

**DEĞİŞİK UÇ ŞEKLİNE SAHİP FİBERLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
POLYESTER KALSİT KOMPOZİTİN DAYANIMINA FARKLI KÜR
(FIRINLAMA) ŞARTLARININ ETKİSİ**

Zafer ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

**DEĞİŞİK UÇ ŞEKLİNE SAHİP FİBERLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
POLYESTER KALSİT KOMPOZİTİN DAYANIMINA FARKLI KÜR
(FIRINLAMA) ŞARTLARININ ETKİSİ**

Zafer ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Zafer ÖZDEMİR tarafından hazırlanan DEĞİŞİK UÇ ŞEKLİNE SAHİP FİBERLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ POLYESTER KALSİT KOMPOZİTİN DAYANIMINA FARKLI KÜR (FIRINLAMA) ŞARTLARININ ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Selim TÜRKBAS
Tez Yöneticisi

Doç. Dr. Nurettin ARSLAN
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Bedri TUÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selim TÜRKBAS

Üye : Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ

Üye : Prof. Dr. Faruk MENDİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

Tarih : 13 / 09 /2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Zafer ÖZDEMİR

**DEĞİŞİK UÇ ŞEKLİNE SAHİP FİBERLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
POLYESTER KALSİT KOMPOZİTİN DAYANIMINA FARKLI KÜR
(FIRINLAMA) ŞARTLARININ ETKİSİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Zafer ÖZDEMİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2006

ÖZET

Değişik fiber malzemelerle takviye edilmiş polyester kalsit kompozitin mekanik özelliklerini büyük ölçüde kullanılan elyafın (fiberin) malzemesi belirler. Fiber malzemenin şekli ve hacim oranı da bunda büyük etkindir. % 1 hacim oranında kalıplanarak üretilen düz fiberlerle takviye edilmiş açma deney numuneleri 40 °C, 80 °C ve 120 °C sıcaklıklarda sırası ile 4, 8 ve 12 şer saat fırınlamaya tabii tutulmuştur. Kür edilen numuneler açma deneyine; (boş:fibersiz numune) boş, I , Z ,U ve OO fiberli çekme numuneleri çekme testine ve açma testine,; boş, düz, Z uç şekilli, U uç şekilli, OO şekilli ve örgü şekilli fiberler ise oda sıcaklığında kür edilerek dört nokta eğme testine tabii tutulmuşlardır. Sonuçta örgü tip fiberlerle takviye edilmiş kompozit malzemenin eğme dayanımının diğer şekilli fiberlere göre az bir miktar daha yüksek dayanıma sahip oldukları görülmüştür. Düz fiberlerin çekme dayanımının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Fırınlamaya tabii tutulan numunelerde belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Bilim Kodu	: 914
Anahtar Kelimeler	: Değişik uç şekilli fiberler, kür koşulları, kısa fiber
Sayfa Adedi	: 55
Tez Yöneticisi	: Yrd.Doç.Dr.SelimTürkbaş, Doç.Dr.NurettinArslan,

**THE EFFECT OF THE DIFFERENT CURE CONDITIONS ON THE
STRENGTH OF POLYESTER-CALCID COMPOSITE REINFORCED
WITH VARIOUS END SHAPED FIBERS**

(M.Sc. Thesis)

Zafer ÖZDEMİR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2006**

ABSTRACT

The mechanical properties of the polyester calsid composite reinforced with various fibers are determined by the fiber material that is used. The shape and the fiber volume fraction has also a considerable effect. The study consists of the comparison of the matrix strength for composites reinforced with straight fibers and various end shaped fibers. Samples simultaneously have been subjected to mechanical tests; tensile, four point bending and DCB (Double Cantilever Beam) tests. The DCB samples with straight fibers have been studied for cure conditions ; 40°C, 80°C and 120°C, for 4, 8 and 12 hours. Tensile test and four-point-bending is applied to samples without fibers, straight type fiber, Z type, U type, 00 type and braiding samples. As a result ; it has been observed that braiding type fibers have enhancement in mechanical properties than the straight fibers in bending strength. I type fibers are better than the others in tensile tests. It has not been observed much enhancement at the samples that is cured .

