, 12 yıl boyunca doğal iklim şartlarına maruz kalmış eski numunelerde ise %7,54 oranında gerçekleşmiştir. Aynı sayıda donma-çözülme çevrimlerine maruz kalmış yeni ve eski numunelerin ortalama don kaybı değerleri mukayese edildiğinde, yeni üretim deney numunelerinde kütle azalmasının daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda, GRC'nin sıcaklık değişimlerine bağlı kütle kaybının, numunenin yaşının artmasıyla birlikte azaldığı, bunun da yaşla birlikte malzemenin mukavemetinin artmasına bağlı olduğu söylenebilir.
- GRC'ye uygulanan durabilite deneyleri karşılaştırıldığında, donma-çözülme çevrimlerine bağlı olarak malzemede meydana gelen kütle kaybının, ıslanma-kuruma çevrimleri sonucu meydana gelen kütle kaybına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, ıslanma-kuruma çevrimlerinin malzemede kütleme etkisi yapmasına bağlanabilir.

- TS EN 1170-7 standardına göre yapılan rutubet nedeniyle en büyük boyutsal değişimlerin ölçülmesi deneyinde GRC'nin kalıcı hidrolik rötre değeri 0,5 mm/m, geri dönüşümlü rötre değeri ise 0,7 mm/m olarak tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlarda malzemenin su içeriğinin etkili olduğu düşünülmektedir.
- Mekanik deney sonuçları incelendiğinde, tekrarlı hava şartlarında yıpranma deneyinin yeni üretim GRC numunelerinin eğilme dayanımını öncelikle azalttığı tespit edilmiştir. Kontrol numunelerinin orantısal limitteki ve kırılma anındaki deformasyon ve gerilme değerlerinin, 50 ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılmış deney numunelerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak, aynı çevrimlere maruz kalmış ve deney öncesinde 12 yıl süreyle doğal iklim şartlarında muhafaza edilmiş deney numunelerinin ve bunların kontrol numunelerinin deformasyon ve gerilme sonuçlarına bakıldığında, deformasyon değerlerinin 50 çevrimlik numunelere göre arttığı, gerilme değerlerinin kontrol numuneleri seviyesinde olduğu görülmüştür. Tekrarlı hava şartları, GRC'nin eğilme dayanımını belirli bir yaşa kadar azaltırken, aynı şartların devam etmesiyle eğilme dayanımı ve deformasyon değerleri artmaktadır.
- Tabii don tesirlerine dayanıklılık deneyine maruz kalmış numunelerin ve kontrol numunelerinin mekanik deney sonuçları incelendiğinde, donma-çözülme çevrimleri sonucunda, GRC numunelerinin orantısal limitteki ve kırılma anındaki deformasyon değerlerinin arttığı, gerilme değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Yeni üretim ve 12 yıl doğal iklim şartlarında yaşlandırılmış numuneler kıyaslandığında, yeni üretim numunelerin deformasyon ve gerilme değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmalardan çıkarılan sonuçlar doğrultusunda, cam elyaf takviyeli beton panellerin durabilitesinin iyi olduğu söylenebilmektedir. Ancak, durabilite deneyleri malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde zamana bağlı değişimler olduğunu göstermektedir. Bu değişimleri daha ayrıntılı olarak araştırmak üzere daha uzun zamanlı bir çalışma yapılması önerilmektedir. Yapılacak çalışmada, ıslanma-kuruma ve donma-çözülme gibi yıpratma işlemlerinin üst üste yapılması; GRC numunelerindeki parça kopması, renk değişimi gibi gözle görülür değişimlerin ve mekanik özelliklerdeki değişimlerin araştırılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **TS EN 1169**, 2001. Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimentoların (ctç) fabrika imalat kontrolü için genel kurallar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [2] **Balaguru, P.N. and Shah, S.P.**, 1992. Glass Fiber-Reinforced Concrete, in *Fiber-Reinforced Cement Composites*, pp. 311-362, McGraw-Hill, Inc., United States of America.
