

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT PANEL YAPI MALZEMELERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Egemen ARABACI
(501111080)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **501111080** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Egemen ARABACI** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KOMPOZİT PANEL YAPI MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç Dr. Bekir Y. PEKMEZCİ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY**

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Doç Dr. Hakan Nuri ATAHAN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**

Savunma Tarihi : **23 Ocak 2015**

Sevgili annem, babam ve kardeşime,

ÖNSÖZ

Okul ve iş hayatımda her alanda bilgi ve yardımları ile yanımda olan, beni destekleyen, bana güvenen ve yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ' ye,

Deneysel çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen TİCEM İleri Yapı Teknolojileri' ne, Burak YORULMAZ' a, Fatih GÜLER' e ve tüm İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına,

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini benden esirgemeyen annem Nurcan ARABACI, babam Erhan ARABACI ve kardeşim Atakan ARABACI' ya teşekkür ederim.

Aralık 2014

Egemen ARABACI

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1 Bağlayıcılar.....	4
2.1.1 Çimento.....	4
2.1.2 Magnezyum Oksit Bağlayıcısı.....	4
2.2 Agregalar	5
2.3 Lifler.....	5
2.3.1 Lifler Hakkında Genel Bilgiler	5
2.3.2 Liflerin Beton Takviyesinde Kullanımı	8
2.3.3 Lif Özelliklerinin Kompozit Özelliklerine Etkisi	10
2.3.3.1 Lif Geometrisinin Etkisi.....	10
2.3.3.2 Lif Boyunun Etkisi.....	10
2.3.3.3 Lif Narinlik Oranı ve Lif Yüzdesinin Etkileri.....	11
2.4 İnce Cidarlı Betonların Genel Özellikleri.....	12
2.4.1 Cam Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri	12
2.4.2 Naylon Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri	13
2.4.3 PVA Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri.....	14
2.4.4 Polipropilen Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri	15
2.4.5 Karma Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri	15
2.4.6 Selülozik Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri.....	16
2.4.7 Ahşap Yongalı Betonların Genel Özellikleri.....	16
2.4.8 Tekstil Donatılı Betonlar	17
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	19
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	19
3.1.1 Çimento.....	19
3.1.2 Agregalar.....	20
3.1.3 Cam Elyaf	20
3.1.3.1 Kesilmiş Cam Elyaf	20
3.1.3.2 Sürekli Cam Elyaf.....	21
3.1.4 Kimyasal Katkı	21
3.1.5 Karışım Suyu	22
3.2 Çimento Esaslı Kompozit Üretimi	22
3.2.1 Üretim Yöntemi	22
3.2.1.1 Kesilmiş Cam Lif Takviyeli Panel Üretim Yöntemi.....	22
3.2.1.2 Sürekli Cam Lif Takviyeli Panel Üretim Yöntemi	22

3.2.2	Çalışma İçeriği ve Kapsamı	22
3.2.3	Numune İsimlendirilmesi ve Beton Karışımları	23
3.2.4	Numune Ebatları	24
3.3	Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler	25
3.3.1	Eğilme Deneyi	25
3.3.2	Çekme Deneyi.....	27
3.3.3	Su Emme ve Kuru Yoğunluk Tayini Deneyi	27
3.3.4	Genleşme Oranının Belirlenmesi	29
4.	DENEY SONUÇLARI.....	31
4.1	Kompozit Panel Malzemeleri Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları	31
4.1.1	Eğilme Deneyi Sonuçları	31
4.1.2	Çekme Deneyi Sonuçları	32
4.1.3	Su Emme ve Birim Ağırlık Tayini Deneyi Sonuçları	32
4.1.4	Genleşme Oranı Tayini Deneyi Sonuçları	34
5.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	35
5.1	Eğilme ve Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	35
5.2	Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	53
5.3	Genleşme Oranı Tayini Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	55
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
	KAYNAKLAR.....	59
	EKLER.....	63
	ÖZGEÇMİŞ.....	75

KISALTMALAR

ARG	: Alkali Dirençli Cam Lif
FRC	: Fiber Donatılı Beton
GF	: Cam Elyaf
PP	: Polipropilen
PE	: Polietilen
PVA	: Polivinil Alkol
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Değişik türdeki liflere ait mekanik ve fiziksel özellikler .	6
Çizelge 2.2 : Bazı cam liflerinin tipik özellikleri.	13
Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri.	19
Çizelge 3.2 : Çimentonun kimyasal bileşimi.	20
Çizelge 3.3 : Süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri.	21
Çizelge 3.4 : Üretimi yapılan çimento esaslı numunelerin kodları.	23
Çizelge 3.5 : Çimento esaslı panel numune kodları.	23
Çizelge 3.6 : Magnezyum oksit esaslı panel numune kodlaması	24
Çizelge 3.7 : Üretimi yapılan numunelere ait karışım oranları.	24
Çizelge 3.8 : Endüstriyel olarak üretilen panellerin kalınlıkları.	25
Çizelge 4.1 : Kompozit malzeme ve matrisin eğilme deneyi sonuçları.	31
Çizelge 4.2 : Kompozit panellerin ve matrisin çekme dayanımları.	32
Çizelge 4.3 : Su emme deneyi sonuçları.	33
Çizelge 4.4 : Birim ağırlık deneyi sonuçları	33
Çizelge 4.5 : Genleşme oranı tayini deneyi sonuçları	34
Çizelge A.1 : Numunelere ait eğilme deneyi sonuçları	64
Çizelge C.1 : Numunelere ait çekme deneyi sonuçları.	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çatlak köprülemede lif etkisi .	4
Şekil 2.2 : PVA donatılı kompozitte çekme sonucu çoklu çatlak oluşumu.	8
Şekil 2.3 : Lifli betonun gerilme – şekil değiştirme diyagramı.	8
Şekil 2.4 : Lifli ve lifsiz malzemenin çatlak görünüşleri.	10
Şekil 2.5 : Çatlak köprülemesinde farklı tel boyutlarının etkisi.	11
Şekil 2.6 : PVA lifli çimento esaslı kompozitte mikro çatlak oluşumu	14
Şekil 2.7 : Kumaş takviyeli çimentolu kompozitlerde çatlak sapması	17
Şekil 3.1 : Kesilmiş cam lifi görüntüsü.	20
Şekil 3.2 : Sürekli cam lif görüntüsü.	21
Şekil 3.3 : Eğilme deneyi kurulumu: (a) Temsili mesnetler, (b) Sistem düzeneği.	26
Şekil 3.4 : Çekme deneyi düzeneği.	27
Şekil 3.5 : Su emme testine ait deney düzeneği.	28
Şekil 4.1 : Kompozit malzemelerin ve lifsiz karışımın su emmeleri.	32
Şekil 4.2 : Kompozit malzemelerin ve matrisin birim ağırlıkları.	34
Şekil 5.1 : Matris, Ç-KCL-1,5 ve Ç-KCL-2,5 kompozitlerinin eğilme dayanımları.	36
Şekil 5.2 : Matris, Ç-KCL-1,5 ve Ç-KCL-2,5 kompozitlerinin yük sehim grafiği	36
Şekil 5.3 : Çimento esaslı kesik cam lifli numunede çatlak köprüleme	37
Şekil 5.4 : Kesikli cam lifli numunelerin gerilme uzama grafiği	38
Şekil 5.5 : Matris ve kesikli cam lifli karışımlara ait kırılma enerjileri.	38
Şekil 5.6 : Matris, Ç-SCL-1,5 ve Ç-SCL-2,5 kompozitlerinin eğilme dayanımları.	39
Şekil 5.7 : Çimento esaslı sürekli cam lifli kompozitin kırılma sonrası görüntüsü.	40
Şekil 5.8 : Sürekli cam lifli numunelerinin gerilme uzama grafikleri	40
Şekil 5.9 : Ç-SCL-2,5 kompozitine ait kopma görüntüsü	41
Şekil 5.10 : Çimento esaslı sürekli selülozik lifli panel numunesi yük-sehim grafiği.	42
Şekil 5.11 : Ç-SL kompozit paneline ait gerilme uzama grafiği	42
Şekil 5.12 : Çimento esaslı tekstil donatılı panel numunesi yük-sehim grafiği.	43
Şekil 5.13 : Çimento esaslı tekstil donatılı panel numunesi üzerinde eğilme deneyi.	44
Şekil 5.14 : Ç-TD kompozit paneline ait gerilme uzama grafiği.	45
Şekil 5.15 : Ç-TD kompozit paneline ait çekme çatlak oluşum görüntüsü	45
Şekil 5.16 : Çimento esaslı ahşap yongalı panel numunesi yük-sehim grafiği.	46
Şekil 5.17 : Ç-AY kompozit paneline ait gerilme uzama grafiği	46
Şekil 5.18 : MgO esaslı tekstil donatılı panel numunesi yük-sehim grafiği.	47
Şekil 5.19 : M-TD kompozit paneline ait gerilme uzama grafiği.	47
Şekil 5.20 : Ç-TD ve M-TD numunelerinin gerilme sehim grafikleri.	48
Şekil 5.21 : Ç-TD ve M-TD numunelerinin kırılma enerjileri.	48
Şekil 5.22 : Ç-TD ve M-TD kompozitlerine ait gerilme uzama grafikleri.	49
Şekil 5.23 : Kompozit panellere ait eğilme dayanımı sonuçları	50
Şekil 5.24 : Kompozit panellere ait gerilme sehim grafiği	50
Şekil 5.25 : Kompozit panellere ait eğilme dayanımı kırılma enerjisi sonuçları.	51

Şekil 5.26 : Kompozit panellere ait çekme dayanımı sonuçları	52
Şekil 5.27 : Çekme deneyinde kompozit panellere ait gerilme uzama grafikleri	52
Şekil 5.28 : Çekme deneyinde numunelere ait elastisite modülleri	53
Şekil 5.29 : Kompozit malzemelerin ve matrisin su emmeleri	54
Şekil 5.30 : Ç-KCL ve Ç-SCL su emme değerleri	55
Şekil 5.31 : Kompozitlere ait genleşme oranları.....	56
Şekil B.1 : Ç-AY numunelerinin yük-sehim grafiği.....	65
Şekil B.2 : Ç-SL numunelerinin yük-sehim grafiği.....	65
Şekil B.3 : Ç-TD numunelerinin yük-sehim grafiği	66
Şekil B.4 : M-TD numunesinin yük-sehim grafiği.....	66
Şekil B.5 : Ç-SCL-1,5 numunelerinin yük-sehim grafiği.....	67
Şekil B.6 : Ç-SCL-2,5 numunesinin yük-sehim grafiği.....	67
Şekil B.7 : Matris numunelerinin yük-sehim grafiği	68
Şekil B.8 : Ç-KCL-1,5 numunelerinin yük-sehim grafiği	68
Şekil B.9 : Ç-KCL-2,5 numunelerinin yük-sehim grafiği	69
Şekil D.1 : Ç-AY numunelerinin gerilme-uzama grafiği	71
Şekil D.2 : Ç-SL numunelerinin gerilme-uzama grafiği.....	71
Şekil D.3 : Ç-TD numunelerinin gerilme-uzama grafiği.....	72
Şekil D.4 : M-TD numunesinin gerilme-uzama grafiği.....	72
Şekil D.5 : Ç-SCL-1,5 numunelerinin gerilme-uzama grafiği.....	72
Şekil D.6 : Ç-SCL-2,5 numunesinin gerilme-uzama grafiği	73
Şekil D.7 : Matris numunelerinin gerilme-uzama grafiği.....	73
Şekil D.8 : Ç-KCL-1,5 numunelerinin gerilme-uzama grafiği	73
Şekil D.9 : Ç-KCL-2,5 numunelerinin gerilme-uzama grafiği.....	74

KOMPOZİT PANEL YAPI MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Son yıllarda kompozit panel malzemeler yapının diğer bileşenleri ile olan uyumu, kolay uygulanabilirliği ve temin edilebilirliği avantajları sayesinde inşaat sektöründe ilgi görmekte ve sıkça tercih edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, yapıların iç ve dış mekanlarında sıkça uygulanan kompozit panel malzemelerinin mekanik özelliklerinin araştırılması ve elde edilen sonuçlara göre daha üstün özelliklere sahip kompozit panel malzemesi üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çimento esaslı kesik cam lifli, sürekli cam lifli ve lifsiz olmak üzere üç çeşit üretim su/çimento oranı sabit tutularak yapılmıştır. Cam lifli üretimler ağırlıkça %1,5 ve %2,5 cam lif kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, endüstriyel olarak üretilen ve sektörde kabul görmüş, yaygın olarak kullanılan kompozit panel malzemeler ile bu kapsamda üretimi gerçekleştirilen malzemeler üzerinde eğilme, çekme, su emme ve genleşme oranı tayini deneyleri yapılmıştır.

Kompozit panellere yapılan dört noktalı eğilme deneyi neticesinde ilk olarak üretimi gerçekleştirilen numuneler karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda lif oranının artmasıyla beraber kesik cam lif donatılı numunelerde eğilme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde kesik cam lif oranının artmasıyla beraber kırılma enerjisinin de arttığı görülmüştür. Sürekli cam lif donatılı üretimlerin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında lif artışıyla beraber eğilme dayanımında önemli bir artış olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin liflerin matris ile yeterli aderansı sağlayamadığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Endüstriyel olarak üretilen ve sektörde kabul görmüş panel malzemelerine yapılan dört noktalı eğilme deneyi sonucunda selülozik lif içeren çimento esaslı paneller en yüksek eğilme dayanımı sonucunu verirken, gevrek bir davranış göstererek ani göçme yaptığı belirlenmiştir. Tekstil donatılı çimento esaslı panel malzemesinin kullanılan lif tipinin bir düzlemde sürekli olması ve donatının matris ile aderansının yüksek olmasından dolayı en yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür, ancak eğilme dayanımı diğer panellerin altında kalmıştır.

Kompozit panellere yapılan çekme deneyi sonucunda tekstil donatıya sahip çimento esaslı panelin çoklu çatlaklar oluşturarak ani kopma yapmadığı gözlemlenmiştir. Selülozik lifli çimento esaslı panellerin en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu belirlenirken deformasyon miktarının diğer panellerin altında kaldığı görülmüştür. Sürekli cam lifli kompozitlerde ağırlıkça lif oranının artmasının kompozitin

deformasyon miktarını arttırıcı yönde etkilediği görülürken çekme dayanımının artmasına etkisi olmadığı sonucu elde edilmiştir. Kesikli cam lifli kompozitlerde lif oranının artmasıyla deformasyon miktarının arttığı belirlenmiştir.

Panel malzemelerde yapılan su emme deneyi sonucunda magnezyum oksit esaslı kompozitin en yüksek su emme oranına sahip olduğu görülmüştür. Selüloz ve ahşap lif içeren panel malzemelerin su emme oranlarının çimento esaslı tekstil donatılı panele oranla çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin selülozik ve ahşap liflerin su emme kapasitelerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı cam lif donatılı numuneler üzerinde yapılan su emme deneyleri sonucunda su emme değerlerinin birbirlerine yakın ve diğer panel malzemelerine göre su emmesinin çok az olduğu belirlenmiştir.

Genleşme oranı tayini deneyi sonuçlarına göre en yüksek su emme değerine sahip olan magnezyum oksit esaslı kompozitin en yüksek genleşme oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı cam lif donatılı numunelerin daha düşük genleşme oranına sahip olduğu görülmüştür. Bu sonucun üretilen cam lif donatılı kompozit panellerin düşük su emme oranına sahip olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Eğilme dayanımları, kırılma enerjileri, su emme ve genleşme oranı tayini deneyi sonuçları bir bütün olarak ele alındığında çalışma kapsamında üretimi gerçekleştirilen ağırlıkça %2,5 kesik cam lif içeren çimento esaslı kompozitlerin, eğilme dayanımını yüksek, yük etkisi altında sünek davranış gösteren, düşük su emme ve genleşme oranlarına sahip bir kompozit olduğu sonucuna varılmıştır.

INVESTIGATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES PANEL MATERIALS

SUMMARY

Composite panels are widely used and preferred in the recent years due to their benefits such as compatibility with different structures, practicability, and easily findability in the field of civil engineering.

In the scope of this thesis, composite panels are analyzed for its mechanical properties due to its applicability to both interior and exterior places. The aim of the thesis is the production of high performance composite panels depending on the result of the experiments that conducted during the study. Composite panels are produced by holding the same water/cement ratio based on three types such as cement based batch glass fiber, continuous glass fiber and non-glass fiber. The production of cement based glass fiber consist of 1,5 % and 2,5 % glass fiber percentage by weight. In this study, composite panels that are widely used in the civil engineering field and the produced materials are subjected to bending, tension, water absorbtion, expansion ratio experiments.

As a result of a four-point bending test on commercially accepted panel materials, it is observed that cement-based cellulosic fibers have high-fold strength while taking a sudden intrusion behavior. Textile combined cement-based panel materials have high energy ingest capacity due to continuous usage of fiber, the same platform and higher adhesion between matrix and reinforcement. Its bending strength is lower than other panels.

In the thesis of samples being produced industrially in the sector of water absorption and expansion ratio accepted by a panel production has been shown to have a lower value. The amount of fibers, the effect of water absorption and rate of expansion was observed.

As a result of the tensile test performed on the panel cement-based composite panel with textile reinforcement has been observed to sudden rupture creating multiple cracks.

Cellulosic fibrous cements based panel that has the highest tensile strength in determining the amount of deformation was found to be under the other panel. Cement-based cellulosic fiber panels exhibit a brittle fracture behavior without multiple cracks despite the high flexural strength. Depending on the low deformation capacity of the panels has a low refractive power. Textile-reinforced cementitious composite panels, by forming multiple cracks under impact load through the textile

reinforcement used and shows behavior by highly ductile deformation. Therefore, these panels have a high fracture energy. The result that the continuous glass fiber composite fiber percentage increase in weight was observed that the amount of tensile deformation of the composite in the direction of increasing its effect is to increase strength effects were obtained. Discrete glass fiber composite is determined that the amount of deformation increases with increasing the amount of fiber.

Industrial production as performed in the sector panel accepted dissertation samples and scope of production elasticity modulus of the panel according to the results of the tensile tests conducted on mixtures performed were calculated. According to the obtained results, it was found that reduction of the production is performed in discrete glass fiber mixture ratio increases the elasticity modulus. The mixture held with continuous production of glass fiber could not be determined in a systematic behavior.

Industrially panel production elasticity modulus textile reinforced cementitious has been determined that there is a high deformation under a very low load case of the panel according to the other panel. Tensile strength is the highest cellulose based fiber cement panels are panels with the highest modulus of elasticity. Modulus of elasticity of cement-based wood chip panel and magnesium oxide based textile-reinforced panel sample average has increased compared to the other panel.

Discrete glass fiber-reinforced cement produced under experimental work based on the results obtained from tests on composites; increasing the amount of glass fiber increases, the bending strength increased by the amount of deformation after break, fracture energy increases. Continuous glass fiber reinforced concrete, in order to fully realize the matrix fibers penetration, a systematic increase in strength with the amount of fibers could not be detected.

Water absorption is conducted on panel materials and magnesium oxide based composite panel was found to have the highest water absorption ratio. The water absorption capacity of cellulose and wood fiber panels are higher than textile reinforced cementitious panels. It is noted that the result of high ratio of cellulose and wood fibers depending on its high water absorption capacity. The water absorption capacity values are closed to each other of produced cement based glass fiber samples and their water absorption level is low compared to other panel material's level.

As a result of expansion contraction analysis magnesium oxide based composite panel which has high water absorption capacity has also the highest contraction ratio although produced cement based glass fiber materials has the smallest expansion contraction ratio. It is noted that due to the low water absorption ratio, the produced glass fiber composite panel has the smallest contraction ratio.

During the assessment of the result of bending strength, fracture energy, water absorption and expansion shrinkage analysis as a whole, in the scope of the thesis, production of cement-based composites containing held by weight 2,5% glass fiber has high bending strength, showing ductile behavior under load impact, low water absorption.

This work process based on experimental results and observations obtained in studies subsequent high energy absorption capacity and flexural strength to be used in combination to achieve optimum continuous and chopped glass fibers in the body.

Subsequent studies, penetration problems occurring in continuous fibers must be taken into account.

1. GİRİŞ

Kompozitler iki ya da daha çok malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan ve kendisini oluşturan malzemelerden daha yüksek mekanik özelliklere sahip olması beklenen teknolojik malzemelerdir. İnşaat endüstrisinde beton, kolay temin edilebilirliği, düşük maliyeti ve kolay işlenebilirliği ile son derece yaygın olarak kullanılan kompozit bir malzemedir. Betonlar kullanım alanlarına ve amaçlarına göre ince kesitli olarak üretilmektedir. Kaplama ve tamamlayıcı ürünler olarak kullanılan ince cidarlı beton elemanlarda takviye elemanı olarak çelik donatı kullanımı gerek ince kesitlerde uygulama zorluklarına sebep olması, gerekse taşıdığı korozyon riskleri nedeniyle sorun teşkil etmektedir. Bu sorunun çözümü için geliştirilen çeşitli lifler ve tekstil donatılar betonda kullanılmıştır.

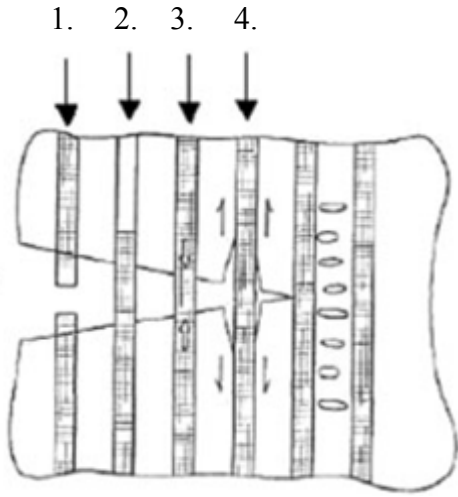
Son yıllarda, ince cidarlı kompozitler yapının diğer bileşenleri ile olan uyumu ve kolay uygulanabilirliği gibi avantajları sayesinde sıkça tercih edilmektedir. Ayrıca, sürekli liflerin dokunması ile elde edilen tekstiller betonda donatı olarak kullanılmış, yüksek şekil değiştirme ve enerji yutma kapasitesine sahip yapı malzemeleri üretilmiştir.

Lif donatılı betonlar, günümüz inşaat endüstrisinde yol kaplamaları, endüstriyel döşemeler, tüneller, su yapıları, köprüler, patlamaya dayanıklı askeri yapılar, uçak pistleri, beton borular ve ön dökümlü beton elemanlar gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ahşap lif içeren çimentolu paneller, tekstil donatılı magnezyum oksit paneller, tekstil donatılı çimentolu paneller ve üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı lifsiz karışım, kesikli cam lifli ve sürekli cam lifli kompozit malzemeler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Kompozit panel malzemeler günümüzde birçok yapıda kaplama ve tamamlayıcı ürün olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile beraber dayanım, süneklik, tokluk ve dayanıklılık bakımından yüksek performanslara sahip kompozit panel malzeme üretimi önemli ölçüde ilerlemiştir. Çeşitli matris ve takviye donatı elemanları kullanılarak farklı özelliklere sahip kompozit panel üretimleri mevcuttur. Kompozit panel malzemelerinde kullanılan donatılar kendi mekanik ve fiziksel özelliklerine göre takviye görevi gördükleri malzemenin mekanik özelliklerini etkilerler. Bu özelliklerin en önemlileri lif takviyesinin ince cidarlı çimento esaslı kompozitlerin tokluğunu, çekme ve eğilme mukavemetini arttırmasıdır. Özellikle düşük eğilme dayanımına sahip çimento harcı, beton gibi çimento esaslı malzemeler çeşitli donatılar kullanarak güçlendirilmektedir [1-2]. Bu donatılar, kısa lifler, sürekli lifler ve dokuma biçiminde olabilir. Kısa lifler mikro çatlaklar üzerinde köprü görevi görerek kompozitin eğilme mukavemetinin artmasına sebep olurken kırılma sonrası davranışta etkileri çok küçüktür. Ancak uzun lifler kırılma sonrasındaki süreçte etkin hale gelerek kompozitin yüksek kırılma enerjisine sahip olmasını sağlar. Takviye elemanı olarak kullanılan polimerik lifler yaygınlık, kimyasal dayanım, kolay şekil alabilme gibi üstünlüklerinin yanında çimento esaslı kompozitlerin eğilme/çekme özelliklerini de iyileştirebilir, mikro çatlaklar üzerinde köprü kurarak çatlak oluşumunu ve yayılmasını önler, enerji emilimini ve sünekliği geliştirirler [3]. Şekil 2.1’de çimento matrisinde donatı görevini yerine getiren lifin çatlak ucundaki yapabileceği farklı davranışlar gösterilmiştir.



1. Lif Kopması
2. Lif Çekilmesi
3. Lif Kenetlenmesi
4. Lif/matris Ayrılması

Şekil 2.1 : Çatlak köprülemede lif etkisi [3].

Liflerin donatı olarak kullanılması, yüksek dayanıma ve dayanıklılığa sahip kompozitlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Böylelikle, ince kesitlere sahip kaplama ve tamamlayıcı ürün olarak kullanılabilen panellerin üretilmesi mümkün olmuştur. Bu paneller, yapıların iç ve dış kabuklarında kaplama elemanı olarak kullanılmaktadır. Yüksek durabiliteye sahip olan bu kompozitler uzun yıllar boyunca mekanik ve fiziksel özelliklerini koruyarak yapılarda yer almaktadırlar.