Science Code : 914

Key Words : various end shaped fibers, cure conditions, short fiber

Number : 55

Adviser : Yrd.Doç.Dr.Selim Türkbaş, Doç.Dr.Nurettin Arslan

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç. Dr. Nurettin ARSLAN' a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd. Doç. Dr. Selim TÜRKBAS' a , laboratuvardaki çalışmalardaki en büyük yardımcım Makine Mühendisi ve Öğretim Görevlisi Akın ATAŞ'a ve 6ncı Bakım Merkezi Teknik Müdür Komutanım Müh. Bnb. Mustafa ÜSTÜN ve Svl.İşçi. Mehmet ATEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1.GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER HAKKINDA GENEL BİLGİ	5
3. FİBERLERLE TAKVİYE EDİLMİŞ POLYESTER KALSİT KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ	8
3.1 Kullanılan Malzemeler; Fiziksel ve Mekanik özellikleri.....	8
3.1.1. Fiber malzeme olarak çelik	8
3.1.2. Matriks malzeme olarak polyeşter-kalsit karışımı	9
3.1.3 .Hızlandırıcı.....	9
3.1.4. Sertleştirici	10
3.2. Malzemelerin Döküldüğü Kalıplar	10
3.3. Laboratuvar Şartları	12
3.4. Çekme , Açma ve Eğme Numunelerinin Kalıplanması.....	12
3.4.1. Fiberlerin şekilleri,imalatı,korunması	12
3.4.2. Karışım oranları ve karışımın yapılması	13
3.4.3. Kalıpların temizlenmesi	13

Sayfa

3.4.4. Eş zamanlı olarak dökümün yapılması	13
3.4.5. Döküm yapıldıktan sonra bekleme süresi ve kalıptan çıkarma, numunelerin deneyler yapılana kadar bekletilmesi	13
3.5. Düz Fiberlerle Takviyeli Açma Numunelerinin Fırınlanması	14
3.5.1. Tav fırını ve özellikleri	14
3.5.2. Fırınlama sıcaklıkları ve süreleri.....	15
3.5.3. Fırınlamanın yapılması	15
3.6. Eğme ve Açma Deneyi Aparatları Hazırlanması	16
3.6.1. Dört noktadan eğme deney aparatı.....	16
3.6.2. Açma deneyi aparatı.....	17
3.7. Açma Deneyi Numunelerinin İşlenerek Hazırlanması	18
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	19
4.1. Çekme Deneyi.....	22
4.2. Eğme Deneyi.....	28
4.3. Açma Deneyi.....	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	55

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1.Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür düz fiber	23
Çizelge 4.2. Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür boş(fibersiz)	24
Çizelge 4.3. Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür ı tipi.....	27
Çizelge 4.4. Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür u tipi	27
Çizelge 4.5. Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür z tipi	27
Çizelge 4.6. Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür oo tipi	28
Çizelge 4.7. Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür boş (fibersiz)	28
Çizelge 4.8. Eğme deneyi, farklı uç şekilli numunelerin mukavemetlerinin karşılaştırılması	32
Çizelge 4.9. Eğme deneyi, oda sıcaklığında kür,u tipi	33
Çizelge 4.10. Eğme deneyi, oda sıcaklığında kür,örgü tipi.....	33
Çizelge 4.11. Eğme deneyi, oda sıcaklığında kür,oo tipi	34
Çizelge 4.12. Eğme deneyi, oda sıcaklığında kür,z tipi	35
Çizelge 4.13. Eğme deneyi, oda sıcaklığında kür,ı tipi.....	36
Çizelge 4.14. Eğme deneyi, oda sıcaklığında kür, boş(fibersiz) numune	37
Çizelge 4.15. Beş tip numunenin açma deney sonuçlarının karşılaştırılması	42
Çizelge 4.16. 4 saat süre 40 ^o C, 80 ^o C ve 120 ^o C lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler	44
Çizelge 4.17. 8 saat süre 40 ^o C, 80 ^o c ve 120 ^o c lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler.....	44
Çizelge 4.18.12 saat süre 40 ^o C, 80 ^o C ve 120 ^o C lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler.....	45

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.19. 40° C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler.....	46
Çizelge 4.20. 80° C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler.....	47
Çizelge 4.21. 120° C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler.....	48

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kompozit malzemelerle bazı metallerin karşılaştırılması	7
Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	7
Şekil 3.1. 30 mm. ve 20 mm. olarak kesilmiş fiberlerin dört ayrı farklı şekli	8
Şekil 3.2. Örgü şeklinde fiber malzeme	9
Şekil 3.3. Açma deney numunesi	18
Şekil 4.1. Çekme deney numunesinin ölçüleri	22
Şekil 4.2. Çekme deney numunesi düz fiberlerin dizilişi	22
Şekil 4.3. Çekme deneyi ,oda sıcaklığında kür,düz fiber	23
Şekil 4.4. Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür, boş(fibersiz)	24
Şekil 4.5. BSS fiber ile düz fiberin karşılaştırılmalı gerilme-uzama grafiği	26
Şekil 4.6. Eğme deney numunesinde fiberlerin dizilişi	28
Şekil 4.7. Eğme deney numunesi	29
Şekil 4.8. Eğme deney numunelerinin karşılaştırılmalı kuvvet – sehim grafiği	31
Şekil 4.9. Eğme deneyi u tipi fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehim grafiği	32
Şekil 4.10. Eğme deneyi örgü tipi fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehim grafiği	33
Şekil 4.11. Eğme deneyi 00 tipi fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehim grafiği	34
Şekil 4.12. Eğme deneyi z tipi fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehim grafiği	35