- [3] **Kurt, G.**, 2006. Lif içeriği ve su/çimento oranının fibrobetonun mekanik davranışına etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **GRCA**, GRC In Action 2006, (Çevrimiçi) <http://www.grca.org.uk/section/downloads/downloadfiles/GRC%20in%20Action%202006.pdf>, 9 Aralık 2007.
- [5] **BS 476-6**, 1989. Fire tests on building materials and structures-Part 6:Method of test for fire propagation for products, *British Standard Institute*, London.
- [6] **Brookes, A.**, 1993. Technical & Practice: GRC Cladding is Looking Good, *Architects' Journal*, 198, 25-27.
- [7] **Knowles, E.S.**, 1990. The San Francisco Marriott Hotel, *Journal of the Precast/Prestressed Concrete Institute*, 35.
- [8] **Russell, J.S.**, 1990. Building Technology: What's This Building Made Of?, *Architectural Record*, 178, 91-97.
- [9] **Tombaklar, M.**, 1999. Fiberglas katkılı beton ile üretilmiş önyapımlı cephe panellerinin yapılarda kullanılması ve dış etkenlere karşı yeterliliğinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **ASCE and SEI**, 2000. Guideline for Condition Assessment of the Building Envelope, p. 9, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- [11] **TS EN 1170-1**, 1999. Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-bölüm 1: matriks kıvamının ölçülmesi "slamp deneyi" metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [12] **TS EN 1170-6**, 1999. Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-bölüm 6: suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [13] **TS EN 1170-2**, 1999. Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-bölüm 2: taze ctç'de lif içeriğinin ölçülmesi "yıkama deneyi", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [14] **TS EN 1170-3**, 1999. Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-bölüm 3: püskürtme ctç'nin lif içeriğinin ölçülmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [15] **TS EN 1170-4**, 1999. Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-bölüm 4: eğilme dayanımı tayini “basit eğilme deneyi” metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [16] **TS EN 1170-5**, 1999. Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-bölüm 5: eğilme dayanımı tayini “tam eğilme deneyi” metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [17] **TS EN 1170-7**, 1999. Önyapımlı beton mamuller-cam elyaf takviyeli çimento (ctç) deney metodu-bölüm 7: rutubet nedeniyle en büyük boyutsal değişimlerin ölçülmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [18] **TS EN 1170-8**, 1998. Cam elyaf takviyeli çimento için deney metodu-bölüm 8: tekrarlı hava şartlarında yıpranma tip deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [19] **Rieder**, (Çevrimiçi) <http://www.rieder.cc>, 18 Mayıs 2008.
- [20] **Fibrobeton**, İstanbul 2008.