2.1 Bağlayıcılar

2.1.1 Çimento

Çimento, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra çimento değirmenlerinde öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı olarak tanımlanır. Hidrolik bağlayıcılar, su ile reaksiyonu sonucunda sert bir kütle oluşturan su içinde dağılmayan, sertliğini ve dayanımını koruyabilen ya da arttırabilen maddelerdir. Genel çimentolar TS EN 197-1 de “CEM çimentosu” olarak adlandırılır.

2.1.2 Magnezyum Oksit Bağlayıcısı

Magnezya olarak bilinen magnezyum oksit, magnezyum karbonat veya magnezyum hidroksitin kavrulmasıyla elde edilir. Sanayide, yüksek sıcaklığa dayanıklı tuğlalarda, elektrik ve ısı izolatörlerinde, çimento, gübre, kauçuk ve plastik üretiminde faydalanılır.

2.2 Agregalar

Beton ve çimento harcı üretiminde çimento ve su karışımıyla oluşan bağlayıcı ile beraber kullanılan uygun boyutlara sahip mineral malzemelere agrega denir. Beton yapımında çeşitli agregalar kullanılmaktadır. Kum, çakıl taşı, kırma taş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genleştirilmiş perlit ve uçucu kül agregası kullanılmakta olan agregalara örnek verilebilir. Agregalar, elde edilış methoduna göre doğal ya da yapay olabilirler.

Agregalar, betonda çimentonun su ile reaksiyonu sonucu oluşan hidrotasyon sırasında meydana gelecek hacim değışikliğini önlemek, sertleşmiş betonun dayanımını ve çevre koşullarına karşı dayanıklılığını arttırmak için kullanılırlar. Kullanılan agrega tipi betonun karakteristik özelliğine doğrudan etki eder.

2.3 Lifler

2.3.1 Lifler Hakkında Genel Bilgiler

Lif, sentetik ya da organik olarak elde edilebilen, bir boyutu diğer boyutuna göre büyük olan, mukavemetleri aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre yüksek olan malzemelerdir [4]. Lifler, bilinen geleneksel çelik donatıların daha küçük ölçekli hali olarak düşünülebilir. Lifler bileşimine katıldıkları kompozit malzemenin eğilme mukavemetini, yorulmaya ve darbeye karşı direnç ile çatlak direncini gibi özelliklerini geliştirir [5]. Değişik türdeki liflere ait mekanik özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Değişik türdeki liflere ait mekanik ve fiziksel özellikler [3].

Lif cinsi	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (10 ³ , MPa)	Maksimum uzama (%)	Özgül ağırlık (gr/cm ³)
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4.8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8.3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,90
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral Yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-35	7,8
PVA	880-1600	25-40	6-10	1,30

Lif donatılı betonların günümüzde kullanım alanları oldukça yaygındır. Yol kaplamaları, endüstriyel döşemeler, su yapıları, tüneller, köprüler, uçak pistleri, beton borular ve ön dökümlü beton elemanlar başlıca uygulama alanlarıdır [6]. Türkiye’de lifli beton aktif olarak asbestli çimento olarak güncel yaşamımıza girmiştir. Asbestin kanserojen olması sebebiyle asbestli çimento çok hızlı bir şekilde yerini alternatif liflerle donatılan çimento ya da çimento karışımlarına bırakmıştır [7].

Liflerle donatılı harç ve beton üretiminde genelde üç farklı temel method kullanılmaktadır. Bunlar ön karıştırma, püskürtme ve fitil ya da örgü elyaf kullanma methodlarıdır. Ön karışım yapılması halinde, kompozit içinde lifler serbest ve üç boyutta rasgele dağılmaktadır. Püskürtme methodunda ise matrise püskürtülen lifler, kesitte düzlemde dağılmış olarak yer alırlar. Fitil ve örgü kullanılması halinde ise, donatı istenilen bir yönde ve sürekli olmaktadır [8].

Serbest halde rastgele dağılmış şekilde kısa liflerle donatılandırılmış çimento harcı veya beton karışımları, normal bir betondan farklı olarak, sadece çimento, kum, su, lifler ve çeşitli kimyasal malzemeleri kullanılarak üretilirler.

Serbest halde, üç boyutta, gelişigüzel kısa liflerle donatılandırılmış betonların ya da kompozitlerin iki türlü uygulaması vardır: Bunlardan ilki, kısa lifler serbest halde çimento hamuru içinde karıştırılırlar. Agrega, çimento gibi betonu oluşturan malzemelerden biri olarak kullanılırlar. Oluşturulan yapı elemanı geleneksel olarak donatılandırılır. Diğer bir yöntem ise, beton içine dağınık olarak karıştırılmış lifler doğrudan donatı olarak kullanılır, başka bir donatı kullanılmaz [7].

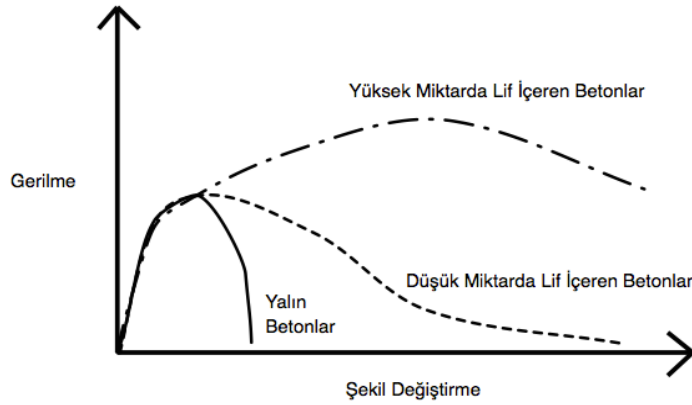
Çimento esaslı kompozitlerde plastik şekil değiştirme sırasında, birçok mikro çatlak oluşması ile ani göçmeler kontrol altına alınmış olur. İlk çatlak oluşumundan itibaren yük taşıma kapasitesi, şekil değiştirme devam etmesine karşın artım göstermektedir [9]. Donatı kullanılmayan bir çimento harcında ya da betonda kırılma ilk oluşan çatlakla beraber tamamlanmaktadır. Gelişigüzel olarak dağıtılmış kısa liflerle donatılandırılmış bir betonda ise kırılma bir çok paralel çatlağın oluşması ile tamamlanır. Beton içinde, priz anında ya da daha sonradan oluşan iç gerilmeler ile oluşan çatlaklar, beton eleman yük almaya başladıktan sonra büyümeye devam edecektir. Çatlak beton içinde ilerlemeye devam ederken liflerle karşılaştığında, çatlağın ilerlemesini sağlayan yük liflere aktarılacak ve lifler tarafından karşılanacaktır. Bu yük lifler tarafından karşılanamadığı zaman yük aktaran lif kopacaktır ya da betondan sıyrılacaktır. Lifin kopmasıyla ya da sıyrılması ile beraber aktarılan enerji tekrar beton elemana geçecektir ve çatlak bir sonraki lifle karşılaşınca kadar ilerleyecektir. Bu işlem yükün artmasıyla beraber tekrar edecek ve bu şekilde beton elemanda paralel çatlak oluşumları meydana gelecektir. Oluşan bu çatlaklar beton elemanın nihai kırılma meydana gelinceye kadar sünekleştiğinin göstergesidir. Geleneksel bir beton ile lif donatılı bir beton arasındaki yük deplasman eğrisine bakıldığında zaman, ilk çatlak meydana geldikten sonra geleneksel betonun

gevrek olarak kırıldığını ve yükü taşıyamadığını, lif donatılı betonun ise yük almaya devam ederek eğilme dayanımını arttırdığı, sünek bir davranış gözlemlenecektir [7]. Şekil 2.2’de PVA donatılı bir kompozit malzeme numunesi üzerinde yukarıda açıklanmaya çalışılan paralel çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : PVA donatılı kompozitte çekme sonucu çoklu çatlak oluşumu. [10]

Kompozit malzeme içinde kullanılan lif miktarına göre oluşan gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 2.3’te görülmektedir.



Şekil 2.3 : Lifli betonun gerilme – şekil değiştirme diyagramı.

2.3.2 Liflerin Beton Takviyesinde Kullanımı

Beton içerisinde çeşitli tipte doğal ya da yapay lifler donatı takviyesi olarak kullanılmaktadır. Betonda ilk olarak doğal lifler, geleneksel çelik liflerden önce

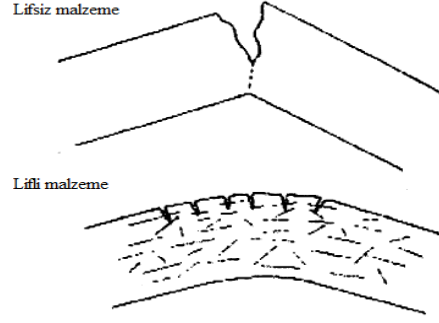
kullanılmıştır. 1940'lı yıllarda liflerin takviye elemanı olarak betonda kullanılmasından itibaren, beton içerisinde donatı olarak kullanılacak elemanların özelliklerini, avantajlarını ve dezavantajlarını belirlemek için çeşitli lifli malzemeler üzerinde testler yapılmıştır. Lif çeşitlerinin seçimi polipropilen veya karbon gibi organik sentetik, çelik veya cam gibi inorganik sentetik, selüloz gibi doğal organik ve asbest gibi doğal inorganik lifler arasında yapılmıştır. Poliprolen, PVA, polyester, cam ve çelik lifler ticari ürün olarak günümüzde yaygın olarak kullanılan liflerdir. Kesiti, yoğunluğu, elastisite modülü, çekme mukavemeti gibi özelliklerinin yanı sıra beton içerisinde kullanılacak lif miktarı lif tipinin seçimi kadar etkili olur [11].

Betonda yapılan lif takviyesi betonun zayıf özellikleri olan, eğilme mukavemeti, çekme mukavemeti ve darbe dayanımını iyileştirici yönde katkı sağladığı için günümüzde lif takviyeli betonların yapılarda kullanımı yaygınlaşmaktadır [12]. Geleneksel lif donatısız betonun nihai eğilme mukavemeti aşıldığında kırılma gözlemlenirken, lif takviyeli betonlar takviyesiz betonlara göre çok daha fazla yük taşımaktadırlar ve daha büyük şekil değiştirmeye izin verdiklerinden dolayı önemli ölçüde sehim yapmaktadırlar. Lif takviyeli betonlar üzerinde yapılan deneylerde kırılmanın ilk çatlağı takiben hemen meydana gelmediği, lif sıyrılması ya da kopmasını takiben meydana geldiği gözlemlenmiştir [13].

Betonda lif kullanımı ile sağlanacak başlıca avantajlar şu şekildedir;

- Yüksek taşıma kapasitesine sahip, sünek bir beton elde edilmesi,
- Donatı korozyonun önlendiği düzgün yüzeyli beton üretimi,
- Etkin çatlak kontrolü,
- Dayanıklılık,
- Donatı işçiliğindeki önemli ölçüde azalma.

Şekil 2.4'te lif takviyeli ile lif takviyesiz bir kompozitin kırılma sonrası davranışı gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Lifli ve lifsiz malzemenin çatlak görünüşleri. [13]

2.3.3 Lif Özelliklerinin Kompozit Özelliklerine Etkisi

Lif takviyeli üretilecek kompozitlerin performansı, kullanılan lifin geometrisine, boyuna, karışımda kullanılan yüzdesine, narinlik adı verilen boy/çap oranına, hangi maddeden üretildiğine ve üretim teknikleri gibi özelliklere bağlıdır. Bu sebeple lif takviyeli kompozitlerin üretimi esnasında bu özelliklere dikkat edilmesi gerekmektedir [14].

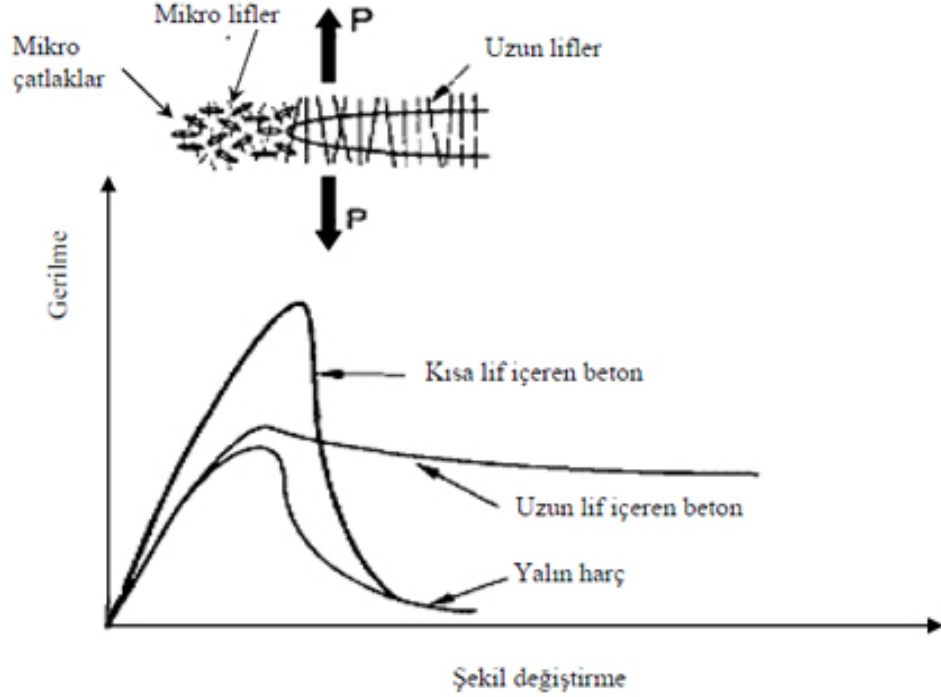
2.3.3.1 Lif Geometrisinin Etkisi

Taze beton karışımında liflerin topaklanması ve liflerin varlığından dolayı işlenebilirliğin azalması, özellikle yüksek oranda lif içeren karışımlarda sorun yaratabilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, suda eriyebilen ya da mekanik etkiler ile kopabilen bir yapıştırıcı ile 10-30 adet lifin birbirine yapıştırılması yoluna gidilmiştir. Böylece harcın ya da taze betonun işlenebilirliği artar ve liflerin topaklanması önlenir. Daha sonra da karıştırma sırasında yapıştırıcının çözülmesi ile her bir lif karışım içinde dağılır [15].

2.3.3.2 Lif Boyunun Etkisi

Betonun mekanik ve durabilite özelliklerine etkisinin en önemli ölçüde gözlemlendiği değişkenlerden biri kompozit malzeme içerisinde kullanılacak lifin boyudur. Çimento esaslı kompozitlerde kullanılan uzun lifler, oluşan mikro çatlığa uzaktaysalar meydana gelen çatlığın ilerlemesini engelleyemezler. Kısa lifler oluşan çatlak bölgesinde daha çok ve çatlığa daha yakın olduklarından mikro çatlaklar arasında köprü görevi görecek ve daha yüksek gerilme değerine sahip bir kompozit malzeme oluşturacaklardır. Bu durumu kısa liflerin kırılma başladıktan sonra sürekli olarak kompozit üzerindeki yük aktarırken beton içinde kopması ya da sıyrılması ile açıklayabiliriz. Bu durum ayrıca kısa lifli kompozitlerin uzun lifli kompozitlere göre

daha yüksek değerde çekme mukavemeti göstermesine de imkan sağlar. Şekil 2.5'te çatlaklar arası yük aktarımı ile lif boyutu ilişkisi gösterilmektedir [16].



Şekil 2.5 : Çatlak köprülemesinde farklı tel boyutlarının etkisi.

2.3.3.3 Lif Narinlik Oranı ve Lif Yüzdesinin Etkileri

Lifleri tanımlayan en önemli değişkenlerden biri narinlik oranıdır. Narinlik, lif uzunluğunun yuvarlak kesitli lifler için çapa (l/d), yuvarlak olmayanlar içinse eşdeğer çapa (l/d_c) bölünmesiyle bulunur [17]. Narinliğin artmasının mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemesine rağmen, işlenebilirlik yönünden olumsuz bir etki oluşturmaktadır. [15].

Üretimde kullanılan lif içeriği de optimum bir değer üzerine çıkmamalıdır. Optimum lif oranının üzerine çıkılması durumunda karıştırma ve yerleştirmede sorunlar gözlenir. Yerleştirme ve karıştırmada yaşanan problemler neticesinde matris içerisinde liflerin topaklandığı gözlemlenebilir. Bu durum kompozit içerisinde kusur etkisi oluşturmaktadır. Karışımda iri taneli agrega kullanılmaması, lif narinlik oranının optimum bir değerde olması, liflerin karışıma kuru katılması ve süper akışkanlaştırıcı kullanılması ile liflerin matris içerisinde homojen dağılması sağlanabilir [18].

2.4 İnce Cidarlı Betonların Genel Özellikleri

Kompozit malzemelerin geliştirilmesindeki amaç, kendi içerisinde tek başına zayıf özellikleri olan bir malzemeyi, zayıf özelliklerini ortadan kaldıracak başka bir malzeme ile birlikte kullanarak daha güçlü bir yapı oluşturmaktır. Betonun basınç dayanımı yüksek olmasına karşın eğilme ve çekme dayanımı yaklaşık 7 kat daha düşüktür. Betonun eğilme etkisi altında şekil değiştirme yapabilmesi ve enerji sönümleyebilmesi için lif donatılar kullanılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda üretilen betonlar çekme ve eğilme mukavemeti yüksek değerler gösteren yapılar olmuşlardır. Beton içerisinde liflerin kullanılmaya başlamasıyla beraber betonun geleneksel kullanım alanlarının dışına çıkmış ve yeni kullanım alanları oluşturmuştur [9].

ASTM C 1116-97' ye [19] göre lif takviyeli betonlar 3' e ayrılmaktadır:

- Çelik Lif Takviyeli Betonlar (SFRC): Paslanmaz çelik, çelik alaşımı veya karbon çeliğini içerir.
- Cam Lifi Katkılı Betonlar (GFRC): Alkaliye karşı dirençli camları içerir.
- Sentetik Lif Takviyeli Betonlar (Sentetik FRC): Saf polipropilen lifler ve diğer sentetik lifleri içerir.

2.4.1 Cam Lifi Donatılı Betonların Genel Özellikleri

Cam elyaf donatılar çimento esaslı kompozit malzemelerde takviye donatı elemanı olarak kullanılan yaygın bir lif çeşitidir. Cam lifli donatılı betonlar, portland çimentosu, ince agrega, alkali dirençli cam lifler ve çeşitli kimyasal katkılardan oluşan kompozit malzemelerdir. Cam lifler korozyon riski içermemesi ve hafif olması avantajları sayesinde yapılarda çeşitli cephe ve kaplama ürünlerinin ortaya çıkmasına imkan sağlamıştır. Cam lifi, betonun eğilme dayanımını olumlu yönde etkilediği gibi betonun şekil değiştirme yapabilmesine de katkısı büyüktür. Bu sayede gevrek bir malzeme olan betonun sünekliği artırılmış olur. Çimento esaslı kompozitlerde betonun alkali etkisi nedeniyle “CEM-FİL (AR)” adı verilen alkali dayanıklı cam lifleri kullanılırken, inşaat endüstrisi dışındaki üretimlerde cam lifinin türleri olan E-Camı, S-Camı, C-Camı gibi farklı malzeme özelliklerine sahip cam lifleri kullanılmaktadır. Cam lifleri tiplerinin özellikleri Çizelge 2.2' de verilmiştir[14].

Çizelge 2.2 : Bazı cam liflerinin tipik özellikleri. [14]

Cam lifi tipi	Özgöl Ağırlık (gr/cm³)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2,54	1,7-3,5	69-72
S	2,48	2,0-4,5	85
C	2,48	1,7-2,8	70
CEM-FİL (AR)	2,70	1,7-4,5	80

2.4.2 Naylon Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri

Naylon liflerin betonda donatı olarak kullanılmaya başlaması ilk defa Amerikan Ordu Mühendisleri tarafından 1960'lı yıllarındadır. İlk kullanılma amacı ise patlayıcılara dayanıklı beton geliştirmektir [20].

Naylon lifler günümüzde betonda sünekliliği, durabiliteyi ve enerji yutma kapasitesini artırmak için donatı olarak kullanılmaktadır [21]. Naylon liflerin çekme dayanımlarının diğer sentetik liflere göre daha yüksek olması, bunu elemanı oldukları kompozite aktarmaları ve beton içerisindeki dağılımlarının daha düzenli olması sebebiyle naylon lif donatılı betonların basınç dayanımları lifsiz betona oranla belirgin bir artış göstermese de sentetik lifle üretilmiş betonlara göre daha yüksektir [22]. Bunun yanı sıra naylon lifin su emme oranının yüksek olması, çimento esaslı kompozitlerde taze halde çimentonun hidrotasyonu için yeterli su miktarının kalmamasına sebep olmaktadır ve lif ile matris arasında oluşan aderansa etki etmektedir. Bu etkinin liflerin yükleri aktaramamasına ve matris içerisinde boşluk gibi davranıp betonda kusur etkisine sebebiyet verdiği tahmin edilmektedir [20].

1971 yılında yapılan çalışmalarda naylon liflerin kompozit malzemede eğilme performansına etkisinin yanında çarpma etkisi altında yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. Yalın betona göre hacimce % 0,5 naylon lif içeren kompozitin 5 kat, yine hacimce %1 naylon lif içeren kompozitin 17 kat çarpma dayanımı olduğu tespit edilmiştir [23].

2.4.3 PVA Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri

Polivinil alkol (PVA) lif 50 yıl önce Japonya'nın ilk organik lifi olarak üretildi ve bu zamandan itibaren çeşitli uygulamalarda kullanıldı. Özellikle 1980' li yıllardan itibaren çimento esaslı kompozitlerde donatı olarak kullanılmıştır.

PVA lifler diğer organik liflere kıyasla yüksek dayanım ve elastisite modülü değerine sahiptir ve çatlak ilerlemesine karşı çok iyi performans gösterirler. PVA lifler yüksek derecede lif-matris aderansı gösterirler. Ayrıca, üretim aşamasında lif yüzeyinde lif-matris aderansını geliştirecek iyileştirmelerin, pürüzlülüklerin yapılması mümkündür[24].

PVA lif donatılı betonlarla ilgili yayınlar oldukça kısıtlı olmakla birlikte, bu betonlarla ilgili olarak yürütülen çalışmalar neticesinde, bu betonların eğilmede çekme dayanımlarının yalın betonlara kıyasla oldukça yüksek olduğu, enerji yutma kapasitelerinin yüksekliği nedeniyle oldukça sünek bir davranış sergiledikleri gözlemlenmiştir. Polivinil alkol lif donatılı betonların bu üstün özellikleri, polivinil alkol liflerin beton matrisi ile oluşturduğu aderansın kendine has özeliğinden ve bu liflerin elastisite modülü ve çekme dayanımı gibi değerlerinin oldukça yüksek olmasından ileri gelmektedir [6]. Şekil 2.6' da PVA lifli çimento esaslı kompozitte eksenel çekme altında meydana gelen çoklu mikro çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : PVA lifli çimento esaslı kompozitte mikro çatlak oluşumu [25].

2.4.4 Polipropilen Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri

Polipropilen lifler günümüzde beton içerisinde en sık kullanılan polimer liflerdendir. İlk olarak 1965 yılında, A.B.D’ de askeri yapıların inşaatında kullanılmıştır. Polipropilen liflerin dayanımları yüksektir ve betonun alkali ortamında çok iyi direnç göstermeleri nedeniyle önemli bir donatı malzemesi özelliği taşımaktadırlar [6].

Polipropilen donatı malzemesinin yüzeyinin su itici özelliğe sahip olmasından dolayı, lifler çimento bağlayıcılı matris malzemesinin içinde ıslanarak topaklanmamaktadır [8]. Polipropilen lifler ile üretilen betonlarda taze halde işlenebilirlik özellikleri üzerinde yapılan çalışmalarda, polipropilen liflerin, hacimce % 2’ ye ulaşan miktarlara kadar, taze betonun işlenebilirlik özelliği üzerinde olumsuz bir etki göstermediği gözlemlenmiştir. Polipropilen liflerin betonun basınç dayanımına etkisi ile ilgili olarak, bilim adamları arasında henüz kesin bir görüş birliğine olmasa da, polipropilen lif donatılı betonların basınç etkisi altındaki göçme mekanizmalarının ve göçme şekillerinin çok daha sünek bir karakter sergilediği bilinmektedir [26].

Günümüzde polipropilen liflerin öncelikli kullanılma amacı plastik rötre çatlaklarını önlemektir. Betonun yangına karşı dayanımını da arttırdığı bilinmektedir [27].

2.4.5 Karma Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri

Karma lif donatılı betonlar, aynı liflerin farklı türleri ya da farklı malzemeden meydana gelmiş liflerin farklı oranlarda kullanılmasıyla üretilen betonlardır. Böyle bir karışımın oluşturulmasındaki hedef meydana gelen mikro çatlakları kısa lifler ile köprülemektir. Uzun lifler ise meydana gelen makro çatlakları karşılamada görev alırlar. Böylelikle, kompozitin yüksek plastik şekil değiştirmelere ulaşması ve enerji yutma kapasitesinin en üst düzeyde tutulması sağlanır [7].

Kısa lifler;

- Boyutları nedeniyle matris içinde daha sık bir lif dağılımı oluştururlar,
- Çatlakları makro düzeye gelmeden durdururlar,
- Elastik bölgedeki davranışı iyileştirirler.

Uzun lifler ise;

- Elastisite modülünü, çekme ve eğilme dayanımlarını artırır,

- Makro düzeydeki çatlakları kontrol ederler,
- Maksimum yük taşıma kapasitesi aşıldıktan sonraki davranışı iyileştirirler.