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13. Eğme deneyi düz fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehım grafiği.....	36
Şekil 4.14. Eğme deneyi boş(fibersiz) numuneler kuvvet– sehım grafiği.....	37
Şekil 4.15. Bss ve css fiber takviyeli kompozitin kuvvet-sehım grafiği.....	38
Şekil 4.16. Açma deney numunesi	40
Şekil 4.17. Beş tip numunenin açma deney sonuçlarının karşılaştırılması	42
Şekil 4.18. 4 saat süre ile 40,80 ve 120°C lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler	43
Şekil 4.19. 8 saat süre ile 40,80 ve 120°C lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler	44
Şekil 4.20.12 saat süre ile 40,80 ve 120°C lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler	45
Şekil 4.21. 40°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler	46
Şekil 4.22. 80°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler	47
Şekil 4.23. 120°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler	48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Çekme deney numuneleri için döküm kalıpları	10
Resim 3.2. Eğme deney numuneleri için döküm kalıpları	11
Resim 3.3. Çift taraflı açma deney numuneleri döküm kalıpları	11
Resim 3.4. Laboratuvar	12
Resim 3.5. Kalıplardan çıkarılan numuneler.....	14
Resim 3.6. Koruyucu kap (fırınlamadan sonra numunelerin bekletildiği).....	15
Resim 3.7. Eğme deney cihaz aparatı	16
Resim 3.8. Açma deney cihaz aparatı	17
Resim 4.1. Üniversal çekme cihazı	19
Resim 4.2. Yük ve hız kontrol ünitesi.....	20
Resim 4.3. Veri toplama cihazı	20
Resim 4.4. LVDT.....	21
Resim 4.5. Strain-gauge ve yük hücresi	21
Resim 4.6. Kırılan çekme numunesi	25
Resim 4.7. Eğme deney numunesi fiberlerin dizilişi	29
Resim 4.8. Eğme deney numunesi kırılma kesiti a noktası.....	30
Resim 4.9. Eğme I (düz) fiber takviyeli numune kırılma kesiti	31
Resim 4.10. Eğme deney numunesinde çatlak oluşumunun başlaması	39
Resim 4.11. Eğme deney numunesinde kırılmanın başlaması.....	39
Resim 4.12. Eğme deney numunesinde kırılma (bazıları pull-out olurken bazıları pull-out olmadan direk kırılıyor).....	39
Resim 4.13. Açma deney numunesi	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
dak.	Dakika (zaman birimi-saatin 60'da biri)
I	I tipi düz şekilsiz fiber
mm	Milimetre (uzunluk birimi)
mm²	Milimetre kare (alan birimi)
Mpa	Mega paskal (gerilme birimi)
N	Newton (kuvvet birimi)
00	 00 tipi kesilip hazırlanmış fiber
p	Kuvvet (birimi newton)
σ	Gerilme (MPa, N/mm ²)
t	Sıcaklık, ° C
u	U tipi kesilip hazırlanmış fiber
z	Z Tipi Kesilip Hazırlanmış Fiber

Kısaltmalar	Açıklama
BSS	Bone Shaped Short Fiber (kemik uç şekilli fiber)
CSS	Conventional Straight Short Fiber (bilinen kısa düz fiber)
COD	Crack Opening Displacement (Çatlak Açılma Hattı Uzunluğu)
DCB	Double Cantilever Beam Test (çift taraflı açma deneyi)
LVDT	Lineer Variable Displacement Transducer (Doğrusal Değişken Yer Konumlama Aygıtı)

Kısaltmalar**Açıklama****PULL-OUT**

Fiberlerin matriks yapı içerisinde kırılmadan ayrılması(sıyrılma)

1.GİRİŞ

Kısa fiberlerin bilinen (konvensiyonel) fiberlere göre daha iyi bir dağılım sağlayıp, izafi olarak izotropik bir yapı sağladıkları bilinmektedir. Ayrıca kısa fiberlerin matriks yapı üzerinde daha fazla dayanımının olması da belli başlı avantajlarındandır. Bilinene diğer uzun fiberlere göre anizotropik olması nedeniyle de kompleks kalıplara da dökülebilmekte ve konvensiyonel üretim tekniklerinde (toz metalurjisi, döküm, çekme, kaynak vb.) uygulanabilmektedir [1,2] .