EKLER

EK A.1 : Cam elyaf takviyeli beton panellerin kullanıldığı yapılardan örnek fotoğraflar, renk ve doku örnekleri

EK A.1



Şekil A.1 : Villa A, Avusturya 2007 [19].



Şekil A.2 : Office Center, Salzburg [19].



Şekil A.3 : Opera House, Bregenz [19].



Şekil A.4 : Astaş Kempinski Residence ve Astoria AVM, İstanbul [20].

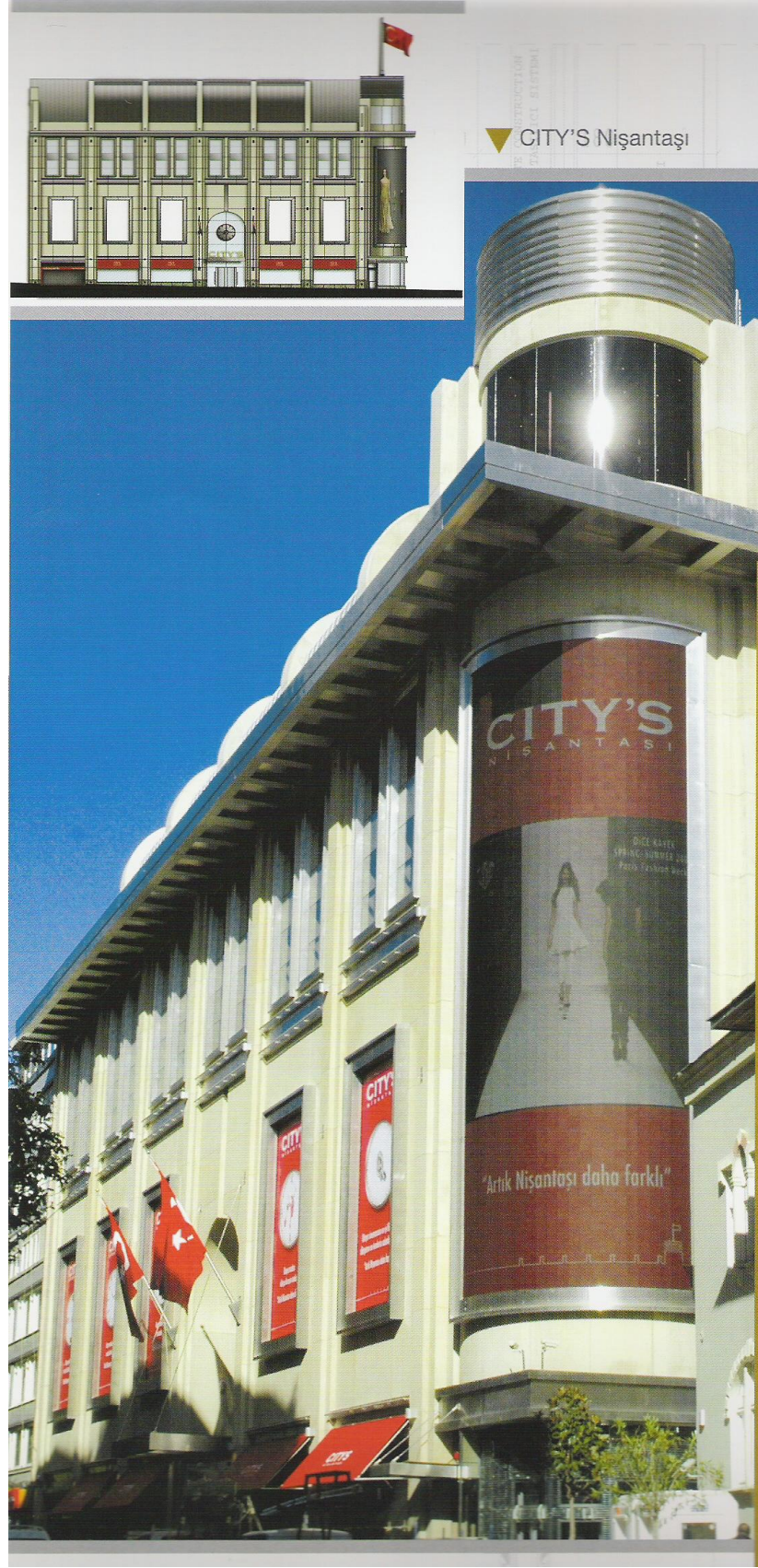
MARRIOTT ASIA OTEL ▼
Kozyatağı



Şekil A.5 : Marriott Asia Otel, İstanbul [20].



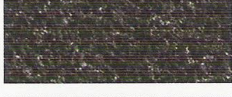
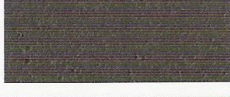
Şekil A.6 : İstinye Park AVM ve konutları, İstanbul [20].



Şekil A.7 : City's Nişantaşı, İstanbul [20].

Farben & Strukturen

Colours & Textures

Farbe / Colour		Ferro FE	Ferro FL	Matt MA
01 Bianco	01 Bianco			
02 Elfenbein	02 Ivory			
03 Silbergrau	03 Silver Grey			
04 Anthrazit	04 Anthracite			
05 Liquide Black	05 Liquide Black			
06 Sandstein	06 Sand Stone			
07 Terra	07 Terra			
08 Mocca Braun	08 Mocca Brown			
09 Venezianisch Grün	09 Venice Green			
10 Terracotta	10 Terracotta			

Şekil A.8 : GRC renk ve doku örnekleri [19].

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Şenay Tuna

Doğum Yeri ve Tarihi: Silistre, 1984

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006