2.4.6 Selülozik Lif Donatılı Betonların Genel Özellikleri

Çimento esaslı selülozik lif donatılı kompozit paneller inşaat sektöründe kullanımı oldukça yaygın kompozit malzemelerdir. Özellikle Avrupa’ da ve Asya’ da popüler olarak dış cephe, çatı ve zemin kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır.

Selülozik lifler, 2. Dünya Savaşı sonrası asbest liflere alternatif olarak çimento esaslı kompozitlerin içerisinde kullanılmaya başlamıştır. Asbest liflerin kullanımı 1950’ li yıllarda yükselişe geçmiş olsa da 1970’ lerin ortasında taşıdığı sağlık riskleri sebebiyle kullanımı azalmaya başlamıştır. Bu durum selülozik liflerin kompozit paneller içerisinde kullanımını arttırmış ve bir çok çimento esaslı asbest lifli üretim gerçekleştiren özel şirketler üretimlerini selülozik lif kullanımına çevirmişlerdir [28].

Günümüzde selülozik lifler, asbetsli lifler için geliştirilen üretimler yerine çeşitli çimento esaslı kompozitlerin içerisinde kullanılmaktadır. Selülozik lifler karşında ağırlıkça % 5 ila % 15 oranında kullanılmakta ve yoğunlukları 1,1 – 1,8 gr/cm³ arasında değişmektedir.

2.4.7 Ahşap Yongalı Betonların Genel Özellikleri

Çimento esaslı ahşap yongalı paneller hızlı üretim ve kolay temin edilebilirliği avantajı sayesinde günümüz inşaat endüstrisinde iç ve dış cephe panel malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır.

Ahşabın çimento esaslı malzemelerde kullanılmaya başlaması yüzyılı aşkın bir süre olsa da endüstriyel olarak kullanımı 1930’lü yıllarda başlamıştır ve son 40 yıl içerisinde önemli ölçüde gelişmiştir. Bu gelişim sürecini asbest liflerinin kanserojen olduğunun kanıtlanması hızlandırmıştır ve bir çok üretici alternatif olarak ahşap takviyeli panel üretimine yönelmiştir [29]. Çimento esaslı ahşap yongalı paneller inşaat sektöründe çok kısa sürede kabul görmüş ve bir çok ülkede uygulaması gerçekleştirilmiştir [30].

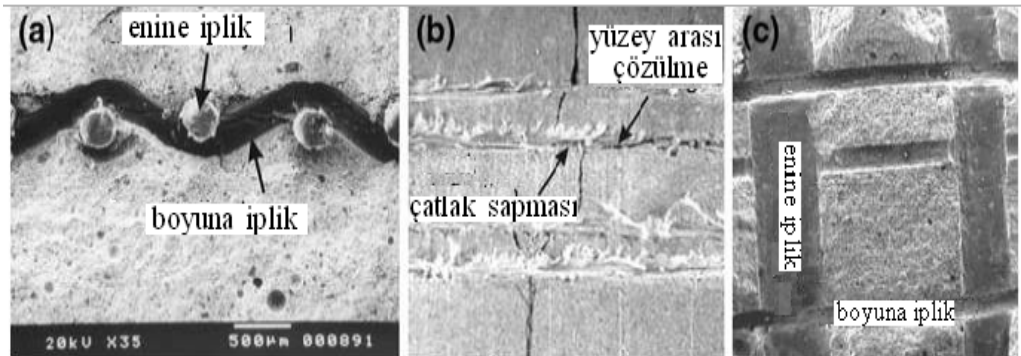
Çimento esaslı ahşap yongalı betonlar kürlenme işlemi havada ve basınç ile otoklav ortamda yapılabilmektedir. Otoklav yöntemi ile kürlenme işlemi malzemenin dayanımını geliştirdiği bilinmektedir.

2.4.8 Tekstil Donatılı Betonlar

Çimento esaslı kompozitler için donatı takviye elamanı olarak kullanılan türlerden biri de tekstillerdir. Kumaş takviyesi, günümüzde kısa lif kullanılarak üretimi yapılan betonlara alternatif olarak geliştirilmiştir. Mekanik aderansının yüksek olması çimento matris ile takviye malzemesi arasındaki tutunmanın artmasını sağlar [31]. Kesilmiş kısa fiberlerin üretilen beton içerisinde rasgele ve kısmen düzensiz dağılması liflerin etkin bir biçimde kullanılmasını engellemektedir. Tekstil takviyeli betonlarda ise lifli malzemeden daha fazla avantaj sağlamak için, tekstiller malzemenin çekme kuvveti doğrultusunda yerleştirilebilmektedir [32].

Tekstil takviyeli çimento esaslı kompozitlerde, çimento hamurunun tekstilin tamamına ulaşması, boşluklardan geçerek tekstilin tamamını sarması mekanik performans için gereklidir [33]. Çimento matrisin kumaştaki boşluklardan ve dokunmuş kumaşlarda iplikler arasından nüfuz etmesi çimento matris ile tutunmaya sebep olur, eğilme performansını artırır [34]. Matrix'in filamentler arasından yetersiz nüfuz etmesi filamentlerin güçlendirme potansiyelinin düşmesine neden olur [31].

Kumaş ve ipliklerin özel geometrisinin çimento matrisi ile aderansta önemli etkisi vardır. Dokunmuş kumaş yapısı, atkı ve çözgü iplikleri arasındaki iç bağlantılar sayesinde aderans kuvveti ile birlikte kompozitin mukavemetini önemli miktarda yükseltir. İpliğin kıvrımlı geometrisi kumaş biçiminde olmayan düz ipliğe göre mekanik tutunma ve sürtünme direnci sağlar [31,34]. Tekstil kumaşlarının yapısı çatlağın yayılma yolu üzerinde dolaylı bir yol yaratır böylece kompozitin mukavemetini ve sünekliğini geliştiren çatlak sapma sürecine katkıda bulunur [35]. Şekil 2.7' de SEM yardımı ile kumaş takviyeli kompozitlerdeki çatlak sapması gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Kumaş takviyeli çimentolu kompozitlerde çatlak sapması [36].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, üretimde kullanılan malzemeler ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Öte yandan, çalışma kapsamında üretilen numuneler ve endüstriyel olarak üretimi gerçekleştirilen panel numuneleri üzerinde uygulanan deneyler ve bu deneyler sonrası yapılan hesaplamalar aktarılmıştır.

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1 Çimento

Bu çalışma için üretilen numunelerin tümünde Adana Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 52,5 R/85 beyaz portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2' de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
Priz başlangıç süresi (dak.)	115
Hacim genleşmesi (mm)	1,0
Beyazlık (%)	85,3
2 Günlük Basınç Dayanımı (Mpa)	37,0
28 Günlük Basınç Dayanımı(Mpa)	60,0

Çizelge 3.2 : Çimentonun kimyasal bileşimi.

Bileşen	Değer
SO ₃ (%)	3,45
Çözünmez kalıntı (%)	0,16
Kızdırma kaybı (%)	3,10
Çözünen Krom ⁺⁶ (ppm)	0,50
Klorür (CL ⁻) (%)	0,011

3.1.2 Agregat

Çalışma kapsamında özgül ağırlığı 2650 kg/m³ olan kuvars kumundan max. 800 µ, dane boyutunda kuvars içermektedir.

3.1.3 Cam Elyaf

3.1.3.1 Kesilmiş Cam Elyaf

Bu çalışmada kesilmiş cam lif olarak özgül ağırlığı 2,68 g/cm³ olan alkali dirençli CEM-FIL Anti-Crack 74/12 kullanılmıştır. 74 lifin uzunluğunun çapına oranını, 12 ise lifin 12 mm uzunluğunda olduğunu belirtmektedir. Lifin çekme dayanımı üretici tarafından 1700 MPa olarak belirtilmiştir. Üretimde kullanılan kesikli cam lifin görüntüsü Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Kesilmiş cam lifi görüntüsü.

3.1.3.2 Sürekli Cam Elyaf

Bu çalışmada sürekli cam elyaf olarak özgül ağırlığı $2,68 \text{ g/cm}^3$ olan alkali dirençli CEM-FIL AntiCrack 54,2 76Tex 2450 Roving ürünü kullanılmıştır. Lifin çekme üretici tarafından dayanımı 1700 MPa olarak belirtilmiştir. Sürekli cam lifi görüntüsü Şekil 3.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Sürekli cam lif görüntüsü.

3.1.4 Kimyasal Katkı

Karışımların su miktarlarının azaltılması amacıyla değişen miktarlarda Polikarboksilat esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Çizelge 3.3’ te süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri.

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilat Esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	$1,1 \text{ kg/dm}^3$
Klor İçeriği % (EN480-10)	$< 0,1$
Alkali İçeriği % (EN 480-12)	< 3
pH değeri	6.6

3.1.5 Karışım Suyu

Beton numunelerin üretilmesinde ve kürlenmesi sırasında 23 ± 2 °C kirece doymuş şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2 Çimento Esaslı Kompozit Üretimi

Bu çalışma kapsamında kesilmiş ve sürekli cam elyaf takviye çimento esaslı kompozit numuneler üretilmiştir. Üretiminde kesilmiş ve sürekli lif olarak ağırlıkça % 1,5 ve % 2,5 olmak üzere iki farklı oranda lif kullanılmıştır. Üretimlere referans olarak lifsiz kontrol numune üretimleri de yapılmıştır. Üretimlerde su / çimento oranı sabit tutulmuş ($s/\phi = 0,37$), kıvam süper akışkanlaştırıcı katkı ile kontrol edilmiştir.

3.2.1 Üretim Yöntemi

3.2.1.1 Kesilmiş Cam Lif Takviyeli Panel Üretim Yöntemi

- Çimento, kum ve agregalar mikserde konularak kuru karışım hazırlanır .
- Ardından karışım suyu'nun (kirece doymuş şebeke suyu) yarısı karışıma eklenerek karıştırılır.
- Süper akışkanlaştırıcı kalan karışım suyuna eklenerek mikserde karıştırılır.
- Hazırlanan karışıma önceden tartılarak hazırlanmış ilgili üretime ait lif miktarı kadar lif eklenerek karıştırılır.
- Karışım kalıplara yerleştirilir.

3.2.1.2 Sürekli Cam Lif Takviyeli Panel Üretim Yöntemi

- Çimento, kum ve agregalar mikserde konularak kuru karışım hazırlanır .
- Ardından karışım suyunun (kirece doymuş şebeke suyu) yarısı karışıma eklenerek karıştırılır.
- Süper akışkanlaştırıcı kalan karışım suyuna eklenerek mikserde karıştırılır.
- Karışım kalıplara yerleştirilir ve belirlenen aralıklarla sürekli cam lifler oluşturulmuş karışımın içine belirlenen doğrultuda gömülür.

3.2.2 Çalışma İçeriği ve Kapsamı

Bu çalışma kapsamında su/çimento oranı ve çimento dozajı sabit tutularak lifsiz, kesilmiş cam lifli ve sürekli cam lifli üretimler yapılmıştır. Üretimi yapılan karışımlar kendi aralarında mekanik performansları ve su emme özellikleri

bakımından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar sektörde ticari olarak kendine yer bulmuş farklı bağlayıcı, lif ya da tekstil donatı panellerle ile karşılaştırılmıştır.

3.2.3 Numune İsimlendirilmesi ve Beton Karışımları

Numune kodları belirlenirken ilk olarak kompozit malzemenin matris türüne göre ayırmda bulunulmuştur. Daha sonra malzemede kullanılan donatılar kodlanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen malzemelerin kodlamasında lif oranı dikkate alınmıştır ve Çizelge 3.4’ te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 : Üretimi yapılan çimento esaslı numunelerin kodları.

Donatı Türü	Donatı Sembolü	Lif Yüzdesi	Numune Kodu
-	-	%0	Matris
Kesik Cam Lif	KCL	%1,5	Ç-KCL-1,5
Kesik Cam Lif	KCL	%2,5	Ç-KCL-2,5
Sürekli Cam Lif	SCL	%1,5	Ç-SCL-1,5
Sürekli Cam Lif	SCL	%2,5	Ç-SCL-2,5

Numune kodu olarak Çimento esaslı kompozit panellere “Ç” kodu verilmiştir. Kompozit içerisinde takviye elemanı olarak kullanılan donatıların türü, sembolü ve numune kodları Çizelge3.5’ te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : Çimento esaslı panel numune kodları.

Donatı Türü	Donatı Sembolü	Numune Kodu
Kesik Cam Lif	KCL	Ç-KCL
Sürekli Cam Lif	SCL	Ç-SCL
Tekstil Donatı	TD	Ç-TD
Ahşap Yonga	AY	Ç-AY
Selülozik Lif	SL	Ç-SL

Magnezyum esaslı kompozit panel numunesinde matris kodunu çimento esaslı kompozit panellerden ayırmak için “M” harfi kullanılmıştır. Magnezyum esaslı

kompozit panel içerisinde takviye elemanı olarak kullanılan donatı türü, sembolü ve numune kodu Çizelge 3.6’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Magnezyum oksit esaslı panel numune kodlaması

Donatı Türü	Donatı Sembolü	Numune Kodu
Teskitil Donatılı	TD	M-TD

Üretimi gerçekleştirilen numunelere ait karışım oranları Çizelge 3.7’de verilmiştir. Bütün karışımlarda su/çimento oranı ve agrega/çimento oranı sabittir. Ayrıca akışkanlaştırıcı/bağlayıcı oranı tüm karışımlarda aynıdır.

Çizelge 3.7 : Üretimi yapılan numunelere ait karışım oranları.

Numune Kodu	Agrega/Çimento Oranı	Su/Çimento Oranı	Çimentoya Oranla Katkı Ağırlığı (%)	Lif Oranı (%)
Matris	1	0,37	1,25	0
Ç-KCL-1,5	1	0,37	1,25	1,5
Ç-KCL-2,5	1	0,37	1,25	2,5
Ç-SCL-1,5	1	0,37	1,25	1,5
Ç-SCL-2,5	1	0,37	1,25	2,5

Çalışma kapsamında kullanılan lif oranları hesaplanırken karışımın toplam ağırlığına oranı baz alınmıştır. Ağırlıkça %1,5 cam lifi kullanımı hacimce %1,0’e, ağırlıkça %2,5 cam lifi kullanımı ise hacimce %1,5’a tekabül etmektedir.

3.2.4 Numune Ebatları

Panellerin eğilme dayanımlarını ve kırılma enerjilerinin belirlenmesi için 350x50 mm, çekme deneyi için 350 x 40 mm, su emme deneyi için 225 x 50 mm, genleşme oranı tayini deneyi için 75 x 350 mm ebatlarında prizma numuneler, endüstriyel olarak üretimi gerçekleştirilen sektörde kabul görmüş panellerden kesilerek elde edilmiştir. Panel malzemelerin kalınlıkları Çizelge 3.8’ de gösterilmiştir. Kesilmiş ve sürekli cam lifiyle üretilen numunelerden de 350 x 50 mm, çekme deneyi için 350 x 40 mm, su emme deneyi için 225 x 50 mm ebatlarında numuneler üretilmiştir.

Çizelge 3.8 : Endüstriyel olarak üretilen panellerin kalınlıkları

Kompozit Panel	Kalınlık (mm)
Çimento Esaslı Tekstil Donatılı Panel	12,5
Çimento Esaslı Selülozik Lifli Panel	8,0
Çimento Esaslı Ahşap Yongalı Panel	8,0
Magnezyum Esaslı Cam Lifli Panel	12,0

3.3 Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

Bu bölümde, üretimi gerçekleştirilen numuneler ve sektörde kabul görmüş endüstriyel olarak üretilen panel numuneler üzerinde eğilme, çekme, su emme, birim ağırlık ve genleşme oranı tayini deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca numunelerin kırılma enerjileri de hesaplanmıştır.

3.3.1 Eğilme Deneyi

Numunelere dört noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Her kompozit malzeme türünden en az 5 numunede deney gerçekleştirilmiştir. Deney aracı olarak, maksimum kapasitesi 100 KN olan Instron 5500 R kapalı çevrimli deplasman kontrollü deney makinesi kullanılmıştır. Yükleme hızı 0,8 mm dakika/sehim'dir. Numune boyutları belirtildiği gibi 350 x 50 mm' dir. Mesnet açıklığı 300 mm, yükleme mesnetleri, kenar mesnetlerinden 10'ar cm içeridedir (Şekil 3.3). Deney, kompozit numune taşıdığı max. kuvvet değerinin % 70' ini kaybettiği zamana değin sürmüştür.

Numunelerin eğilme dayanımları (3.1) bağıntısı kullanılarak hesaplandı.

$$F_{net} = (Pl) / (bh^2) \quad (3.1)$$

$$F_{net} = \text{Net eğilme dayanımı (N/mm}^2\text{)}$$

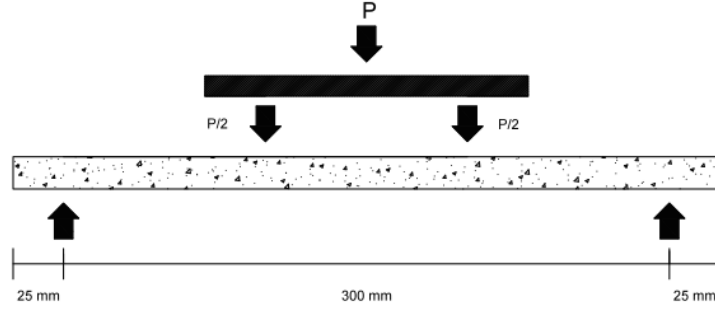
$$P = \text{Kırılma Yüğü (N)}$$

$$l = \text{Mesnet açıklığı (mm)}$$

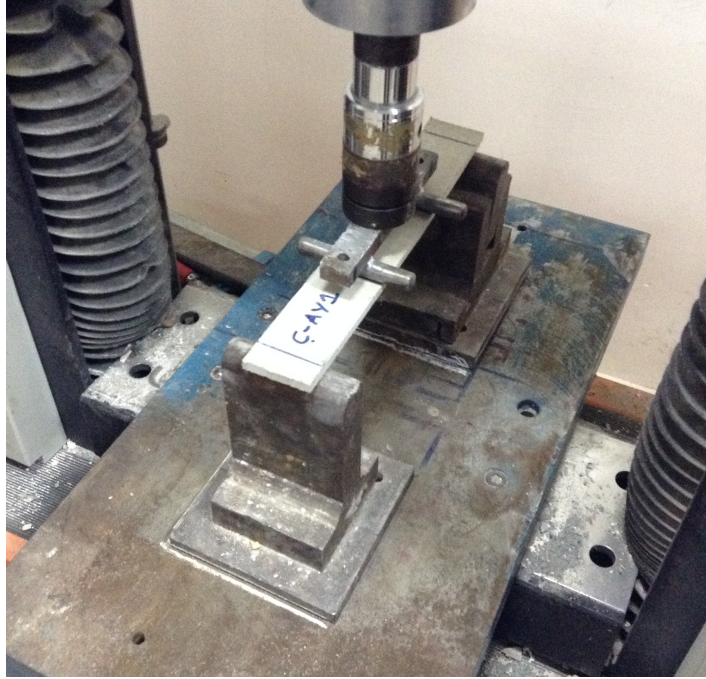
$$b = \text{Kesit genişliği (mm)}$$

$$h = \text{Kesit yüksekliği (mm)}$$

Kırılma enerjisi, eğilme deneyi sonucu elde edilen gerilme-sehim grafiğinin altında kalan alana eşittir. Böylece grafikler altındaki alan hesaplanarak üretilen kompozitlerin kırılma enerjisi elde edilir.



(a)



(b)

Şekil 3.3 : Eğilme deneyi kurulumu: (a) Temsili mesnetler, (b) Sistem düzeneği.

3.3.2 Çekme Deneyi

Çekme deneyi her kompozit panel için 5 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney aracı olarak, maksimum çekme kapasitesi 5000 N olan MTS deney aleti kullanılarak çekme yükleri ve maksimum uzama miktarları elde edilmiştir. Yükleme hızı 1 mm dakika/uzama'dır. Numune boyutları belirtildiği gibi 350 x 40' dir. Çekme deneyi düzeneği Şekil3.4'te gösterilmiştir.

Numunelerin çekme gerilmeleri (3.2) bağıntısı kullanılarak hesaplandı.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

Formüldeki simgeler ise:

σ : Çekme gerilmesi (N/mm²)

P : Çekme kuvveti (N)

A : Kesit alan (mm²)



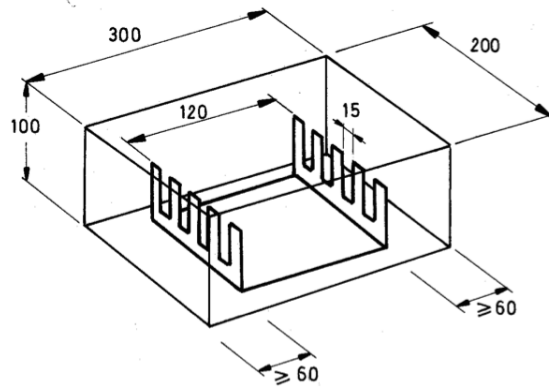
Şekil 3.4 : Çekme deneyi düzeneği

3.3.3 Su Emme ve Kuru Yoğunluk Tayini Deneyi

Su emme deneyinde kullanılmak üzere deney numuneleri düz plaka panel üzerinden üretimi temsil edecek şekilde alınır. Panelden alınan deney numuneleri 6 günlük

olana kadar aynı şartlar altında saklanır. 6 gün süreyle saklanan numuneler 24 saat boyunca oda sıcaklığında 7 günlük olana kadar bekletilir. Deney numunelerinin genişliği TS EN 1170-6 standartına göre 50 mm ve uzunluğu 225 mm olarak belirlenmiştir.

Numunelerin boyutları mm cinsinden ölçülerek her birinin hacmi hesaplanır ve cm^3 olarak değeri ifade edilir. 7 günün sonunda deney numuneleri 20°C ' da su ile dolu tabanı düz olan bir su tankı içine Şekil 3.5' te görüldüğü üzere kanallar tarafından düşey tutulacak şekilde yerleştirilir. Suda bekleme süresi 24 saattir.



Şekil 3.5 : Su emme testine ait deney düzeneği.

Numuneler sudan alındıktan sonra yüzeyleri nemli bir bez yardımıyla yüzey suyu iyice alınıncaya kadar silinir ve tartma işlemleri yapılır.

m_d :kuru kütle (g)

m_w : ıslak kütle (g)

V : Deney parçasını hacmi (cm^3)

γ : Suda bekleme sonucu su emme, kütlece

ρ_d : Kuru yoğunluk (kg/m^3)

Suda bekletme ile su emme γ , kütlece % olarak ifade edilir ve şu şekilde hesaplanır.

$$\gamma = (m_w - m_d) / (m_d) * 100$$

Birim ağırlık kg/m^3 olarak ifade edilir ve şu şekilde hesaplanır.

$$\rho_d = (m_d / V) * 10^3$$

3.3.4 Genleşme Oranının Belirlenmesi

Genleşme oranının belirlenmesi amacıyla TS EN 12476 EK C’de belirtilen koşullara ve numune ebatlarına göre testler gerçekleştirilmiştir. Buna göre 75x350 mm ebatlarındaki kompozit paneller % 30 ve % 90 bağıl nem içeren ortamlarda şartlandırılarak boyutlarında meydana gelen değişiklikler kaydedilmiştir. Deneyler “Nüve ID 300” nem ve sıcaklık kontrollü iklimlendirme kabininde gerçekleştirilmiştir. Buna göre % 90 bağıl nemde 24 saat şartlandırılan kompozit panellerin %30 bağıl neme göre boyca yüzde değişimi belirlenmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Kompozit Panel Malzemeleri Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları

Üretilen numuneler ve sektörde kabul görmüş kompozit panel numuneler üzerinde eğilme dayanımlarını ve kırılma enerjilerini belirlemek için 4 noktalı eğilme deneyi, çekme dayanımlarının ve uzama kapasitelerinin incelenmesi amacıyla çekme deneyi, su emme oranlarını, kuru yoğunluklarını, genişleme oranını belirlemek için su emme deneyi, birim ağırlık ve genişleme oranı tayini deneyleri uygulanmıştır.

4.1.1 Eğilme Deneyi Sonuçları

350 x 50 mm ebatlarında üretimi gerçekleştirilen numuneler ve endüstriyel malzeme numuneleri üzerinde yapılan 4 noktalı eğilme deneyi ile elde edilen eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir. Eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri için verilen değerler 5 numune üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen değerlerin ortalamasıdır.

Çizelge 4.1 : Kompozit malzeme ve matrisin eğilme deneyi sonuçları.