Değişik uç şekline sahip fiberlerin matrix malzeme içindeki davranışları ve mekanik özelliklere etkisi her zaman merak konusu olmuştur. Fiberlerin aynı karışım oranında değişik uç şekli verilerek matrix malzeme içinde tutunmaları ve buna bağlı olarak kompozit malzemenin dayanımına etkileri , daha önce kemik uç şekilli fiberlerle (BSS) yapılan mekanik deneylerle [1] araştırılmış ve sonuçta aynı hacimsel karışım oranında kemik uç şekilli fiberlerin düz fiberlere göre çok daha iyi mekanik özelliklerinin olduğu gözlemlenmiştir [1,3].

Kısa fiberlerin en büyük problemi elyaf ve matriks ara yüzeyinden kaynaklanmaktadır. Bu ara yüzey çok kritik bir rol oynamakta ve çoğu zaman tokluk, mukavemet gibi mekanik özellikleri kısıtlamaktadır [1].

Kısa bir fiber için; matriksten fibere etkin bir yük transferi için güçlü bir ara yüzey istenir. Güçlü bir ara yüzey ise fiberin her iki ucunda da efektif olmayan uzunluğu azaltır, bu yüzeyde yük taşıyan efektif uzunluk artar. Ancak güçlü bir ara yüzey ile, yaklaşan bir çatlağın önündeki fiber gerilim yığılmalarını serbest bırakmak çok güçtür. Bu tür gerilim yığılmaları fiber kırılmasıyla sonuçlanabilir. Bu etki özellikle seramik matriks kompozitler için daha keskindir. Çünkü seramiklerin plastisitesi az olduğu için toklukları da çok azdır. Çok yüksek tokluğa sahip bir matrix için bile (plastikler gibi) çok güçlü bir ara yüzey ardarda bitişik fiber kırılmalarına yol açabilir ve sonuç olarak kompozitin tokluğunu azaltır [1,4,5,6].

Bu yüzden, bu ara yüzey problemleri kısa düz fiber kompozitler için esas problem sahasıdır, ve bu problem fiber / matriks ara yüzey özelliklerini düzelterek çözülememektedir. Uzun ve geniş araştırmalar (ara yüzeylerde) da bu problemi çözememektedir [1,7,8,9].

Bir diğer kısa düz fiber çeşiti de tok fiberlerdir. Bunlarla takviye edilmiş kompozitlerde güçlü ara yüzey mukavemeti artırırken, tokluğu da azaltır. Tersine geçerlidir; zayıf ara yüzeyde tokluk yüksek iken, mukavemet azdır [1,10,11].

Anlaşılabacağı üzere ara yüzey özellikleri kısa fiberli kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemektedir. Bu yüzden araştırmaların çoğu ara yüzeyleri modellemek, karakterize etmek ve düzenlemek olarak yönelmiş durumdadır, bu ise çok yüksek ve pahalı yatırım ve araştırmalar demektir [1,12,13].

Son zamanlarda hem tokluğu hem de mukavemeti artırmaya yönelik yeni bir yaklaşım geliştirilmektedir. Bu yaklaşımın temeli fiber / matriks ara yüzeyi yerine fiberlerin geometrisini düzenlemeye dayanmaktadır. Kısa fiberlerin uçları etkin yük transferi için genişletilerek kemik gibi bir görüntü elde edilmiştir. Bu yüzden bunlara BSS (Bone – Shaped Short Fibers – Kemik Şeklinde Uçlu Fiberler) denmektedir [1,14,15].

BSS takviyeli kompozitlerde, mukavemette azalma olmadan önemli ölçüde gerilim yığılmalarını önleyerek, zayıf bir ara yüzey kullanabilmektedir. Bu da toklukta artış demektir. Gerilim yığılmalarının azaltılması tokluğun artırılması demektir. Bu sayede BSS fiberlerle takviyeli kompozitlerde, zayıf ara yüzey fiberin tüm uzunluğu boyunca bağlanıp plastik deformasyona uğramasına izin verir bu ise yüksek oranda enerjinin tüketilerek sonuçta tokluğun artırılması demektir [1,16].

BSS takviyeli, kompozitlerle geniş araştırmalar yapılmış ve sonuçta bu kompozitlerin mekanik özelliklerinin konvensiyonel kısa fiberlerle takviyeli kompozitlerden çok daha iyi olduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir [2].

Yaptığımız alışma şu başlıklarda toplanmaktadır ;

- 1-) Literatür araştırması
- 2-) Deneyler için kalıp malzemelerinin ve çekme , eğme cihazlarına bağlantı aparatlarının retilmesi
- 3-) Fiber ve matriks malzemelerin üretilmesi
(fiber = elik)
(matriks = polyester, kalsit)
- 4-) Hazırlanan karışımın kalıplara dökülerek imalatı
- 5-) Kalıplardan ıkarılan kompozitlerin mekanik deneylerinin yapılması
- 6-) Düz fiberlerle hazırlanan açma deney numunelerinin fırınlanması ve deneylerinin yapılması
- 7-) Deneylerin sonuçlarının yorumlanması

Biz, alışmamızda önce düz, U, Z , 00 ve örgü şekilli elik fiberlerle hazırlanan polyester / kalsit (kullanılan polyester; esnek polyester reçine, çekme dayanımı 64,8 N/mm² , eğilme dayanımı ise 350 N/mm² dir [1], kullanılan kalsit (CaCO₃) genel amaçlı kullanımlar için hazırlanmış kalsit, hacimsel olarak %50-%50 oranında kullanılmıştır) kompozit numunelerini ürettik. Üretilen numunelere çekme, eğme ve açma deneyleri uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca 40°C, 80°C ve 120°C de 4, 8 ve 12 şer saat süre ile fırınlamaya tabii tutularak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Burada amaç hem değişik uç şeklindeki fiberlerin düz fiberlere göre mekanik özelliklerinin nasıl olduğunu görmek hem de kr işleminin mekanik özellikler üzerindeki etkisini deneysel olarak gözlemlemektir.

Deneylerde fiber malzeme olarak alaşımsız elik ($\sigma_c = 200 \text{ N/mm}^2$) tel , matriks malzeme olarak ise polyester / kalsit karışımı kullanılmıştır. Fiber miktarı literatür değerlerine uygun olarak %1 lik hacimsel oranda seçilmiştir [3,10,11].

Ayrıca kompozite belli oranda (%1) hızlandırıcı ve sertleştirici madde katılmıştır [2,10].

Yapılan mekanik deneyler çekme, eğme ve çift taraflı açma deneyleridir.

Numunelerin döküldüğü kalıplar ve deney cihazlarına monte edilen aparatlar da çelik malzemedен imal edilmiştir.

Fiberlerde malzemenin özelliği değil fiberin şekli ön planda tutulmuştur.

2. KOMPOZİT MALZEMELER HAKKINDA GENEL BİLGİ

İki ya da daha fazla farklı malzemenin birbirleri arasında ara yüzey bağlantısı meydana getirecek şekilde makro düzeyde oluşturdıkları kombinasyona kompozit malzeme denmektedir. Oluşan bu kombinasyon iki malzemedan farklı mühendislik özellikler gösterir. Şöyle ki hem mekanik hem de fiziksel özellikleri gelişmiş yeni bir karışım olmuştur. Kompozitlerin sadece yapısal özellikleri nedeni ile değil aynı zamanda , elektriksel, çevresel ve termal özellikleri nedeni ile de kullanım alanları geniştir [4].

Kompozit malzemeler yeni bulunan bir malzeme grubu olmayıp, doğada varolan yapılardan hareketle, farklı özelliklere sahip malzemelerin birleştirilmesi sonucu elde edilmektedirler. Bu tanıma göre küçük parçacıklar halinde karbon içeren demir de kompozit malzeme sınıfına girecektir. Ancak, perlitik yapıdaki çelik, ferrit ve sementit tabakalarının düzenli dizilişine sahip olması nedeniyle, mikro kompozit olarak kabul edilebilir. Bu durumdan doğabilecek tartışmaları önlemek amacıyla kompozit malzemeler "iki veya daha fazla malzemenin makroskobik düzeyde bileşimi" şeklinde tanımlanabilir [4].

Teknolojide kompozit malzemeler 1940'lı yıllarda havacılık sektörüne hizmet vermek üzere geliştirilmeye başlanmışlardır. Amaç, çelik ve alüminyum alaşımları gibi konvensiyonel malzemelerin yerine daha düşük ağırlıklı ancak daha mukavemetli, sertlik değeri, aşınma dayanımı ve kırılma tokluğu yüksek malzemelerin geliştirilmesiydi [5].