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Enerjisi (J)
Ç-AY	7,74	0,18
Ç-SL	18,31	0,39
Ç-TD	6,30	2,24
M-TD	7,12	0,21
Matris	4,63	0,06
Ç-KCL-1,5	7,23	1,34
Ç-KCL-2,5	12,40	1,40
Ç-SCL-1,5	6,20	1,02
Ç-SCL-2,5	5,48	0,35

4.1.2 Çekme Deneyi Sonuçları

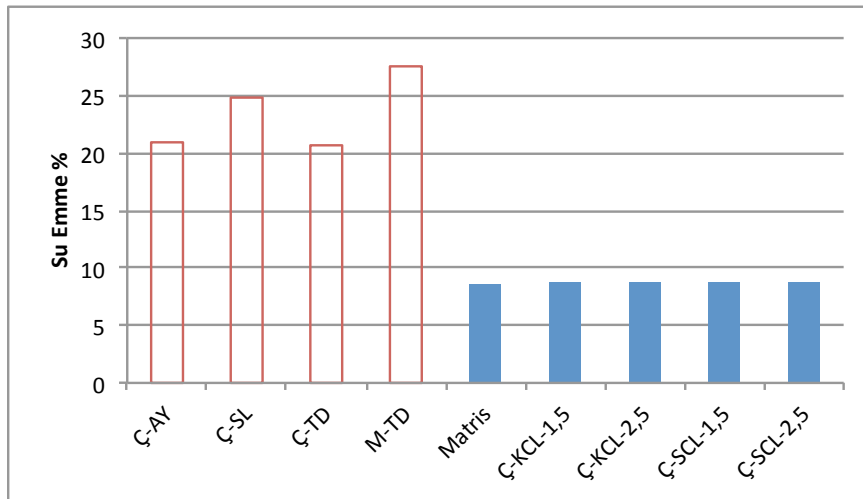
Numuneler üzerinde yapılan çekme deneyi ile elde edilen çekme kuvveti sonuçlarına göre hesaplanan çekme dayanımları Çizelge 4.2’ de gösterilmiştir. Çekme dayanımı için verilen değerler, 5 numune üzerinde yapılan deneyler sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır.

Çizelge 4.2 : Kompozit panellerin ve matrisin çekme dayanımları.

Malzeme Adı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
Ç-AY	2,25
Ç-SL	6,55
Ç-TD	1,75
M-TD	1,93
Matris	2,71
Ç-KCL-1,5	2,38
Ç-KCL-2,5	2,89
Ç-SCL-1,5	1,82
Ç-SCL-2,5	1,69

4.1.3 Su Emme ve Birim Ağırlık Tayini Deneyi Sonuçları

Numuneler üzerinde yapılan su emme deneyi ile bulunan değerler Çizelge 4.3 ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Su emme için verilen değerler, en az 5 numune üzerinde yapılan deneyler sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır.



Şekil 4.1 : Kompozit malzemelerin ve lifsiz karışımın su emmeleri

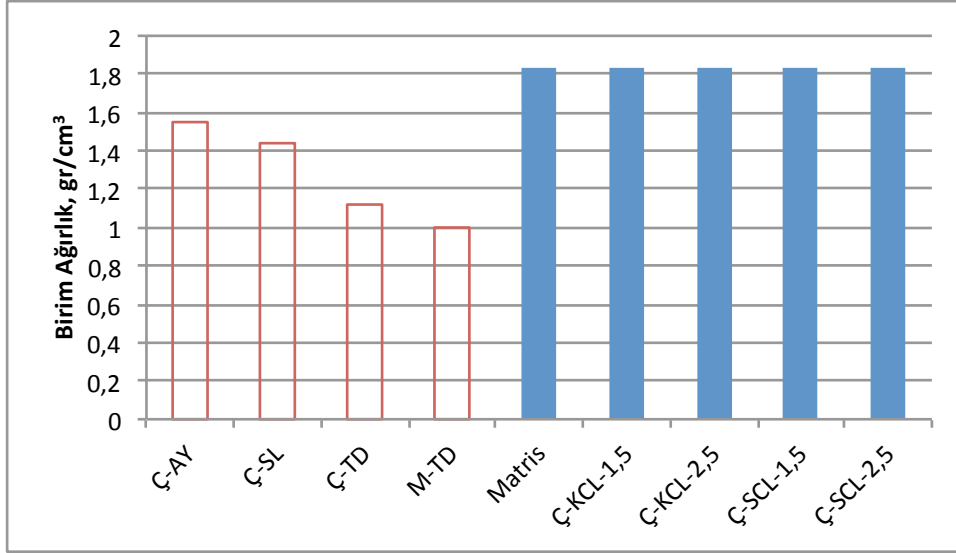
Çizelge 4.3 : Su emme deneyi sonuçları.

Malzeme Adı	Su Emme (%)
Ç-AY	20,93
Ç-SL	24,82
Ç-TD	20,67
M-TD	27,54
Matris	8,58
Ç-KCL-1,5	8,72
Ç-KCL-2,5	8,69
Ç-SCL-1,5	8,71
Ç-SCL-2,5	8,72

Birim ağırlık deneyi en az 5 numune üzerinde yapılmıştır. Bulunan değerlerin ortalaması Çizelge 4.4 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : Birim ağırlık deneyi sonuçları

Malzeme Adı	Birim Ağırlık (gr/cm³)
Ç-AY	1,55
Ç-SL	1,44
Ç-TD	1,12
M-TD	1,00
Matris	1,82
Ç-KCL-1,5	1,83
Ç-KCL-2,5	1,83
Ç-SCL-1,5	1,83
Ç-SCL-2,5	1,83



Şekil 4.2 : Kompozit malzemelerin ve matrisin birim ağırlıkları.

4.1.4 Genleşme Oranı Tayini Deneyi Sonuçları

Genleşme oranı tayini deneyi en az 5 numune üzerinde yapılmıştır. Genleşme oranı tayini deneyinde elde edilne sonuçların ortalaması Çizelge 4.5’ te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Genleşme oranı tayini deneyi sonuçları

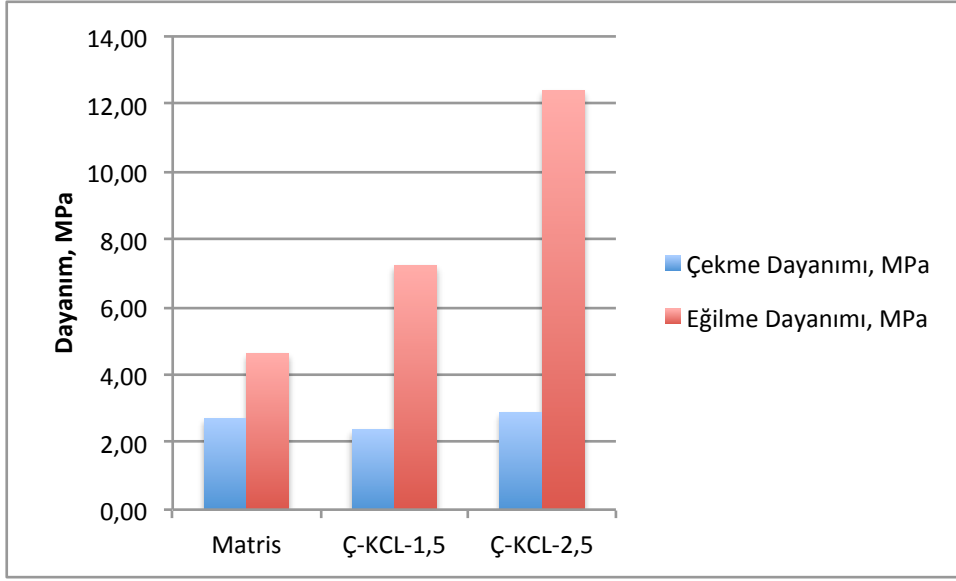
Malzeme Adı	Genleşme Oranı (mm/m)
Ç-AY	0,890
Ç-SL	1,246
Ç-TD	0,972
M-TD	1,324
Matris	0,694
Ç-KCL-1,5	0,695
Ç-KCL-2,5	0,693
Ç-SCL-1,5	0,694
Ç-SCL-2,5	0,694

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Eğilme ve Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

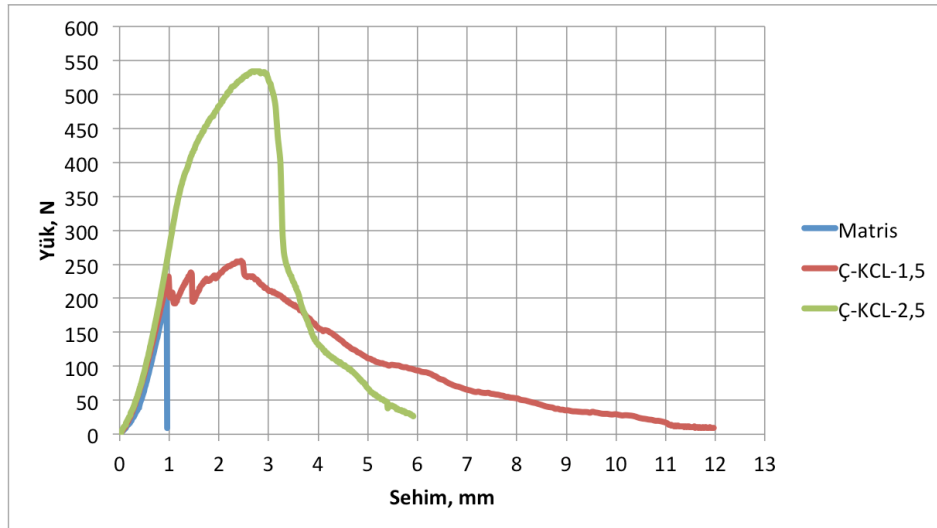
Bu kısımda üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı lifsiz karışım, kesikli cam lifli karışım ve sürekli cam lifli karışım ile endüstriyel olarak üretimi gerçekleştirilen kompozit panel numuneleri üzerinde uygulanan eğilme ve çekme deneyi sonuçları değerlendirilmiştir. Öncelikli olarak üretimi gerçekleştirilen kompozitlerin eğilme ve çekme deneyi sonuçları incelenmiştir, daha sonra bu sonuçlar endüstriyel olarak üretilen ve sektörde kabul görmüş panellerden hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı kesik cam lif donatılı kompozitler ve lifsiz karışım üzerinde yapılan eğilme ve çekme deneyine ait dayanım sonuçları Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Lifsiz karışımın eğilme dayanımının 4,63 MPa, çekme dayanımının 2,71 MPa olduğu tespit edilmiştir. Ağırlıkça %1,5 oranında kesilmiş cam lifi kullanılması durumunda kompozitin eğilme dayanımının 7,23 MPa, çekme dayanımının 2,38 MPa olduğu, % 2,5 oranında kesik cam lifi içeren kompozitin eğilme dayanımının 12,40 MPa, çekme dayanımının ise 2,89 MPa olduğu belirlenmiştir. Buna göre kesilmiş cam lif oranındaki artışın eğilme dayanımına olumlu etkisi açıkça görülmektedir. %1,5 oranında kesik cam lifi kullanımının lifsiz karışımın eğilme dayanımını yaklaşık %35 artırdığı, %2,5 oranında kullanılan kesilmiş cam liflerinin matrisin eğilme dayanımını %63 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Lifsiz karışım ve kesik cam lifli karışımların çekme dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında, çekme dayanımında sistematik bir artış tespit edilememiştir. Karışımda kullanılan lif oranının artması çekme dayanımını önemli ölçüde arttırmadığı görülmüştür. %1,5 oranında kesik cam lifli karışımın çekme dayanımının, lifsiz karışımın çekme dayanımına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. %2,5 kesik cam lifi içeren karışımın çekme dayanımı ise lifsiz karışıma ve %1,5 kesik cam lifli karışıma göre kısmen daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.1 : Matris, Ç-KCL-1,5 ve Ç-KCL-2,5 kompozitlerinin eğilme dayanımları

Şekil 5.2’de üretimi gerçekleştirilen lifsiz karışım, ağırlıkça % 1,5 ve % 2,5 kesilmiş cam lifli karışımlara ait eğilme deneyindeki yük sehim grafiği verilmiştir. Lifsiz olarak üretilen karışımın ani göçme yaparak kırıldığı görülmüştür. Kesik cam lifli olarak üretimi gerçekleştirilen numunelerde ise kırılma sonrası yük, lifler ile aktarılmaya devam etmiş, kompozit sünek davranış göstermiştir. Çatlakların lifler tarafından köprülenmesi Şekil 5.3’te gösterilmektedir.

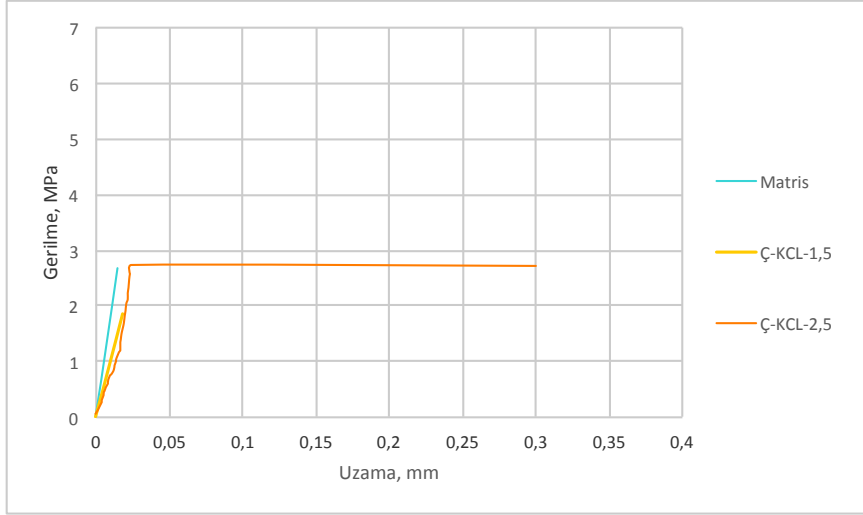


Şekil 5.2 : Matris, Ç-KCL-1,5 ve Ç-KCL-2,5 kompozitlerinin yük sehim grafiği



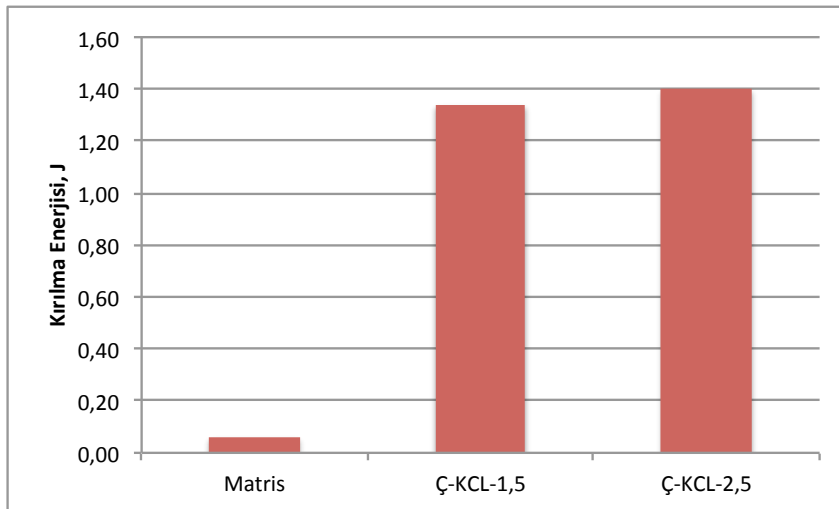
Şekil 5.3 : Çimento esaslı kesik cam lifli numunede çatlak köprüleme

Şekil 5.4'te lifsiz karışıma ve kesikli cam lifli üretilmiş karışımlara ait çekme deneyindeki gerilme uzama grafikleri verilmiştir. Lifsiz olarak üretilen karışımın ve ağırlıkça %1,5 kesik cam lifi içeren kompozitin kopma sonrası deformasyon yapmadığı görülmüştür. Ağırlıkça %2,5 kesik cam lifi içeren kompozitte ise kırılma sonrası sabit yükte uzamanın 0,3 mm'e kadar devam ettiği belirlenmiştir. Kesik cam lifi oranının artması ile beraber çekme dayanımında kayda değer bir artışın olmadığı ancak aynı deformasyona sahip panellerde taşınan yükün azaldığı sonucu tespit edilmiştir. Kesik cam lif oranı %2,5 olarak üretilen kompozitin kırılmadan sonra sabit yük altında deformasyon yaptığı belirlenmiştir. Bu durum kompozitin daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.



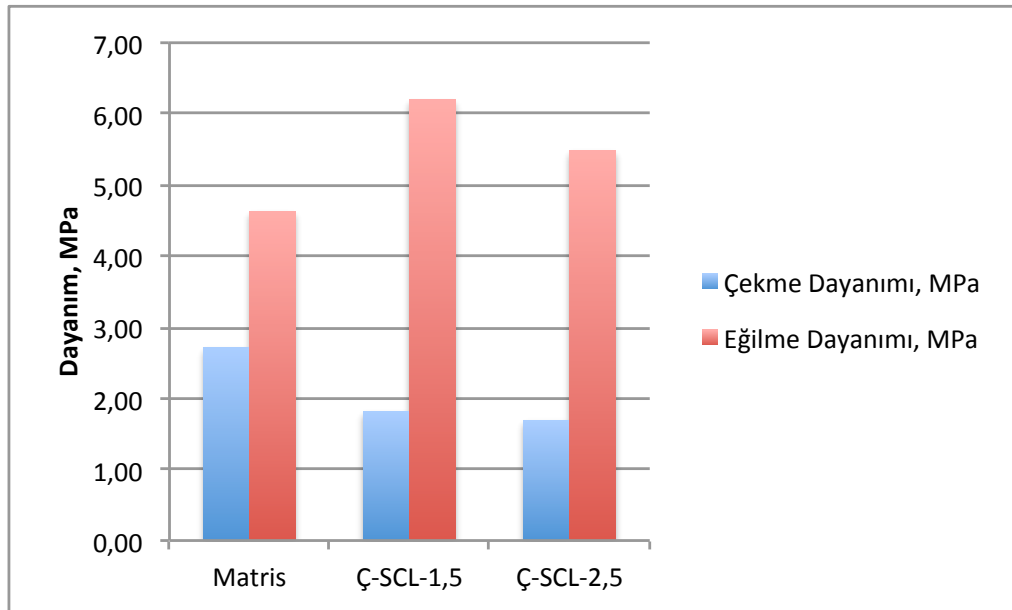
Şekil 5.4 : Kesikli cam lifli numunelerin gerilme uzama grafiği

Üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı kesilmiş cam lif donatılı karışımların ve lifsiz karışımın kırılma enerjileri eğilme deneyindeki yük-deformasyon grafikleri yardımıyla hesaplanmıştır. Buna göre matrisin kırılma enerjisi 0,06 J, ağırlıkça %1,5 oranında kesilmiş cam lifi içeren karışımın 1,34 J, %2,5 kesilmiş cam lifi içeren karışımın kırılma enerjisi ise 1,40 J olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.5'te lifsiz karışımın ve kesilmiş cam lifi ile üretimi yapılmış karışımların kırılma enerjileri karşılaştırılmıştır. Karışıma eklenen ağırlıkça %1,5 kesikli lif miktarı malzemenin kırılma enerjisini 22 kat arttırdığı görülmüştür. Karışıma eklenen kesikli lif miktarının %2,5 olması durumunda kırılma enerjisi, %1,5 kesik cam lifli karışıma göre yüksek bir artış meydana getirmediği belirlenmiştir. Burada deneyin maksimum yüke oranlanan bir yükte sonlandırılmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.5 : Matris ve kesikli cam lifli karışımlara ait kırılma enerjileri

Ağırlıkça farklı oranlarda sürekli cam lif içeren kompozitlere yapılan eğilme ve çekme deneyi sonucunda elde edilen dayanımlar Şekil 5.6’da verilmiştir. Bu sonuçlara göre; ağırlıkça %1,5 oranında sürekli cam lifi içeren kompozitin eğilme dayanımı 6,20 MPa, çekme dayanımı ise 1,82 MPa olarak belirlenmiştir. %2,5 oranında sürekli cam lifi içeren kompozitin eğilme dayanımının 5,48 MPa, çekme dayanımının ise 1,69 MPa olduğu tespit edilmiştir. Sürekli cam liflerinin matrisin eğilme dayanımına etkisinin dikkate değer miktarda olmadığı tespit edilmiştir. Sürekli cam lifi kullanımındaki artış ile beraber eğilme dayanımının düştüğü belirlenmiştir. Bunun nedeninin sürekli cam lif ile matris arasındaki aderansın yeterli olmayışından ve liflerin kompozit içerisinde boşluk oluşturarak kusur etkisine sebebiyet vermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yeterli aderansın sağlanamamasıyla lifler matris içerisinden sıyrılmıştır. Şekil 5.7’de sürekli cam lifin kırılma sonrası kompozit içerisinde görünümü verilmiştir. Sürekli cam lifli karışımlara yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre, kullanılan lif oranının artması ile çekme dayanımının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum eğilme deneyi sonuçları ile paralellik göstermektedir.

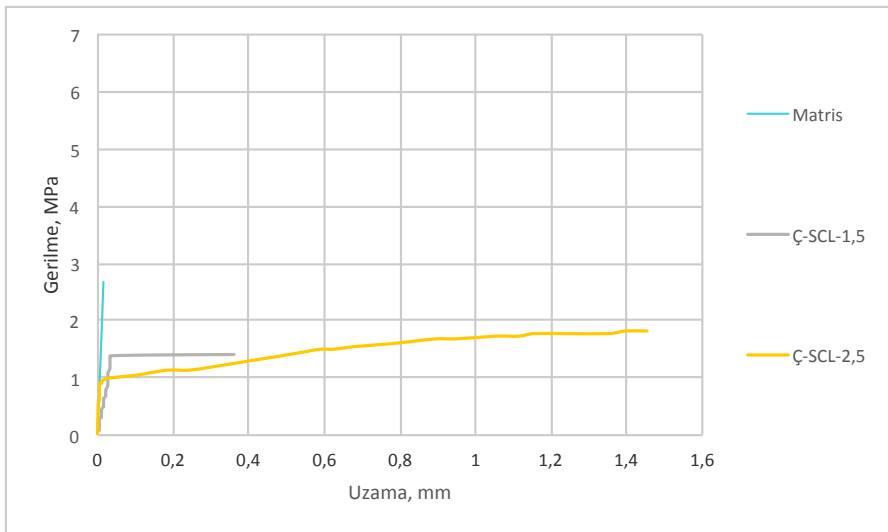


Şekil 5.6 : Matris, Ç-SCL-1,5 ve Ç-SCL-2,5 kompozitlerinin eğilme dayanımları.



Şekil 5.7 : Çimento esaslı sürekli cam lifli kompozitin kırılma sonrası görüntüsü.

Çekme deneyinde ağırlıkça farklı oranlara sahip sürekli cam lifli kompozitlere ve lifsiz karışıma ait gerilme uzama grafiği Şekil 5.8’de verilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında sürekli lif oranının artması ile uzama değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Lifsiz karışımın en yüksek yük değerine ulaştıktan sonra koptuğu görülmüştür. Sürekli cam lif içeren kompozitlerde ise meydana gelen ilk çatlak sonrası uzamanın devam ettiği tespit edilmiştir. Ağırlıkça %1,5 sürekli cam lifi içeren kompozit 0,3 mm’ye kadar uzama yaparken, ağırlıkça %2,5 sürekli cam lif içeren kompozit 1,5 mm’e kadar uzama yaptığı belirlenmiştir. Bu sonuç sürekli cam lifi içeren kompozitin yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olduğunu da göstermektedir.



Şekil 5.8 : Sürekli cam lifli numunelerinin gerilme uzama grafikleri

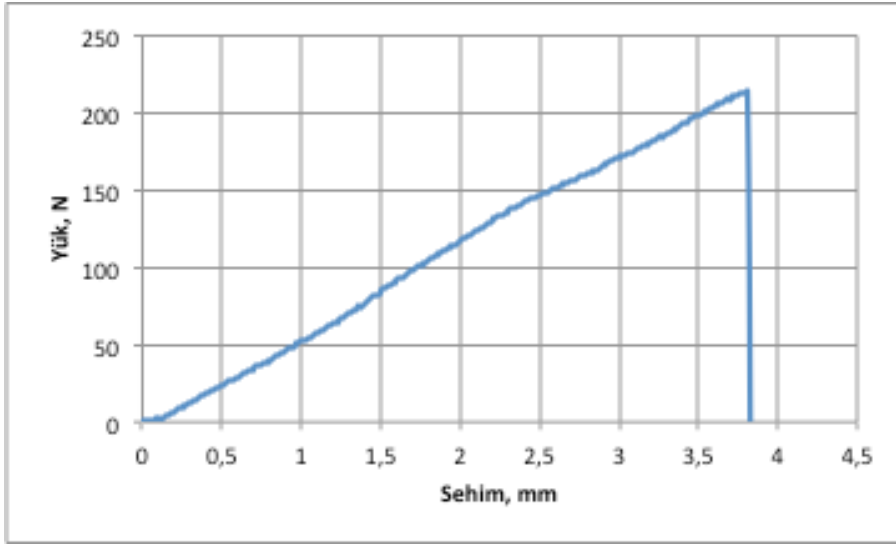
Şekil 5.9’da kopma sırasında sürekli cam lifinin kompozit içerisindeki görüntüsü verilmiştir. Kırılma sonrası yükler lifler tarafından aktarılmakta ve uzama devam etmektedir.