Kompozitlerin genel olarak yararlarını sayarsak şunları söyleyebiliriz;

1. Konvensiyonel metallere göre hafiflik
2. Hacim oranına göre yüksek mukavemet
3. Tek yönde yüksek mukavemet
4. Yüksek korozyon direnci

5. Ortam koşullarına yüksek dayanım
6. Düşük termal iletkenlik ve termal genleşme katsayısı
7. Yüksek darbe dayanımı
8. Bakımının kolay olması

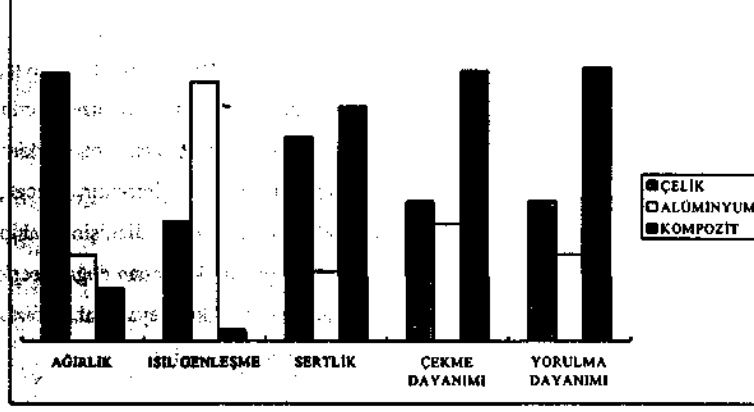
Fiber malzeme takviye malzeme olarak da adlandırılabilir. Başlıca fonksiyonu , bir yönde mukavemet ve sağlamlık sağlayarak fiber uzunluğu boyunca yük taşımaktır. Çoğunlukla matriks malzeme içerisinde homojen , izotropik ya da heterojen olacak şekilde dağılırlar. Bu dağılım kompozitin mekanik özelliklerini etkiler. En çok bilinenleri karbon, cam elyaf fiber ve metal fiberlerdir. Özellikle mukavemet ve sıcaklığa dayanımın daha fazla istendiği havacılık endüstrisinde metal bazlı fiber takviyeler kullanılmaktadır [2].

Matriks malzeme ise kompozitin için de fiber takviye edici malzemeyi tutan , esas sıvı içerikli bölümdür. Ancak kalıplara döküldükten sonra fiberlerle bütünleşerek katı hal alır. Esas görevi fiberlere bağlayıcılık yaparak bir arada tutmak ve yük iletimi sağlamaktır. Polyester, epoksi ve poliüretan en çok kullanılan matriks malzemelerdir.

Bunların dışında hızlandırıcı, sertleştirici ve diğer doldurucu malzemeler kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve korozyon ve termal dayanıklılık gibi özellikleri artırmak için kullanılırlar [2].

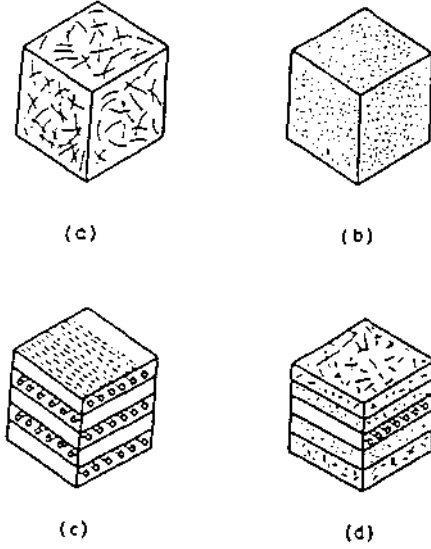
Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler, diğer kompozit tiplerine göre, uçak yapılarında daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Tasarım açısından önemli hususlarda çelik ve alüminyum gibi konvansiyonel malzemelerle kompozit malzemelerin karşılaştırılmasına gidilmiştir. Kompozit malzemelerin her alanda üstün özellikleri açıkça görülmektedir. Ancak elyaf takviyeli kompozitlerin özellikleri elyaf takviyelerin yönlenmelerine bağlı olarak çok değişken bir dağılım gösterirler. Elyaf lar doğrultusunda çok yüksek bir mukavemet değerine sahipken elyaf lara dik doğrultuda çok az veya hiç mukavemet göstermezler. Bu anizotrop

davranışın olumsuz etkileri, tabakalı yapılarda istenilen şartlarda, en uygun açı dağılımının tespiti ile giderilebilir [4].



Şekil 2.1 Kompozit malzemelerle bazı metallerin karşılaştırılması [4]

Kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olamamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama şekil 2.2. de verilmektedir [4].



Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması [4]

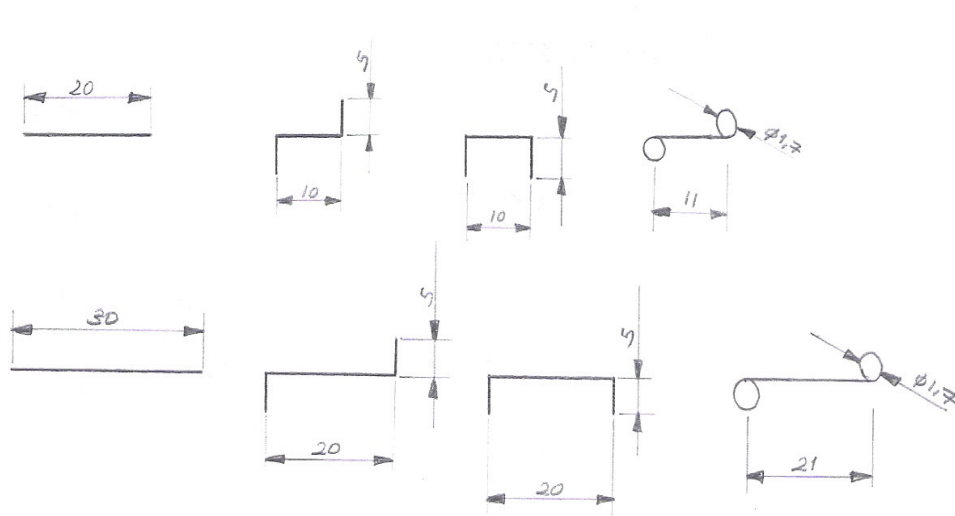
- Fiber takviyeli kompozitler,
- Partikül takviyeli kompozitler
- Tabakalı kompozitler,
- Karma kompozitler

3. FİBERLERLE TAKVİYE EDİLMİŞ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ

3.1. Kullanılan Malzemeler, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

3.1.1. Fiber malzeme olarak çelik

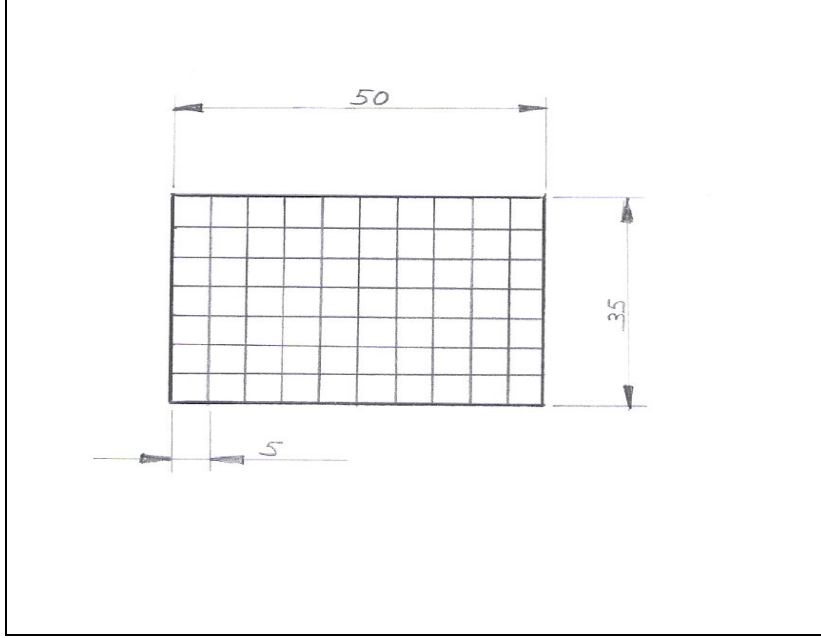
Kullanılan tel ($\sigma_c = 200 \text{ MPa}$) özelliklerinde, çapı 0,5mm. olan alaşımsız çelik teldir. Teller 20 mm. ve 30 mm. uzunluklarında kesildikten sonra % 5'lik aseton ile temizlenmiş, Şekil 3.1. de gösterilen uç şekillerinde hazırlandıktan sonra döküm yapılana kadar dış etkenlerden korunmak amacıyla ayrı ayrı cam kavanozlarda muhafaza edilmiştir.[2,13]



Şekil 3.1. 30 mm. ve 20 mm. olarak kesilmiş fiberlerin dört ayrı farklı şekli

Sadece eğme deneyinde kullanılmak üzere ise Şekil 3.2. de görülen örgü şeklindeki 0,5 mm. lik çapa sahip aynı mekanik özelliklerdeki çelik malzemedan yararlanılmıştır. 30 mm. uzunluğundaki fiber tel eğme deneylerinde, 20 mm. uzunluğundaki fiber teller de açma ve eğme deneylerinde kullanılmıştır.

Tüm karışımlarda fiber oranı hacimsel olarak % 1 dir.[1,10]



Şekil 3.2. Örgü şeklinde fiber malzeme

3.1.2. Matriks malzeme olarak polyester – kalsit karışımı

Kullanılan polyester döküm amaçlı kullanımlar için hazırlanmış esnek polyester reçinedir. Çekme dayanımı $64,8 \text{ N/mm}^2$, eğilme dayanımı ise 350 N/mm^2 dir [1].