Şekil 5.9 : Ç-SCL-2,5 kompozitine ait kopma görüntüsü

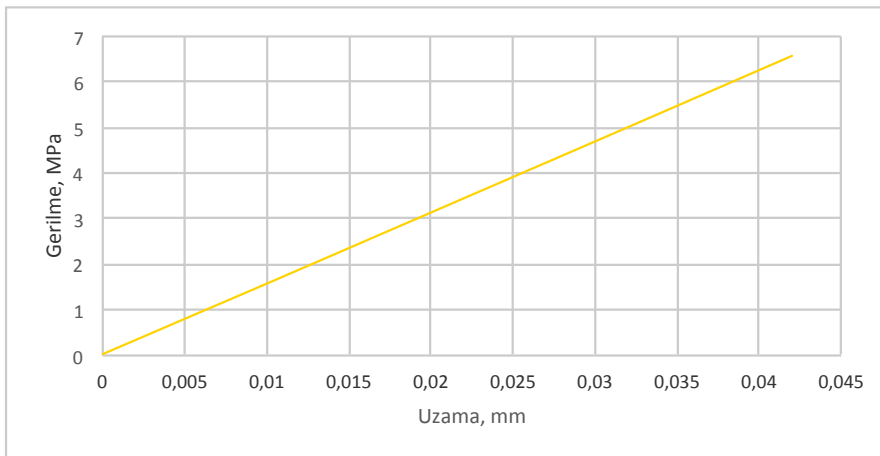
Diğer panel malzemeleri üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları incelendiğinde çimento esaslı selülozik lifli kompozitin eğilme dayanımının 18,37 MPa olduğu belirlenmiştir. Bu değer diğer panellere ait eğilme dayanımı değerlerine göre daha yüksektir. Şekil 5.10’da çimento esaslı selülozik lifli panel numunesine ait yük-sehim grafiği verilmiştir. Çimento esaslı selülozik lifli panel numunesine yapılan eğilme deneyinde numunelerde ani göçme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.10’da yer alan grafikte kompozitin kırılmaya kadar yaklaşık 4 mm deformasyon yaptığı görülmektedir. Panel numunesi maksimum yüke yine en yüksek deformasyonda ulaşmaktadır. Kompozit yük etkisi altında çatlaklar oluşturmayıp kırılma anında tek bir çatlak oluşturmaktadır. Bu durum kompozitin enerji yutma kapasitesinin düşmesine, gevrek davranış sergilemesine neden olmaktadır. Selülozik

lifli kompozit panelin bu özelliğinin yapı elemanlarında habersiz göçmelere neden olacağı düşünülmektedir.



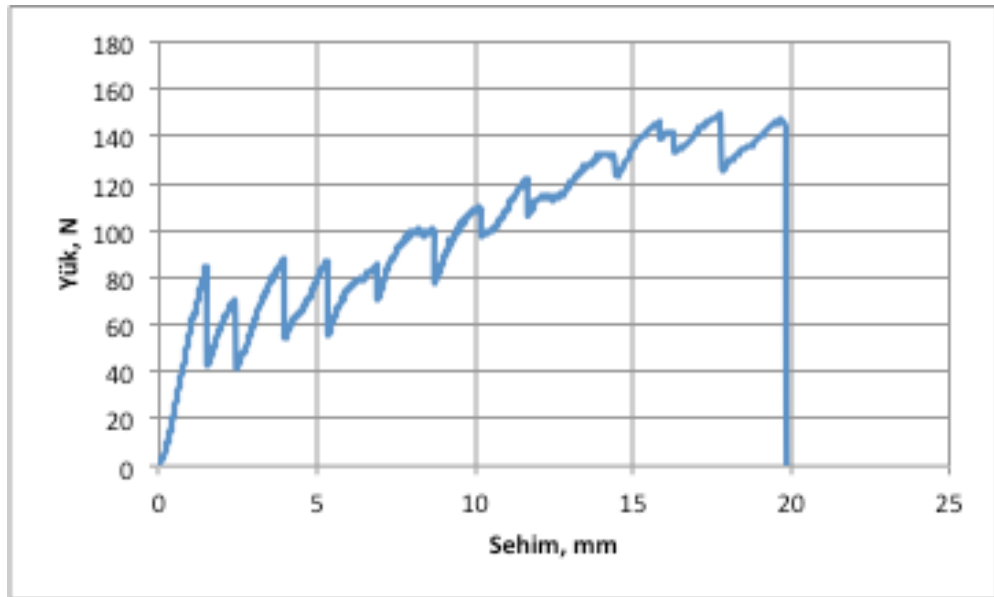
Şekil 5.10 : Çimento esaslı sürekli selülozik lifli panel numunesi yük-sehim grafiği.

Çimento esaslı selülozik lifli panel numunesi üzerinde yapılan çekme deneyi sonucunda elde çekme dayanımının 6,55 MPa olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonucun eğilme deneyi sonucu ile paralellik gösterdiği ve diğer panellere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.11’de çimento esaslı selülozik lifli kompozit panel numunesine ait gerilme uzama grafiği verilmiştir. Panel numunesi en yüksek çekme kuvvetine kadar yaklaşık 0,04 mm uzama yaptığı, kopma sonrası uzama yapmadığı görülmüştür. Maksimum yük değerinde maksimum uzama yaptığı görülmektedir.



Şekil 5.11 : Ç-SL kompozit paneline ait gerilme uzama grafiği

Şekil 5.12’de çimento esaslı tekstil donatılı panel numunesi üzerinde yapılan eğilme deneyi sonucunda elde edilmiş yük-sehim grafiği gösterilmektedir. Çimento esaslı tekstil donatılı panelin yük-sehim grafiği incelendiğinde, kullanılan tekstil donatılı takviye elemanının bir düzlemde ve sürekli olması sayesinde sünek davranış gösterdiği düşünülmektedir. Bu panel malzemesinin kırılma enerjisinin 2,24 J olduğu hesaplanmıştır ve diğer panellere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak çimento esaslı tekstil donatılı panelin eğilme dayanımı 6,30 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu çimento esaslı tekstil donatılı panellerin yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olmalarına rağmen düşük dayanıma sahip olduğunu göstermektedir. Kompozit 3 mm deformasyon sonrası ilk çatlağını oluşturarak tekstil yardımıyla çatlak köprülemeleri meydana getirmektedir. Çatlak oluşmasına rağmen yük aktarmaya ve taşıdığı yükü artırmaya devam eden kompozit yüksek kırılma enerjisine sahip olmuştur. Ancak çoklu çatlaklar oluşan kompozitte eğilme dayanımı diğer malzemelere göre daha düşük mertebede kalmıştır.



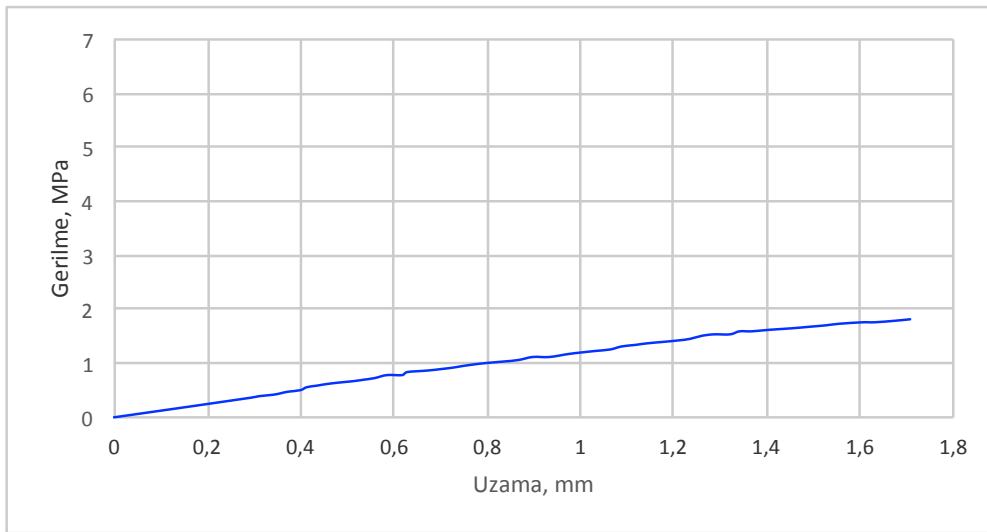
Şekil 5.12 : Çimento esaslı tekstil donatılı panel numunesi yük-sehim grafiği.

Şekil 5.13’te çimento esaslı tekstil donatılı panel numunesi üzerinde yapılan eğilme deneyi görüntüsü verilmiştir. Burada eğilme sonrası kompozitin yaptığı deformasyon ve oluşan çoklu çatlaklar gösterilmektedir.

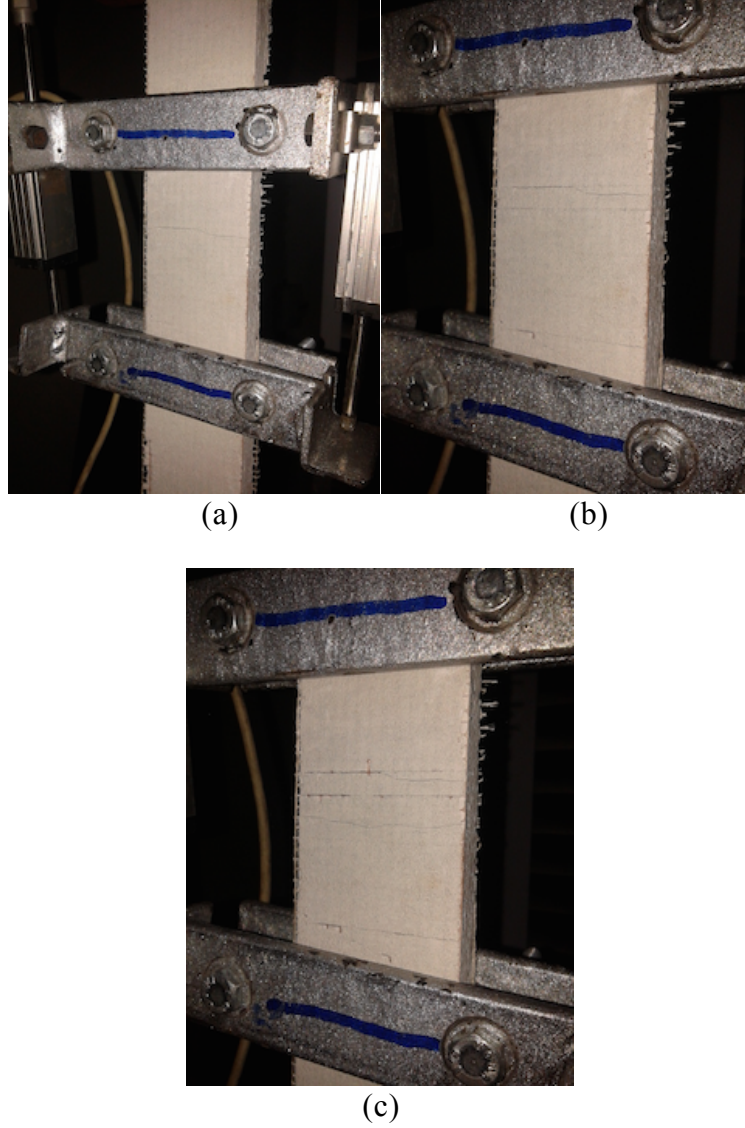


Şekil 5.13 : Çimento esaslı tekstil donatılı panel numunesi üzerinde eğilme deneyi.

Çimento esaslı tekstil donatılı kompozit panel numunesine ait çekme deneyi sonucunda çekme dayanımının 1,75 MPa olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.14'te çimento esaslı tekstil donatılı kompozit panel numunesine ait gerilme uzama grafiği verilmiştir. Panel numunesi çekme yükü etkisi altında birden fazla çatlak oluşturarak ani kopma meydana getirmediği, sünek davranış sergilediği tespit edilmiştir. Şekil 5.15'te çimento esaslı tekstil donatılı panele ait çoklu çatlakların oluştuğu görüntüler verilmiştir.

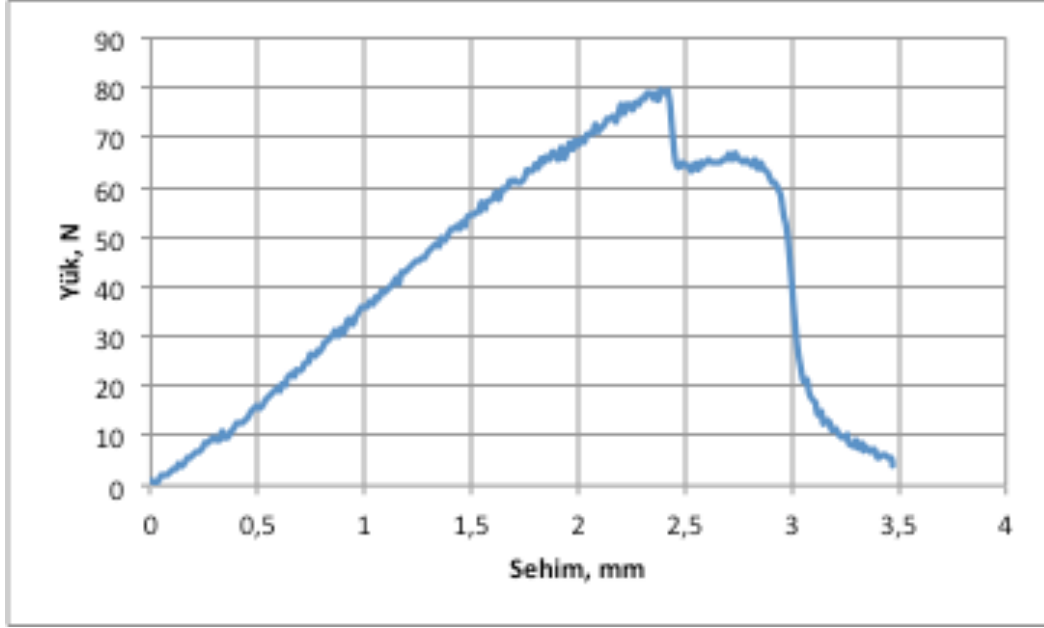


Şekil 5.14 : Ç-TD kompozit paneline ait gerilme uzama grafiği



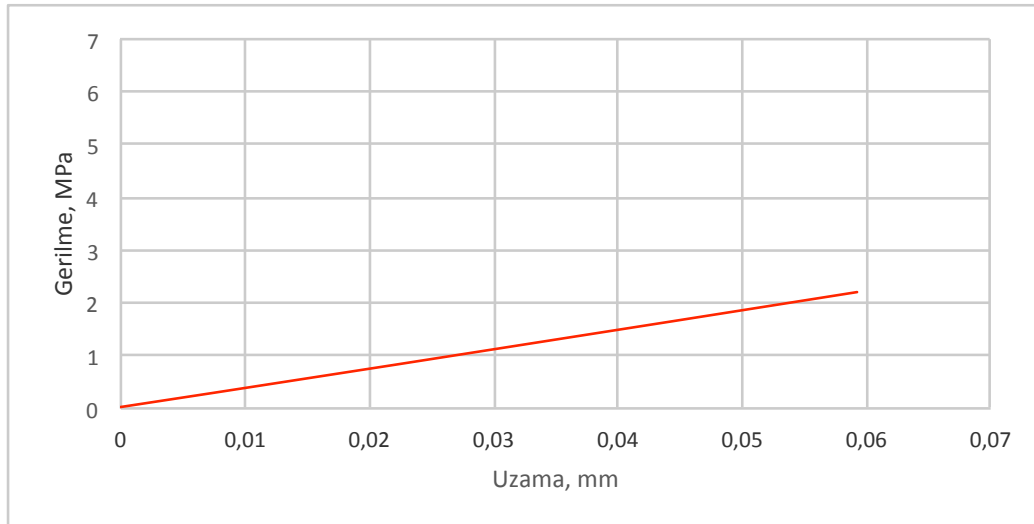
Şekil 5.15 : Ç-TD kompozit paneline ait çekme çatlak oluşum görüntüsü

Çimento esaslı ahşap yongalı panel numuneleri üzerinde yapılan eğilme deneyi sonucunda eğilme dayanımının 7,74 MPa olduğu sonucu elde edilmiştir. Çimento esaslı ahşap yongalı panel numunesine ait yük sehim grafiği Şekil 5.16’da gösterilmiştir. Bu paneller endüstriyel olarak üretilen panellerle karşılaştırıldığında ortalama bir eğilme dayanıma sahip olmasına karşın kırılma enerjileri daha düşük değere sahiptir. Çimento esaslı ahşap yongalı panellerin kırılma enerjileri 0,18 J olarak belirlenmiştir. Çoklu çatlakların oluşmıyışı düşük kırılma enerjisine sahip olmasına neden olduğu görülmektedir.



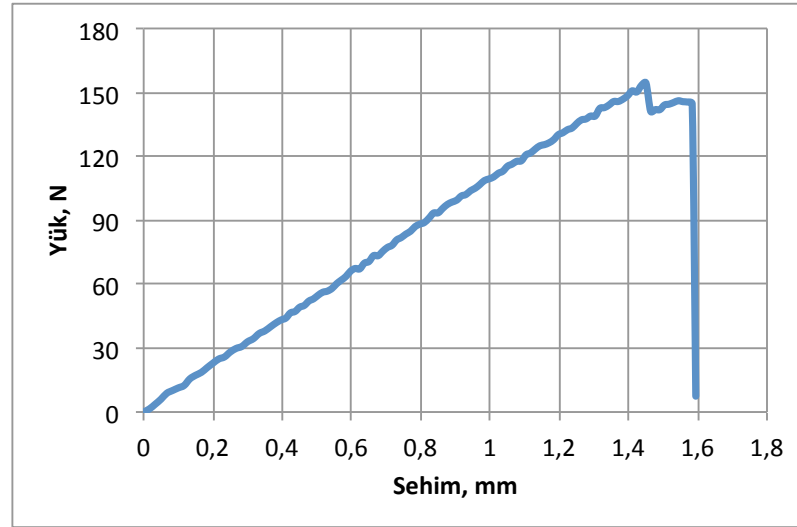
Şekil 5.16 : Çimento esaslı ahşap yongalı panel numunesi yük-sehim grafiği.

Çimento esaslı ahşap yongalı panel numuneleri üzerinde yapılan çekme deneyi sonucuna göre çekme dayanımının 2,25 MPa olduğu sonucu elde edilmiştir. Çimento esaslı ahşap yongalı kompozit panel numunesine ait gerilme uzama grafiği Şekil 5.17’de verilmiştir. Buna göre, ahşap yonga içeren panelin tekstil donatılı paneller kadar uzama yapamadığı görülmüştür. Bunun nedeninin ahşap yongaların tekstil donatılar gibi çekme doğrultusunda sürekli olarak yük aktaramamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



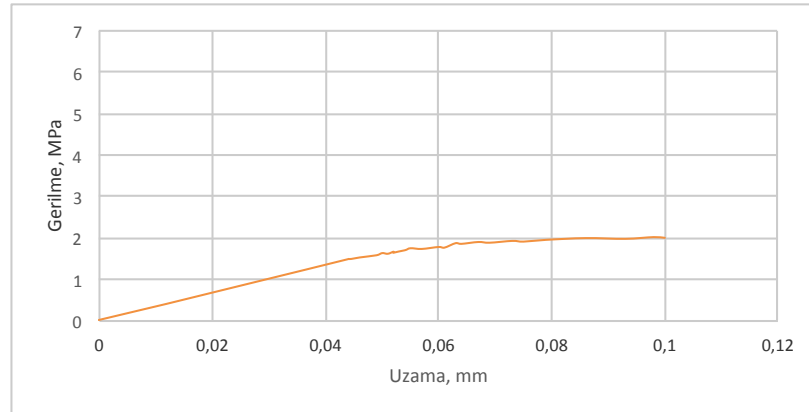
Şekil 5.17 : Ç-AY kompozit paneline ait gerilme uzama grafiği

Magnezyum Oksit esaslı tekstil donatılı panel numunelerinde yapılan eğilme deneyi sonucunda eğilme dayanımının 7,12 MPa olduğu sonucu elde edilmiştir. Şekil 5.18’de magnezyum oksit esaslı tekstil donatılı panel numunesine ait yük sehim grafiği gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kompozit taşıdığı maksimum yük sonrasında ani kırılma göstermiştir. Magnezyum oksit esaslı panelin takviye elamanı olarak tekstil donatısı kullanılmasına rağmen sünek bir yapıya sahip olmadığını göstermektedir. Buna, kullanılan tekstilin çekme dayanımının düşük olmasının neden olduğu tahmin edilmektedir.



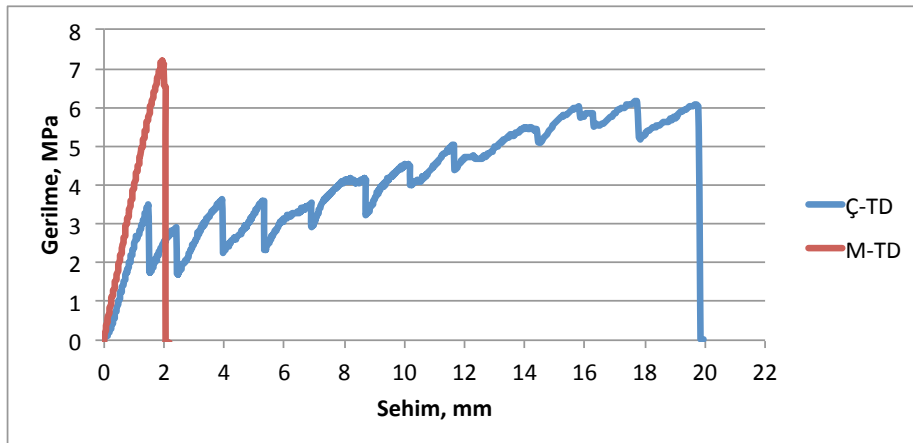
Şekil 5.18 : MgO esaslı tekstil donatılı panel numunesi yük-sehim grafiği

Şekil 5.19’da magnezyum oksit esaslı tekstil donatılı kompozit panel numunesine ait gerilme uzama grafiği verilmiştir. Çekme deneyi sonucuna göre magnezyum oksit esaslı tekstil donatılı panel numunesinin çekme dayanımının 1,93 MPa olduğu sonucu elde edilmiştir.

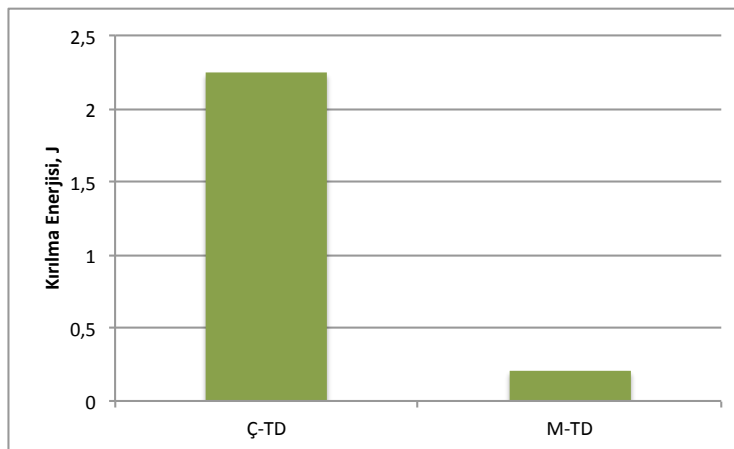


Şekil 5.19 : M-TD kompozit paneline ait gerilme uzama grafiği

Şekil 5.20’de tekstil donatıya sahip çimento esaslı ve magnezyum oksit esaslı kompozitlerin gerilme sehim grafiği verilmiştir. Paneller karşılaştırıldığında magnezyum oksit esaslı tekstil donatılı kompozitin çok az deformasyon yaparak kırıldığı ancak çimento esaslı tekstil donatılı kompozitin oldukça yüksek deformasyon yapabildiği görülmektedir. Bu durumun ilk çatlak oluşumu sonrası çimento esaslı kompozitteki tekstilin yük taşımaya devam etmesi, ancak magnezyum oksit esaslı kompozitte tekstilin koparak yük aktaramayıp kaynağından ayrıldığı düşünülmektedir. Şekil 5.21’de tekstil donatıya sahip kompozitlerin kırılma enerjileri karşılaştırılmıştır. Magnezyum oksit esaslı tekstil donatılı kompozitin düşük deformasyona sahip olması ve gevrek davranış göstermesi oldukça düşük kırılma enerjisine sahip olmasına neden olmuştur. Buna karşılık çimento esaslı tekstil donatılı kompozitin yüksek deformasyon yapması yüksek kırılma enerjisine sahip olmasını sağlamıştır.

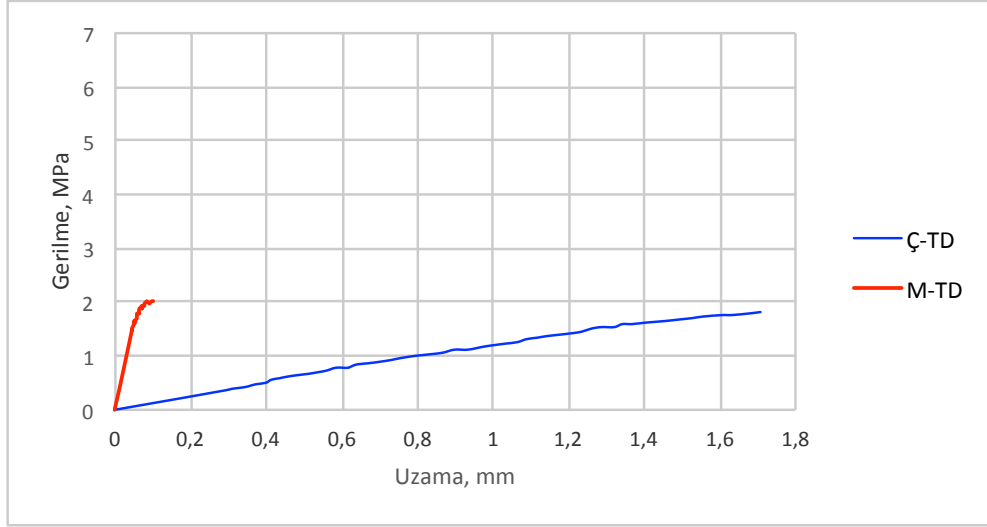


Şekil 5.20 : Ç-TD ve M-TD numunelerinin gerilme sehim grafikleri.



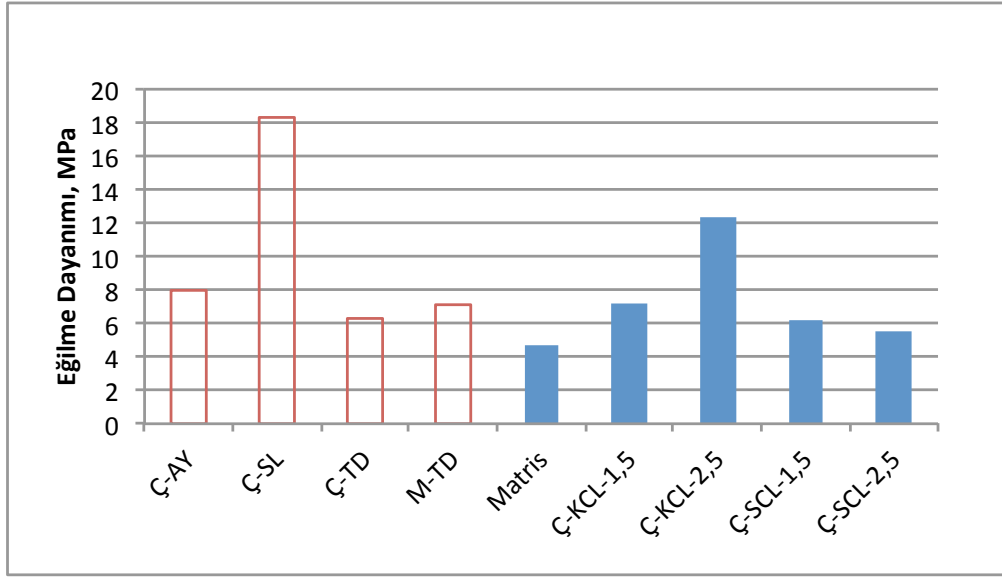
Şekil 5.21 : Ç-TD ve M-TD numunelerinin kırılma enerjileri.

Şekil 5.22’de sektörde kabul görmüş tekstil donatılı magnezyum oksit esaslı ve tekstil donatılı çimento esaslı kompozite ait gerilme uzama grafikleri karşılaştırılmıştır. Buna göre çimento esaslı tekstil donatılı panele göre magnezyum oksit esaslı tekstil donatılı panelin çok az uzama yapabildiği görülmektedir. Bu durum magnezyum oksit esaslı panel numunesinin eğilme deneyi sırasında gösterdiği davranışlarla paraleldir ve magnezyum oksit esaslı panellerde kullanılan tekstillerin yük taşıma kapasitesinin düşük olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

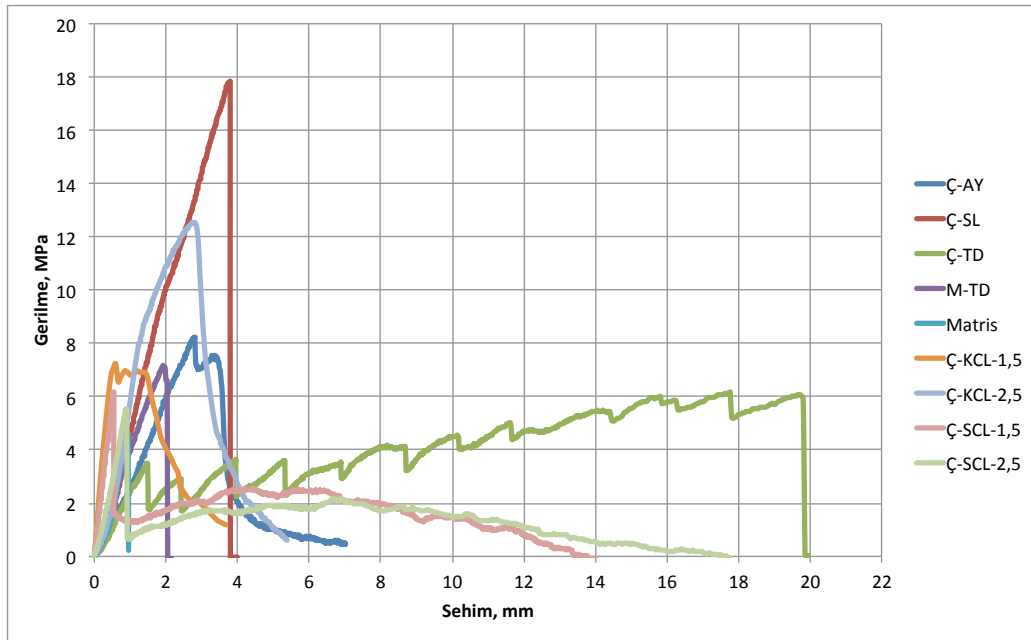


Şekil 5.22 : Ç-TD ve M-TD kompozitlerine ait gerilme uzama grafikleri

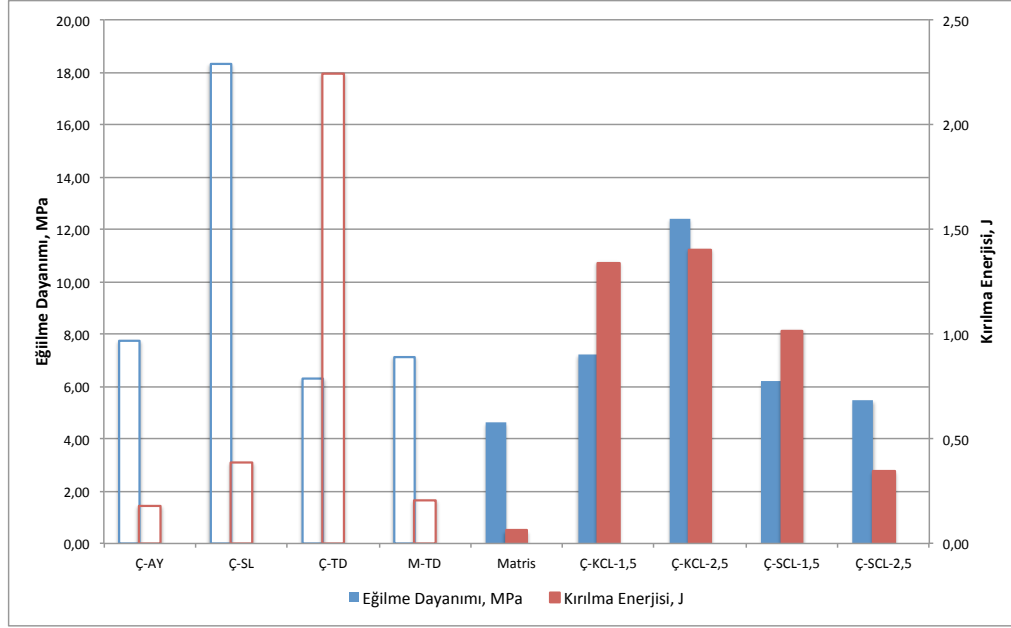
Şekil 5.23’te kompozit panellere ait eğilme dayanımları verilmiştir. Şekil 5.24’te ise kompozitlere ait gerilme sehim grafiği gösterilmiştir. Buna göre en yüksek eğilme dayanımına sahip kompozit selülozik lifli paneldir. Buna karşılık kırılma enerjisi oldukça düşüktür. Selülozik lif donatılı panelden sonra en yüksek 2. dayanım tez kapsamında üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı cam lif donatılı panellerden ağırlıkça % 2,5 kesilmiş lif içeren kompozit panele aittir. Aynı zamanda en yüksek 2. enerji yutma kapasitesine sahip kompozit, ağırlıkça % 2,5 oranında kesilmiş lif içeren kompozite aittir. Şekil 5.25’te kompozit panellere ait kırılma enerjisi ve eğilme dayanımı sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Böylelikle tez kapsamında yapılan üretimlerde sektörde kabul görmüş panellerle karşılaştırıldığında eğilme dayanımı yüksek, sünek davranış gösteren çimento esaslı kompozit paneller elde edilmiştir.



Şekil 5.23 : Kompozit panellere ait eğilme dayanımı sonuçları

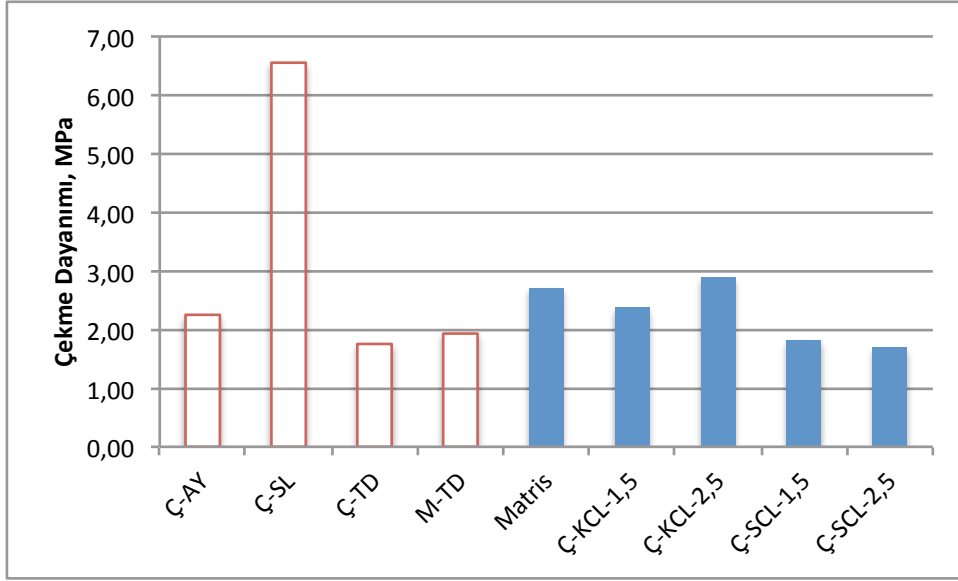


Şekil 5.24 : Kompozit panellere ait gerilme sehim grafiği

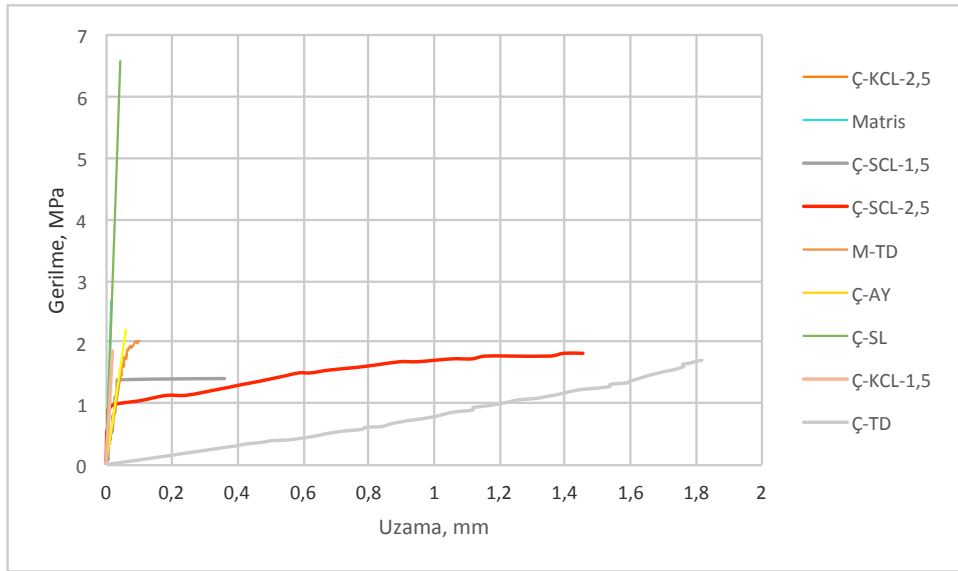


Şekil 5.25 : Kompozit panellere ait eğilme dayanımı kırılma enerjisi sonuçları

Şekil 5.26’da kompozit panellere ait çekme dayanımı sonuçları verilmiştir. Buna göre selülozik lif içeren panellerin en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 5.27’de verilen çekme dayanımı uzama grafiğinde en düşük uzama değerine sahip panelin çimento esaslı selülozik lifli panel olduğu belirlenmiştir. Panelin bu davranışına bakılarak, yük etkisi altında az deformasyon yaparak habersiz göçmelere sebep olabileceği düşünülebilir. Çimento esaslı tekstil donatılı panelin eğilme dayanımının diğer panellerle oranla düşük olmasına rağmen çekme yükü altında yüksek deformasyon yaptığı belirlenmiştir. Üretimi gerçekleştirilen ağırlıkça %2,5 kesikli cam lifli panelin selülozik lifli panelden sonra en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Ağırlıkça %2,5 sürekli cam lifi içeren kompozit numunesi ise üretimi gerçekleştirilen diğer numunelere oranla en yüksek uzama değerine ulaşmıştır. Sürekli lifler kırılma sonrası yük aktararak panelin yük taşımaya devam ederek deformasyon yapabilmesine olanak sağlamıştır. Buna göre %2,5 oranında ağırlıkça sürekli cam lifi kullanımının panelin enerji yutma kapasitesini artırdığı söylenebilir.



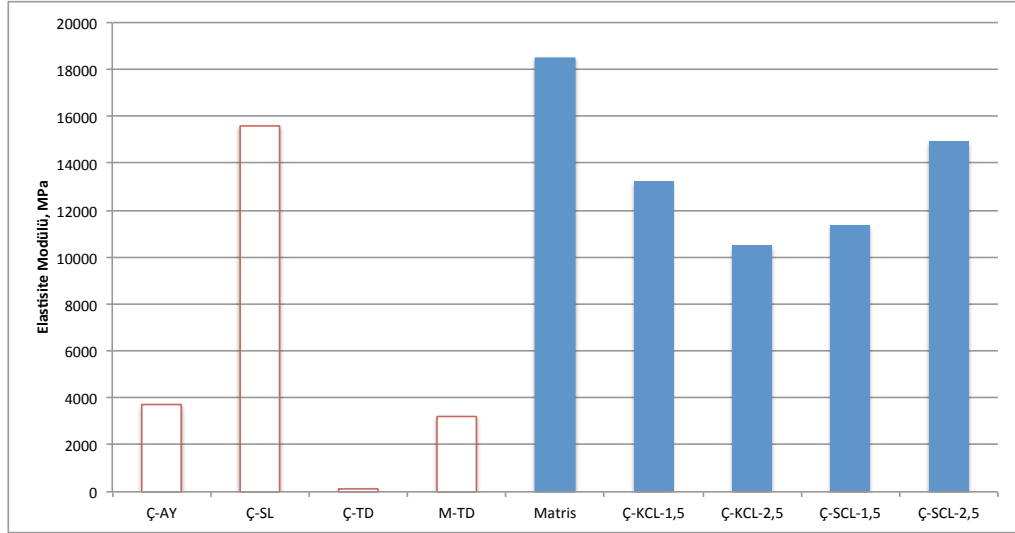
Şekil 5.26 : Kompozit panellere ait çekme dayanımı sonuçları



Şekil 5.27 : Çekme deneyinde kompozit panellere ait gerilme uzama grafikleri

Şekil 5.28’de numunelere ait elastisite modülü değerleri verilmiştir. Değerler incelendiğinde üretimi gerçekleştirilen kesikli cam lifli numunelerde lif oranının artmasıyla elastisite modülü değerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Bu durumda kesikli cam lifi oranı arttıkça aynı yük değerindeki deformasyon miktarı artmaktadır. Sürekli cam lifi kullanılarak üretimi gerçekleştirilen numunelerde ise elastisite modülü lifsiz karışıma göre düşüktür. Ancak sürekli lif oranı %1,5’tan %2,5 oranına arttırıldığında elastisite modülünün arttığı görülmektedir.

Endüstriyel olarak üretimi gerçekleştirilen ve sektörde kabul görmüş panellerin elastisite modülleri incelendiğinde en yüksek değere sahip panelin selülozik lifli çimento esaslı panel olduğu görülmektedir. Bu durum selülozik lifli panelin yüksek yükler altında düşük şekil değiştirme yapmasından kaynaklanmaktadır. En düşük elastisite modülü değerine sahip tekstil donatılı çimento esaslı panel ise yük altında en yüksek şekil değiştirme yapan paneldir.



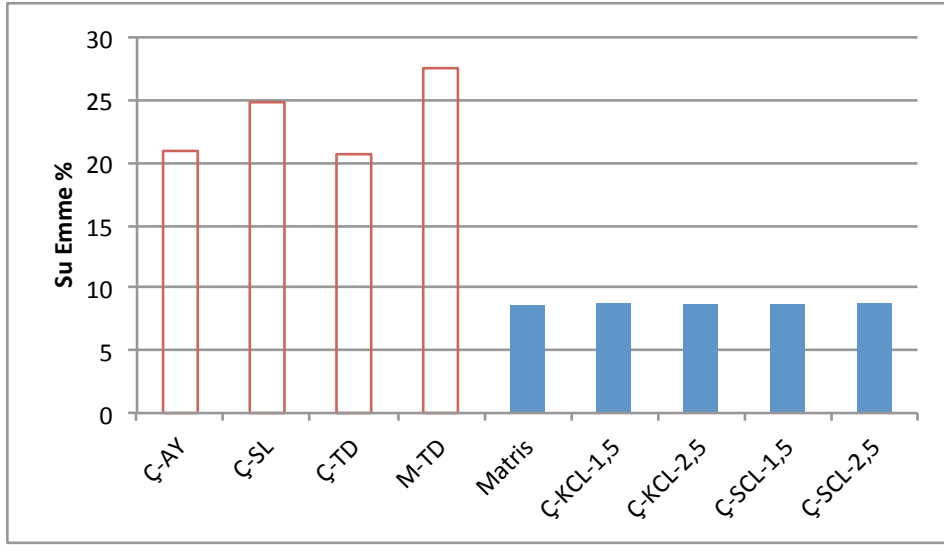
Şekil 5.28 : Çekme deneyinde numunelere ait elastisite modülleri

5.2 Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı kesik cam lif donatılı, sürekli cam lif donatılı numuneler ve endüstriyel olarak üretilen sektörde kabul görmüş diğer kompozit panel numuneleri üzerinde yapılan su emme ve birim ağırlık tayini deney sonuçları değerlendirilmiştir.

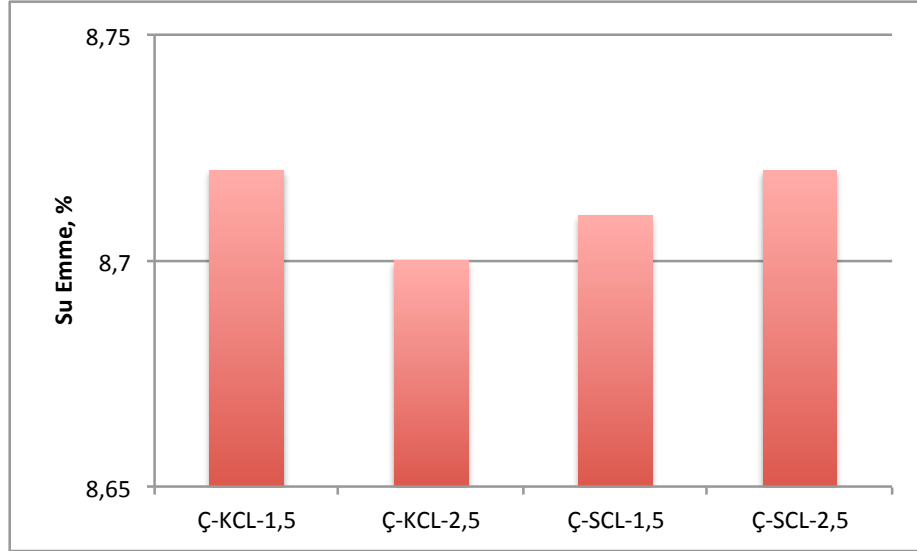
Şekil 5.29’da sektörde kabul görmüş panel malzemelerine ait su emme değerleri karşılaştırılmıştır. Panel numuneleri üzerinde yapılan su emme deneyleri sonucunda değerlerin %20’nin üzerinde olduğu görülmektedir. Malzemenin su emme değerini arttıran en önemli etkenlerden biri malzemenin bileşenleri ve boşluk yapısı olduğu bilinmektedir. Magnezyum oksit esaslı tekstil donatılı paneller % 27,54 ile en yüksek su emme oranına sahip panellerdir. Magnezyum oksit esaslı panellerin ahşap içeriğinin buna etken olduğunu düşünülmektedir. Selülozik lif içeren çimento esaslı panel numunesinde ise su emme değeri % 24,82 olarak hesaplanmıştır. Çimento esaslı ahşap yongalı panel numuneleri üzerinde yapılan su emme deneyi ile su emme

değerinin % 20,93 olduğu hesaplanmıştır. Bunun nedeninin takviye elemanı olarak ahşap kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çimento esaslı tekstil donatılı panel malzemesinde su emme değeri % 20,67 olarak hesaplanmıştır. Yapısında ahşap yada selülozik lif içermeyen çimento esaslı tekstil donatılı panelin su emme değerinin yüksek çıkmasının nedeni yapısında bulundurduğu hafif agregadan ve boşluk oranının yüksek olmasından kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 5.29 : Kompozit malzemelerin ve matrisin su emmeleri

Üretimi gerçekleştirilen kesik cam lif ve sürekli cam lif donatılı numunelerin su emme değerleri % 8,7 olarak hesaplanmıştır. Bu değer diğer panel numuneleri üzerinde yapılan su emme deneyi sonuçlarına göre daha az olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.30’da üretimi gerçekleştirilen numunelere ait su emme değerleri verilmektedir.

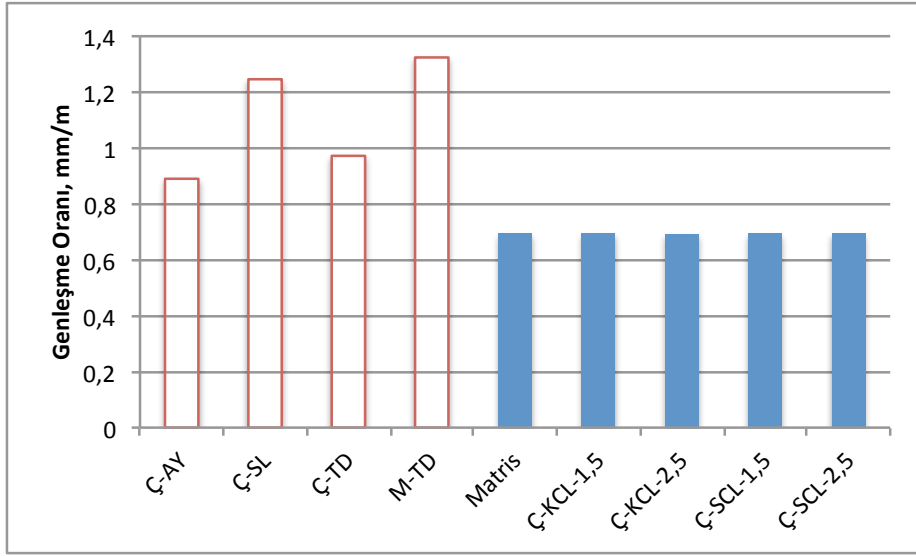


Şekil 5.30 : Ç-KCL ve Ç-SCL su emme değerleri

5.3 Genleşme Oranı Tayini Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Genleşme oranı tayini sonuçları Şekil 5.31’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde su emme oranlarına paralel genleşme oranları elde edilmiştir. Genleşme deneyi temel olarak yüksek bağıl nemde kompozit içerisine nüfuz eden nemin, numune boyutu üzerindeki etkisinin sayısallaştırılmasıdır. Bu bağlamda sonuçların su emme deneyi sonuçlarına paralel özellik göstermesi beklenen bir durumdur. Buna göre genleşme oranı sonuçları incelendiğinde en yüksek şekil değiştirmenin magnezyum esaslı panelde meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durumun magnezyum oksit panellerin yüksek su emmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Selülozik lif içeren kompozit panellerin genleşme oranı magnezyum oksit esaslı panellere nazaran düşükken diğer panellere göre yüksektir. Selülozik lif donatılı kompozit panellerin yüksek oranda ahşap içermesinin bu duruma yol açtığı düşünülmektedir. Ahşap yongalı kompozit ve çimento esaslı kompozit paneller selülozik lif içeren ve magnezyum oksit esaslı panellere nazaran daha düşük genleşme oranına sahiptir. Bu durumun daha düşük su emme miktarına sahip olmalarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Ayrıca bu ürünlerde şekil değiştirmenin kalınlık üzerinde oluşarak genleşme oranına etki etmemesi diğer bir etken olarak düşünülebilir. En düşük genleşme oranına sahip kompozit paneller ise tez kapsamında üretimi gerçekleştirilen çimento esaslı kesik ve sürekli cam lif donatılı kompozit panellerdir. Sektörde ticari olarak kabul görmüş

diğer kompozit panellere nazaran çok az miktarda genleşme yapmakta, nem değişikliğinde şekil stabilitesini korumaktadır.



Şekil 5.31 : Kompozitlere ait genleşme oranları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında farklı oranlarda kesikli ve sürekli cam lif içeren cam lif donatılı çimento esaslı kompozitler üretilmiş ve üretilen numuneler üzerinde, su emme deneyleri, genleşme deneyleri, eğilme ve çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, endüstriyel olarak üretilen ve sektörde kabul görmüş çimento esaslı selülozik lif donatılı, çimento esaslı ahşap yongalı, çimento esaslı tekstil donatılı, magnezyum esaslı tekstil donatılı kompozit paneller üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu şekilde, tez kapsamında üretilen malzemelerin endüstriyel malzemelere göre performansları incelenmiştir. Elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Çimento esaslı selülozik lifli paneller yüksek eğilme dayanımına rağmen çoklu çatlaklar yapmaksızın gevrek bir kırılma davranışı sergilemektedir. Düşük deformasyon kapasitesine bağlı olarak paneller düşük kırılma enerjisine sahiptir.
- Çimento esaslı tekstil donatılı kompozit paneller, kullanılan tekstil donatı sayesinde yük etkisi altında çoklu çatlaklar meydana getirerek ve yüksek oranda deformasyon yaparak sünek davranış göstermektedir. Bundan dolayı söz konusu paneller yüksek kırılma enerjisine sahiptir.
- Çimento esaslı ahşap yongalı kompozit paneller düşük oranda deformasyon yapmıştır ancak, çatlaklar başladıktan sonra yongalar yük aktaramamıştır. Bundan dolayı söz konusu paneller düşük kırılma enerjisine ve eğilme dayanımına sahiptir.
- Magnezyum esaslı tekstil donatılı kompozit panellerde çok az deformasyon sonrası kırılma meydana gelmiştir. Yük etkisi altında tekstillerin koptuğu ve yük aktaramadığı görülmüştür.

- Tez kapsamında üretilen kesik cam lif donatılı karışımlarda lif miktarı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı belirlenmiştir. Benzer bir eğilim sürekli lifli numunelerde elde edilmemiştir.
- Tez kapsamında üretilen kesik cam lifli karışımlarda lif miktarının artması çekme yükleri etkisinde oluşan deformasyon miktarını arttırmıştır. Benzer bir eğilim sürekli lifli numunelerde de elde edilmekle birlikte sürekli lifli numunelerde uzamalar daha belirgindir.
- Tez kapsamında üretimi gerçekleştirilen numunelerin su emme ve genleşme oranlarının sektörde kabul görmüş endüstriyel olarak üretimi gerçekleştirilen panellere göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Lif miktarının, su emme ve genleşme oranına etkisi görülmemiştir.

Deneyssel çalışma kapsamında üretilen kesikli cam lif donatılı çimentolu kompozitler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre; cam lif miktarı arttıkça eğilme dayanımı artmakta, kırılma sonrası deformasyon miktarları da artarak, kırılma enerjileri yükselmektedir. Sürekli cam lif donatılı betonlarda, matrisin liflere penetrasyonu tam olarak gerçekleşmediği için, lif miktarı ile sistematik bir dayanım artışı tespit edilememiştir.

Bu çalışma sürecinde elde edilen deney sonuçları ve gözlemlere dayanarak bundan sonraki yapılacak çalışmalarda yüksek enerji yutma kapasitesi ve eğilme dayanımı elde etmek için bir arada kullanılacak optimum sürekli ve kesik cam lif oranları belirlenebilir. Sonraki çalışmalarda sürekli liflerde meydana gelen penetrasyon problemi mutlaka dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Gibson, F., Ronald**, “Principles of Composite Material Mechanics”, McGraw Hills Inc., New York, (1994).
- [2] **Peled, A., Bentur, A.**, “Fabric Structure and Its Reinforcing Efficiency in Textile Reinforced Cement Composites”, *Composites: Part A*, s. 34, 107-118 (2003).
- [3] **Çelik, R.** (2010). Farklı Türde Kumaş Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Eğilme Performanslarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2011).
- [4] **Ekincioğlu, Ö.**, 2003. Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] **Erlin, B.** (1994). Embedded Metals and Materials Other Than Reinforcing Steel, STP169C-EB/Aug. 1994.
- [6] **Uğur, A.**, Lif Donatılarının Yüksek Dayanımlı Betonlarda Yarma Dayanımı-Basınç Dayanımı İlişkisine Etkisi, 2007, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Arısoy, B.**, Lifli Hafif Betonların Optimum Karışım Tasarımı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005, s. 912-916.
- [8] **Shilang, X., and Qianghua, L.**, An Experimental Study on Bending Behaviour of Cementitious Composites Reinforced in Combination with Carbon Textile and Short-Cut PVA Fiber, Department of Civil Engineering, Dailan University of Technology, China.
- [9] **Ersoy, H. Y.**, Kompozit Mazleme, Literatür Yayınları: 66, İstanbul, Türkiye. (2001)
- [10] **Shuxin, W. and Victor, C. L.**, Polyvinly Alcohol Fiber Reinforced Engineered Cementitious Composites: Material Design and Performances, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, USA.

- [11] **Brown, R., Shukla A., Natarajan K. R.**, 2002. Fiber Reinforcement of Concrete Structures, University of Rhode Island, Project No:536101,September 2002.
- [12] **Choi, Y. ve Yuan, R. L.** 2004. Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC, Cement and Concrete Research, s. 35, 1587-1591 (2006).
- [13] **Nemati, K. M.**, 2007. Progress in Concrete Technology,Fiber Reinforced Concrete (FRC), University of Washington, Fall Quarter 2007.
- [14] **Kurt, G.**, Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri, 2006, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul.
- [15] **Bayasi, Z. and Soroushian P.**, 1991 . Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, 88, 129-134.
- [16] **Betterman, L.R., Quyang C., and Shah S.P.**, 1995. Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar, Adv. Cem. Bas., 2,s:53-61.
- [17] **Zollo, R. F.**, 1997. Fiber-Reinforced Concrete: An Overview after 30 years of Development, Cement and Concrete Composites, 19, s:107-122.
- [18] **Özyurt, N.**, 2000. Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] **ASTM C 1116**, 1997. Standart Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete, *The American Society for Testing and Materials*, U.S.A.
- [20] **ACI 544.1R-96.**, 1996 State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI Committee 544, American Concrete Institute , Detroit, MI
- [21] **Rafalco, S. D., Brandon, T. L., Filz, G. M., and Mitchell, J. K.**, 2008, Fiber Reinforcement For Rapid Stabilization of Soft Clay Soils, vol.2026, pp.21-29,Transportation Research Board of the National Academies.
- [22] **Ramakrishnan, V.**, 1999. “Structural Application of Polyolefin Fiber Reinforced Concrete,” ACI SP-183-1, pp.235-253
- [23] **Sridhara, S., Kumar, S., and Sinare, M. A.** ,1971. 1 Fiber Reinforced Concrete,” Indian Concrete Journal, 428-442
- [24] **Boğazkesen, K. K.** (2011). PVA Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2011).
- [25] **Yua, J. H., Chen, W., Yua, M. X. ve Hua, Y. E.** (2010). The Microstructure of Self-Healed PVA ECC Under Wet and Dry, Materials Research. 2010; 13(2): 225-231.

- [26] **Avar, D.**, Karma Lifli Betonların Mekanik Davranışına Buhar Kürü Etkisi, 2006, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Yıldırım, H., Sertbaş, B. ve Berbergil, V.**, Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda ve Çelik Lif Kullanılmasının İşlenebilirliğe Etkisi, 7. Ulusal beton kongresi, İTÜ, İstanbul, Kasım 2007, s.65-75.
- [28] **Wolfe, R., Gjinolli A.**, “Cement-Bonded Wood Composites as an Engineering Materials”, s. 84.
- [29] **Frybort, S., Mauritz, R., Teischinger, A., Müller, U.**, “Cement Bonded Composites – A Mechanical Review”, s. 1 602-626, (2008).
- [30] **Ajayi, B.**, “The dimensional stability and strength properties of inorganic-bonded particleboards made from eupatorium odorata particle, 62nd Forest Products Society Conference, St Louis, Missouri, USA, Book of Biographies and Abstracts, 2008, pp 27.
- [31] **Peled, A., Sueki, S., Mobasher, B.**, “Bonding in Fabric -Cement Systems: Effects of Fabrication Methods”, *Materials and Structures, Cement and Concrete Research*, s. 36, 1661-1671 (2006).
- [32] **Hegger, J., Voss, S.**, “Investigations on the Bearing Behaviour and Application Potential of Textile Reinforced Concrete”, *Engineering Structures*, 30, 2050-2056 (2008).
- [33] **Peled, A., Cohen, Z., Pasder, Y., Roye, A., Gries, T.**, “Influences of Textile Characteristics on the Tensile Properties of Warp Knitted Cement Based Composites”, *Cement & Concrete Composites*, s. 30, 174-183 (2008).
- [34] **Peled, A., Bentur, A., Yankelevsky, D.**, “Effects of Woven Fabric Geometry on the Bonding Performance of Cementitious Composites”, *Advn. Cem. Bas. Mat.*, 7, 20-27 (1998).
- [35] **Mobasher, B., Peled, A., Pahilajani, J.**, “Distributed Cracking and Stiffness Degradation in Fabric-Cement Composites”, *Materials and Structures*, s. 39, 317- 331 (2006).
- [36] **Soranakom, C., Mobasher, B.**, “Geometrical and Mechanical Aspects of Fabric Bonding and Pullout in Cement Composites”, *Materials and Structures*, s. 42,765-777 (2009).

EKLER

EK.A : Numunelere ait eğilme deneyi sonuçları

EK.B : Numunelere ait yük sehim grafikleri

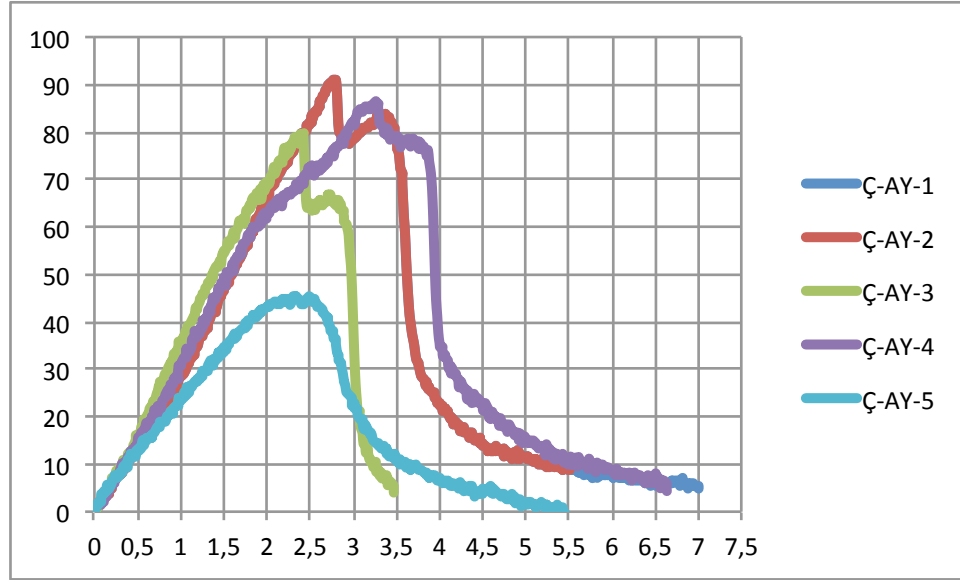
EK.C : Numunelere ait çekme deneyi sonuçları

EK.D : Numunelere ait gerilme uzama grafikleri

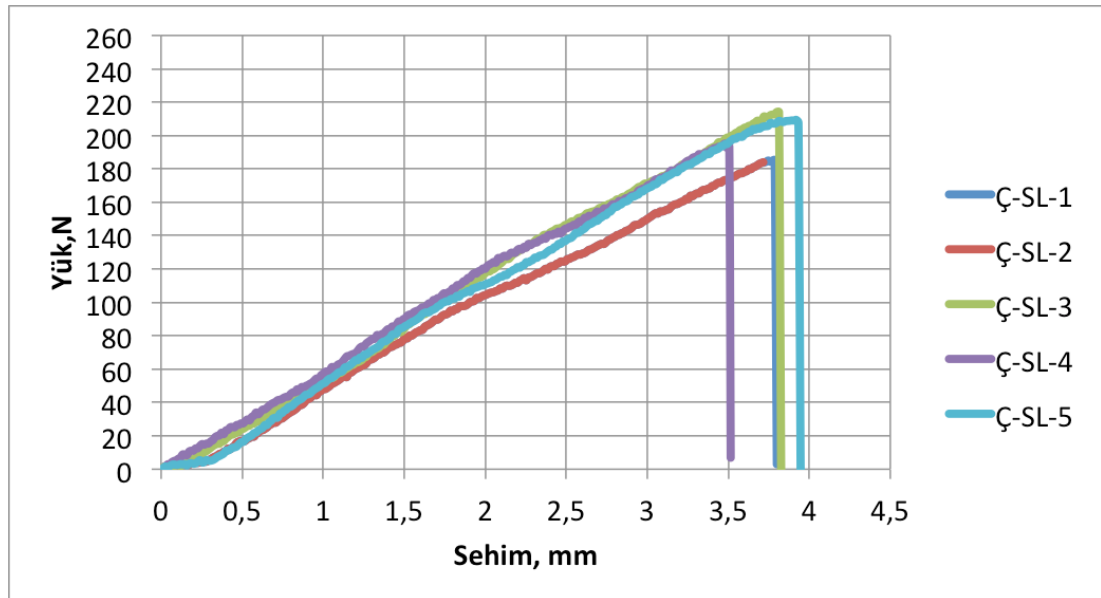
EK A: Numunelere ait eğilme deneyi sonuçları**Çizelge A.1 : Numunelere ait eğilme deneyi sonuçları**

Numune	b(mm)	h(mm)	l(mm)	Yük(N)	Eğilme Day.(MPa)	Kırılma Enerjisi(J)
Ç-AY 1	52,00	8,00	300	100	9,01	0,231
Ç-AY 2	53,00	7,90	300	100	9,07	0,200
Ç-AY-3	49,80	7,90	300	80	7,72	0,144
Ç-AY-4	49,40	7,70	300	90	9,22	0,250
Ç-AY-5	52,10	7,70	300	50	4,86	0,103
Ç-SL-1	49,90	7,90	300	184	17,72	0,355
Ç-SL-2	51,90	8,00	300	200	18,06	0,388
Ç-SL-3	52,20	7,85	300	205	19,12	0,412
Ç-SL-4	51,70	7,86	300	192	18,03	0,356
Ç-SL-5	53,15	7,92	300	207	18,63	0,422
Ç-TD-1	49,08	12,42	300	150	5,94	1,985
Ç-TD-2	50,50	12,40	300	154	5,95	2,066
Ç-TD-3	51,90	12,40	300	183	6,88	2,692
Ç-TD-4	49,08	12,40	300	177	7,04	2,457
Ç-TD-5	49,92	12,48	300	162	6,25	2,305
M-TD-1	50,58	11,86	300	193	8,15	0,210
M-TD-2	49,55	11,84	300	189	8,14	0,193
M-TD-3	50,46	11,86	300	155	6,54	0,195
M-TD-4	50,43	11,82	300	151	6,41	0,213
M-TD-5	50,84	11,83	300	151	6,35	0,218
Ç-KCL-2,5-1	50,56	16,09	300	536	12,28	1,350
Ç-KCL-2,5-2	50,51	16,09	300	538	12,32	1,450
Ç-KCL-2,5-3	50,74	16,01	300	538	12,40	1,408
Ç-KCL-2,5-4	50,58	16,17	300	535	12,12	1,446
Ç-KCL-2,5-5	50,78	16,13	300	568	12,90	1,353
Matris-1	50,50	15,69	300	209	5,04	0,053
Matris-2	50,68	15,65	300	202	4,88	0,073
Matris-3	50,42	15,53	300	200	4,92	0,074
Matris-4	50,51	15,51	300	167	4,12	0,058
Matris-5	50,48	15,45	300	168	4,19	0,054
Ç-SCL-2,5-1	50,56	11,32	300	122	5,65	0,497
Ç-SCL-2,5-2	50,43	11,25	300	113	5,31	0,043
Ç-SCL-2,5-3	50,47	11,28	300	63	2,94	0,495
Ç-KCL-1,5-1	50,03	15,64	300	258	6,32	1,100
Ç-KCL-1,5-2	49,99	15,52	300	339	8,45	1,750
Ç-KCL-1,5-3	50,01	15,45	300	255	6,40	1,230
Ç-KCL-1,5-4	50,03	15,43	300	254	6,38	0,524
Ç-KCL-1,5-5	50,03	15,43	300	342	8,61	2,100
Ç-SCL-1,5-1	49,97	11,72	300	149	6,51	0,496
Ç-SCL-1,5-2	49,96	11,8	300	152	6,53	1,785
Ç-SCL-1,5-3	49,97	11,73	300	142	6,20	0,509
Ç-SCL-1,5-4	49,96	11,72	300	135	5,90	0,974
Ç-SCL-1,5-5	49,98	11,73	300	134	5,85	1,320

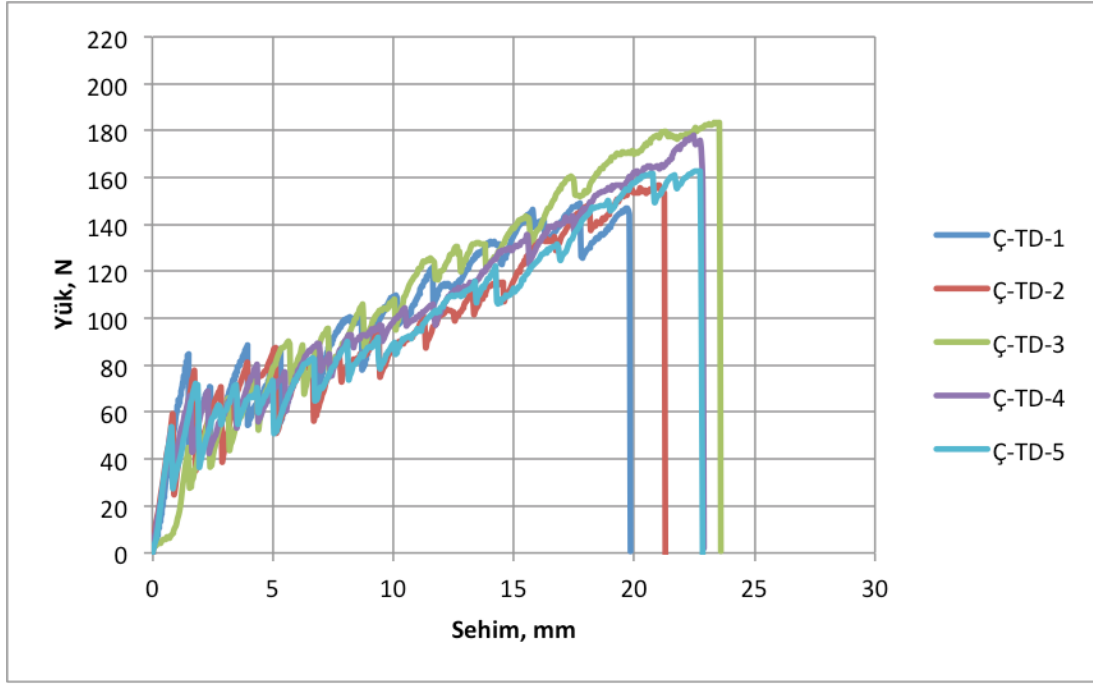
EK B: Numunelere ait yük sehim grafikleri



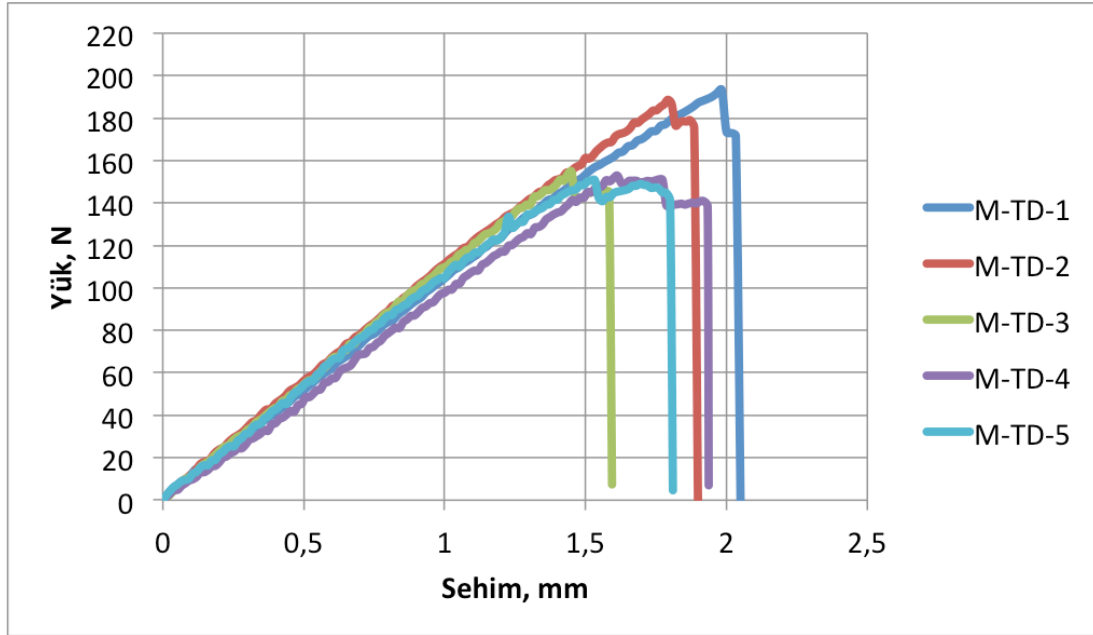
Şekil B.1 : Ç-AY numunelerinin yük-sehim grafiği



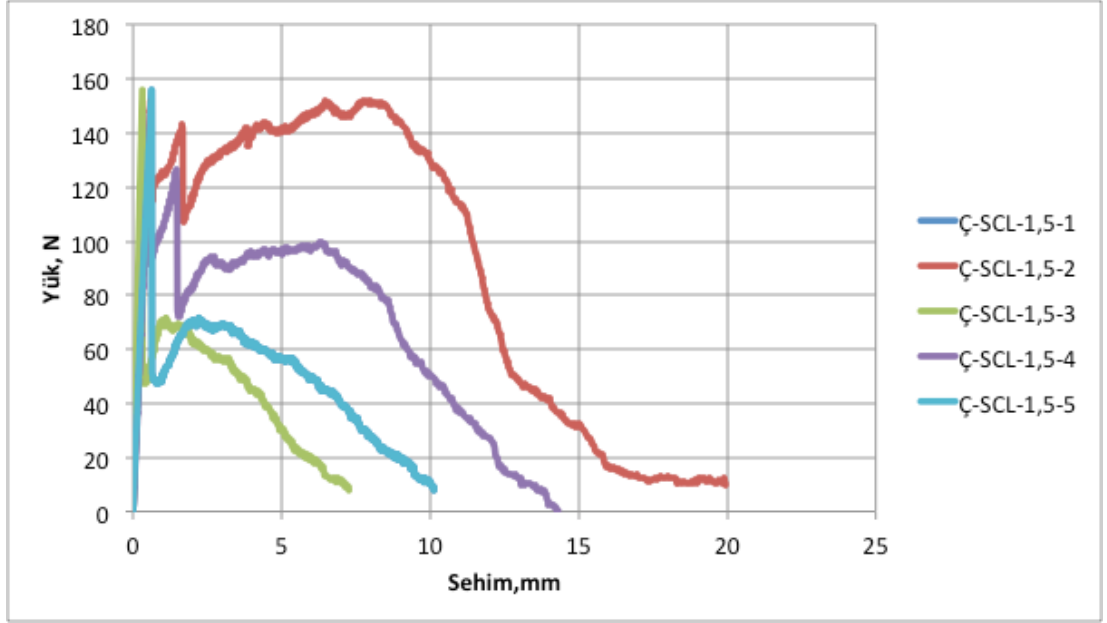
Şekil B.2 : Ç-SL numunelerinin yük-sehim grafiği



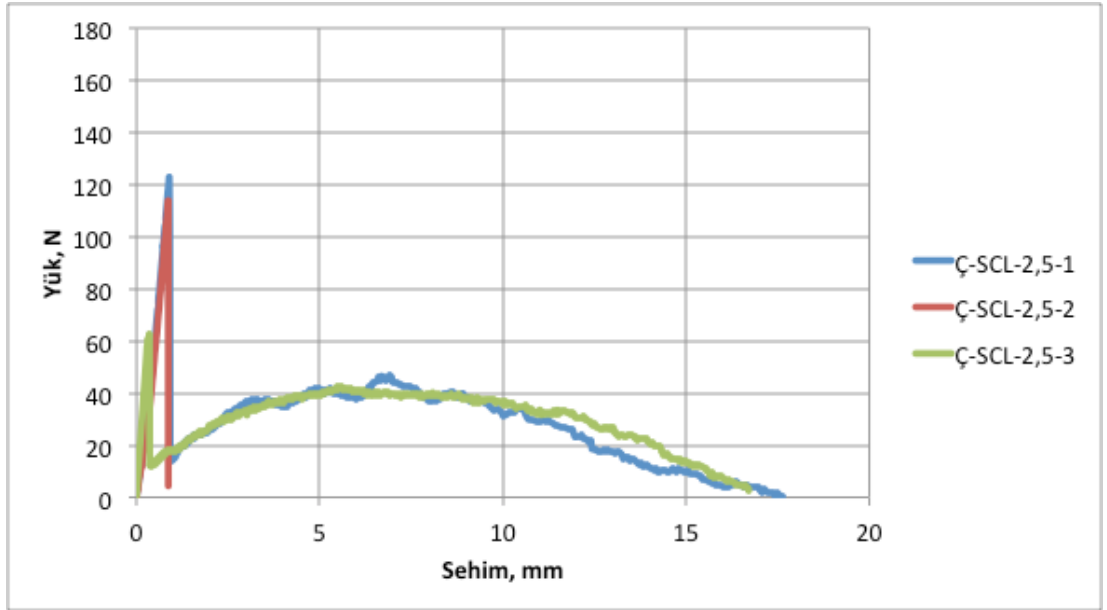
Şekil B.3 : Ç-TD numunelerinin yük-sehim grafiği



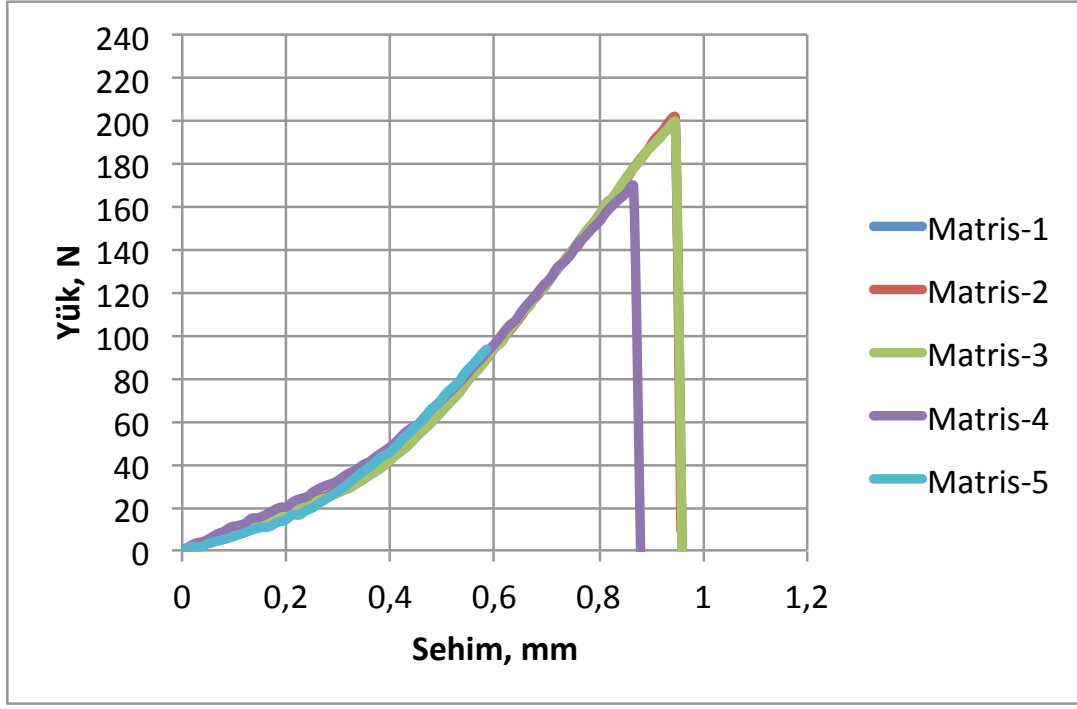
Şekil B.4 : M-TD numunesinin yük-sehim grafiği



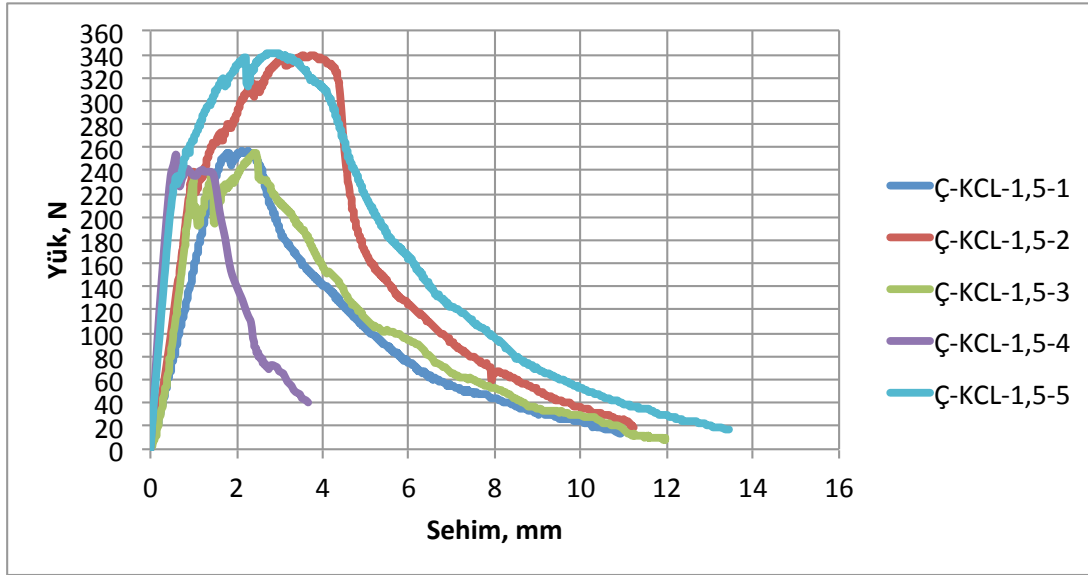
Şekil B.5 : Ç-SCL-1,5 numunelerinin yük-sehim grafiği



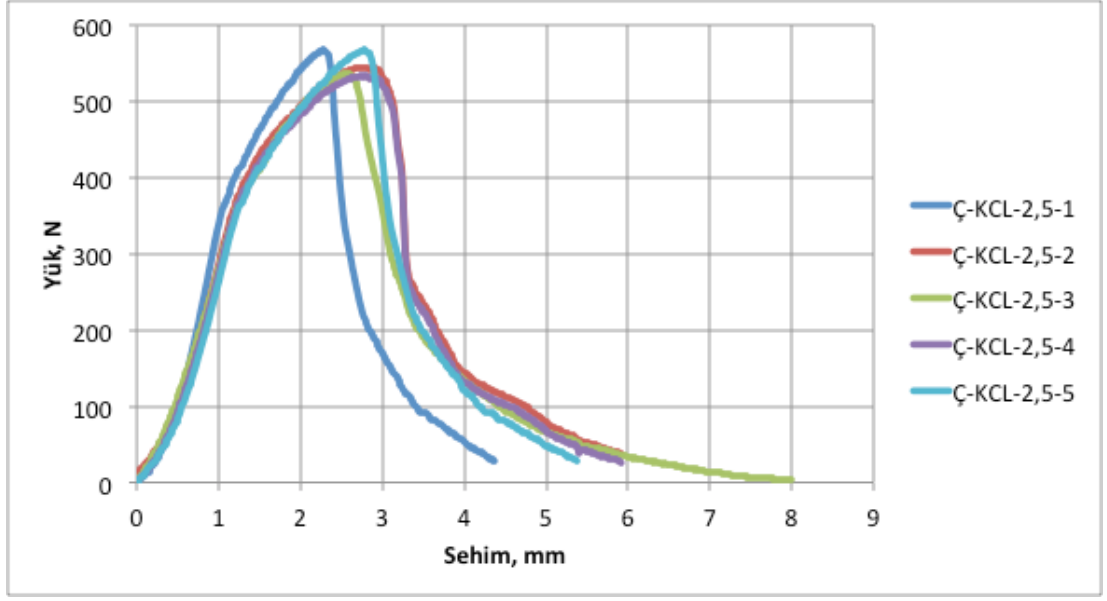
Şekil B.6 : Ç-SCL-2,5 numunesinin yük-sehim grafiği



Şekil B.7 : Matris numunelerinin yük-sehim grafiği



Şekil B.8 : Ç-KCL-1,5 numunelerinin yük-sehim grafiği

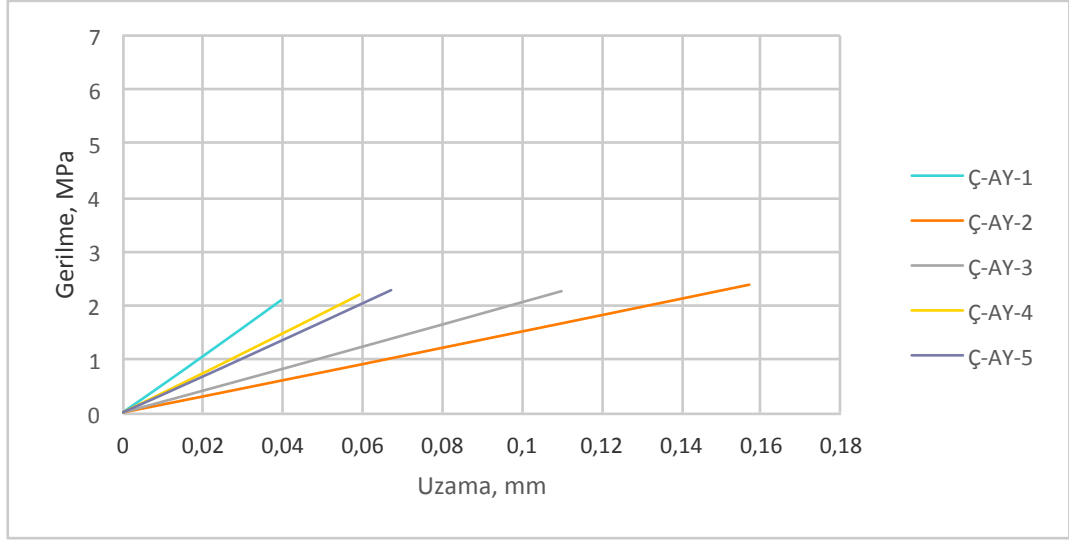


Şekil B.9 : Ç-KCL-2,5 numunelerinin yük-sehim grafiği

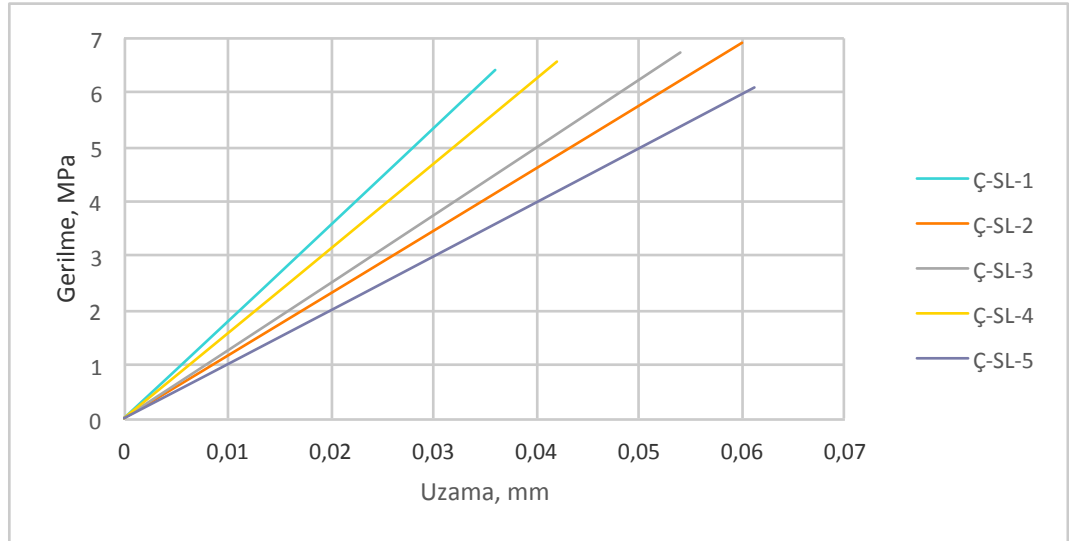
EK C: Numunelere ait çekme deneyi sonuçları**Çizelge C.1 : Numunelere ait çekme deneyi sonuçları**

Numune	Yük (N)	h (mm)	b (mm)	Çekme Dayanımı(MPa)
Ç-AY-1	650	7,42	41,65	2,10
Ç-AY-2	790	7,75	42,64	2,39
Ç-AY-3	713	7,65	42,24	2,21
Ç-AY-4	736	7,64	42,45	2,27
Ç-AY-5	735	7,58	42,34	2,29
Ç-SL-1	2000	7,55	41,25	6,42
Ç-SL-2	2250	7,48	43,41	6,93
Ç-SL-3	2169	7,56	42,56	6,74
Ç-SL-4	2119	7,52	42,87	6,57
Ç-SL-5	1958	7,49	42,87	6,10
Ç-TD-1	630	12,44	41,36	1,22
Ç-TD-2	930	12,46	39,91	1,87
Ç-TD-3	980	12,45	40,64	1,94
Ç-TD-4	928	12,47	40,46	1,84
Ç-TD-5	956	12,45	40,43	1,90
M-TD-1	350	11,76	40,66	0,73
M-TD-2	1260	11,89	41,05	2,58
M-TD-3	1100	11,79	41,91	2,23
M-TD-4	999	11,87	41,94	2,01
M-TD-5	1037	11,73	41,84	2,11
Matris-1	1680	15,36	40,69	2,69
Matris-2	1820	15,37	40,81	2,90
Matris-3	1450	15,66	40,79	2,27
Matris-4	1737	15,43	40,85	2,76
Matris-5	1858	15,54	40,94	2,92
Ç-KCL-1,5-1	1200	15,66	41,07	1,87
Ç-KCL-1,5-2	1440	15,2	41,1	2,31
Ç-KCL-1,5-3	2080	14,44	41,02	3,51
Ç-KCL-1,5-4	1367	15,21	41,12	2,19
Ç-KCL-1,5-5	1258	15,11	41,05	2,03
Ç-KCL-2,5-1	1272	15,8	41,5	1,94
Ç-KCL-2,5-2	1730	15,5	40,78	2,74
Ç-KCL-2,5-3	2500	15,9	40,92	3,84
Ç-KCL-2,5-4	1428	15,8	40,91	2,21
Ç-KCL-2,5-5	2340	15,6	40,54	3,70
Ç-SCL-1,5-1	600	12,65	40,51	1,17
Ç-SCL-1,5-2	1140	11,91	40,88	2,34
Ç-SCL-1,5-3	710	9,54	40,5	1,84
Ç-SCL-1,5-4	706	12,45	40,53	1,40
Ç-SCL-1,5-5	1135	11,98	40,48	2,34
Ç-SCL-2,5-1	710	9,44	41,15	1,83
Ç-SCL-2,5-2	400	10,07	40,36	0,98
Ç-SCL-2,5-3	1040	11,39	40,89	2,23
Ç-SCL-2,5-4	818	11,12	40,44	1,82

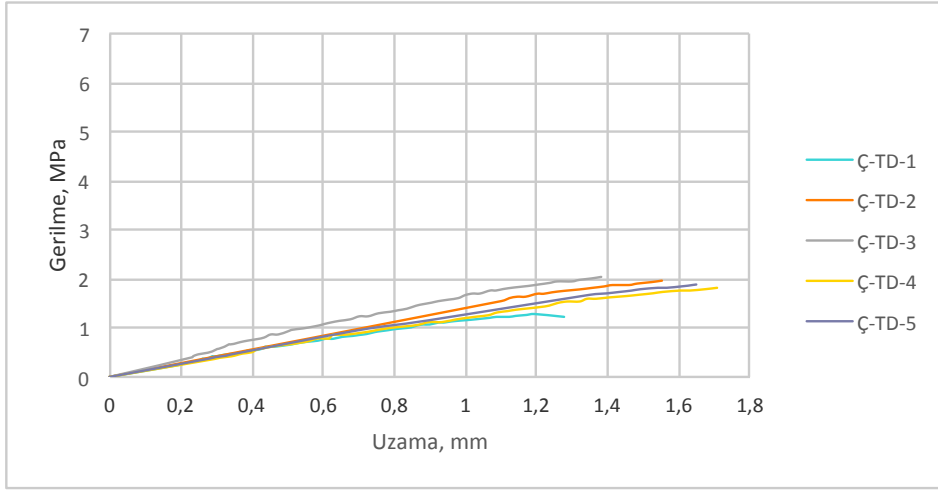
EK D: Numunelere ait gerilme uzama grafikleri



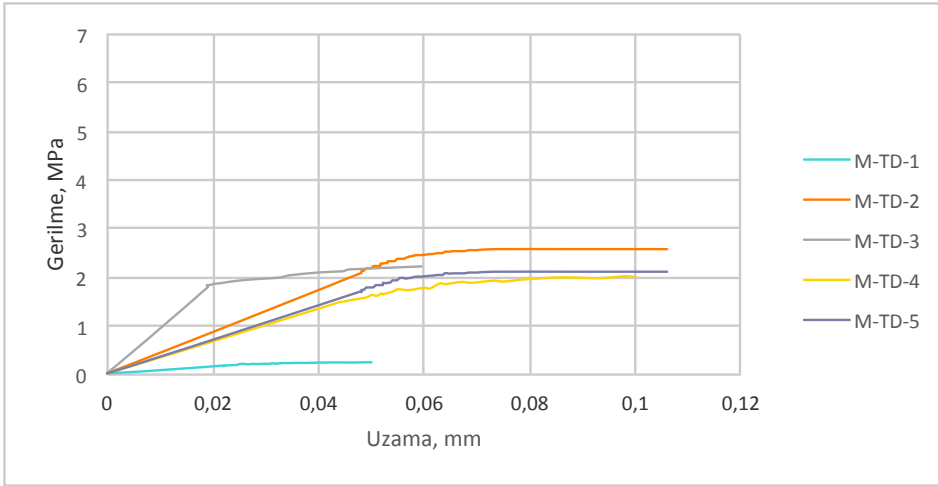
Şekil D.1 : Ç-AY numunelerinin gerilme-uzama grafiği



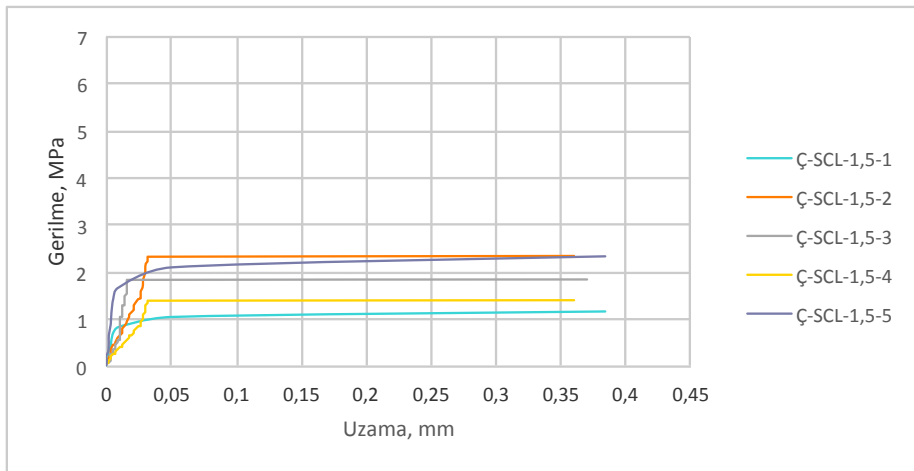
Şekil D.2 : Ç-SL numunelerinin gerilme-uzama grafiği



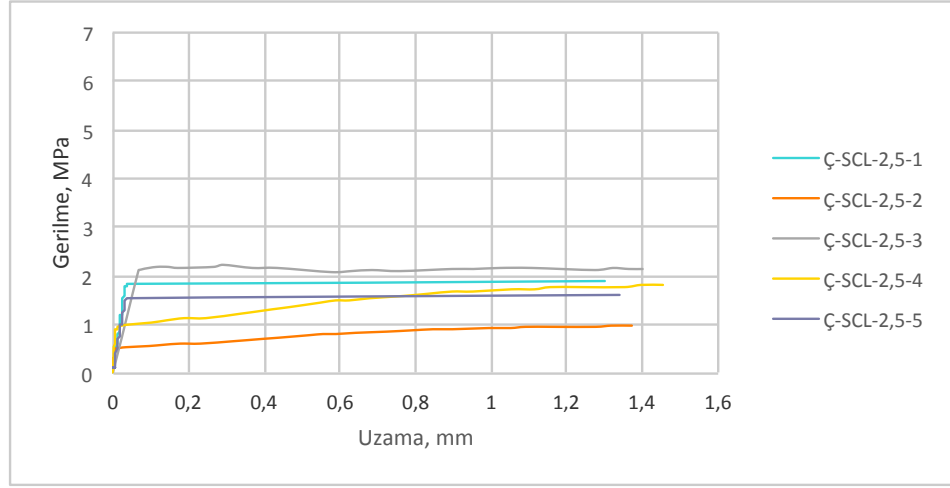
Şekil D.3 : Ç-TD numunelerinin gerilme-uzama grafiği



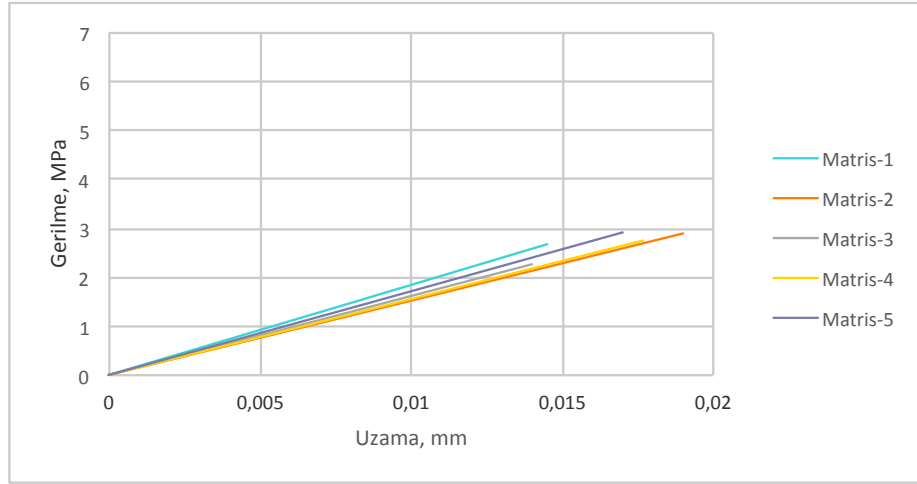
Şekil D.4 : M-TD numunesinin gerilme-uzama grafiği



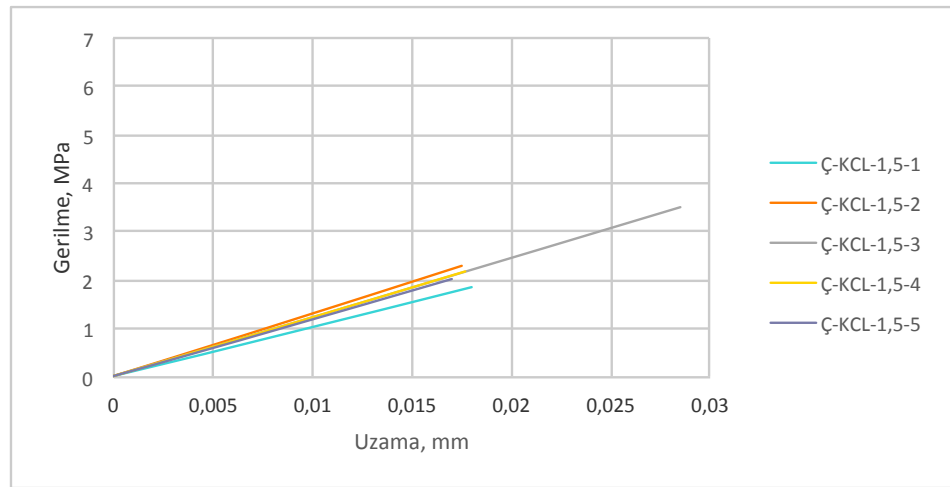
Şekil D.5 : Ç-SCL-1,5 numunelerinin gerilme-uzama grafiği



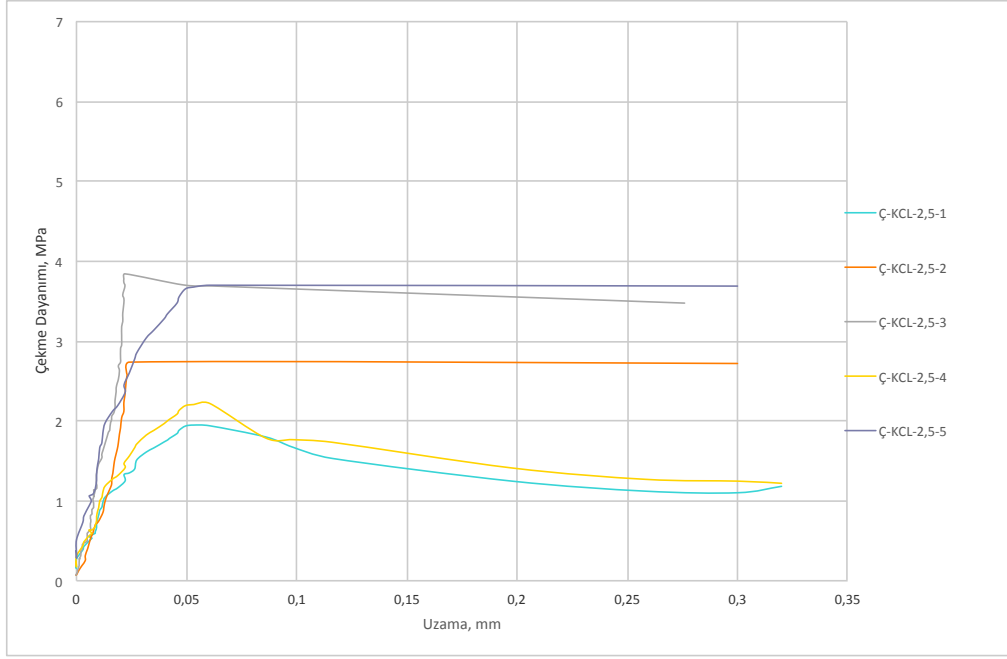
Şekil D.6 : Ç-SCL-2,5 numunesinin gerilme-uzama grafiği



Şekil D.7 : Matris numunelerinin gerilme-uzama grafiği



Şekil D.8 : Ç-KCL-1,5 numunelerinin gerilme-uzama grafiği



Şekil D.9 : Ç-KCL-2,5 numunelerinin gerilme-uzama grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Egemen ARABACI

Doğum Yeri ve Tarihi : İSTANBUL / 1988

E-posta : egemenarabaci@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi (2012)