Kullanılan kalsit (CaCO_3) genel amaçlı kullanımlar için hazırlanmış kalsittir. Vizkoziteyi artırmak ve fiberlerin matrix içinde asılı kalabilmeleri için ve homojen dağılım sağlamak için kullanılmıştır [1,3,7]. Ağırlık olarak % 3 oranında polyestere katılmıştır. Hacimsel olarak bu oran % 50 dir.

3.1.3. Hızlandırıcı

Kullanılan hızlandırıcı kobalt esaslı hızlandırıcı olup polyesterin % 1' i oranında karışıma eklenmiştir [1].

3.1.4 Sertleştirici

Kullanılan sertleştirici Mekap Katalizör Peroksittir . Polyesterin % 1' i oranında karışıma katılmıştır [1].

3.2. Malzemelerin Döküldüğü Kalıplar

Kalıpları Resim 3.1-3.3.'da gösterildiği gibidir. Çelik malzemeden , freze tezgahında üretilerek imal edilmiştir.[1,10,11]



Resim 3.1. Çekme deneyi numuneleri için döküm kalıpları



Resim 3.2. Eğme deney numuneleri için döküm kalıpları



Resim 3.3. Çift taraflı açma deney numuneleri için döküm kalıpları

3.4.2. Karışım oranları ve karışımın yapılması

Polyesterin İçine %3 (ağırlık olarak) % 50 (hacimsel olarak) katılmıştır. %1 oranında (hacimsel) sertleştirici ve %1 (hacimsel) oranında ise hızlandırıcı katılmıştır. Fiberlerin oranı tüm numuneler için hacimsel olarak %1 dir [1,11,16,17].

Karışım, sentetik tiner ile temizlenmiş ve toz, nem, kirden tamamen arındırılmış plastik kap içerisinde hazırlanmıştır.

3.4.3. Kalıpların temizlenmesi

Çekme, eğme ve açma deney kalıpları dökümden hemen önce tiner ile temizlenmiştir. Kalıpların yattığı cam levha da aynı şekilde temizlenmiştir. Kalıplara numunelerin herhangi bir deformasyona uğramaması için PVA esaslı kalıp ayırıcı sürülmüştür [2,8,9].

3.4.4. Eşzamanlı olarak dökümün yapılması

Çekme ve açma deneyleri numunelerinin kalıplara dökülmesi eş zamanlı olarak yapılmıştır. Şöyle ki ; mikser yardımı ile hazırlanan karışımın içerisine fiberler dizilmiştir. Hava kabarcıklarını önlemek ve homojen dağılım sağlamak için elle yayma yöntemi kullanılmıştır [3].

3.4.5.Döküm yapıldıktan sonra bekleme süresi ve kalıptan çıkarma, numunelerin deneyler yapılana kadar bekletilmesi

Dökümden sonra en az 24 saat kalıpta bekletildikten sonra numuneler kalıplardan zorlanma olmadan ve zarar görmeden çıkartılmıştır. Numuneler beşerli gruplar halinde çekme, açma ve eğme deney numuneleri olarak ayrı ayrı hijyenik beyaz naylonlarda deney yapılana kadar bekletilmiştir.



Resim 3.5. Kalıplardan çıkarılan numuneler (eğme, çekme, açma numuneleri)

3.5 Düz Fiberlerle Takviyeli Açma Numunelerinin Fırınlanması

3.5.1 Tav fırını ve özellikleri

Etüv Fırını 0 - 300°C arasında çalışabilen elektrikli bir endüksiyon fırınıdır.

3.5.2 Fırlama sıcaklıkları ve süreleri

Fırlama düz fiberlerle hazırlanmış açma numunelerine uygulanmıştır. 40 °C . 80 °C ve 120 °C ‘ de ayrı ayrı 4 , 8 ve 12 ‘ şer saat olmak üzere fırlama yapılmıştır.

3.5.3 Fırlamanın yapılması

Kalıplara dökülen açma numuneleri kalıplarda yaklaşık 1 saat bekletildikten sonra kalıplarla beraber fırla sürülmüştür. Fırlamadan sonra yine numuneler deforme olmadan fırlandan çıkarılmış ve kalıplardan çıkarılmıştır. Numuneleri deneyleri yapılana kadar olumsuz koşullardan (nem, dış hava) korumak için destinatör isimli koruyucu kapta 1 hafta süre ile bekletilmiştir.



Resim 3.6. Koruyucu kap (fırlama sonrası numunelerin bekletildiği)

3.6. Eğme ve Açma Deneyi Aparatlarının Hazırlanması

3.6.1. Dört nokta eğme deney aparatı

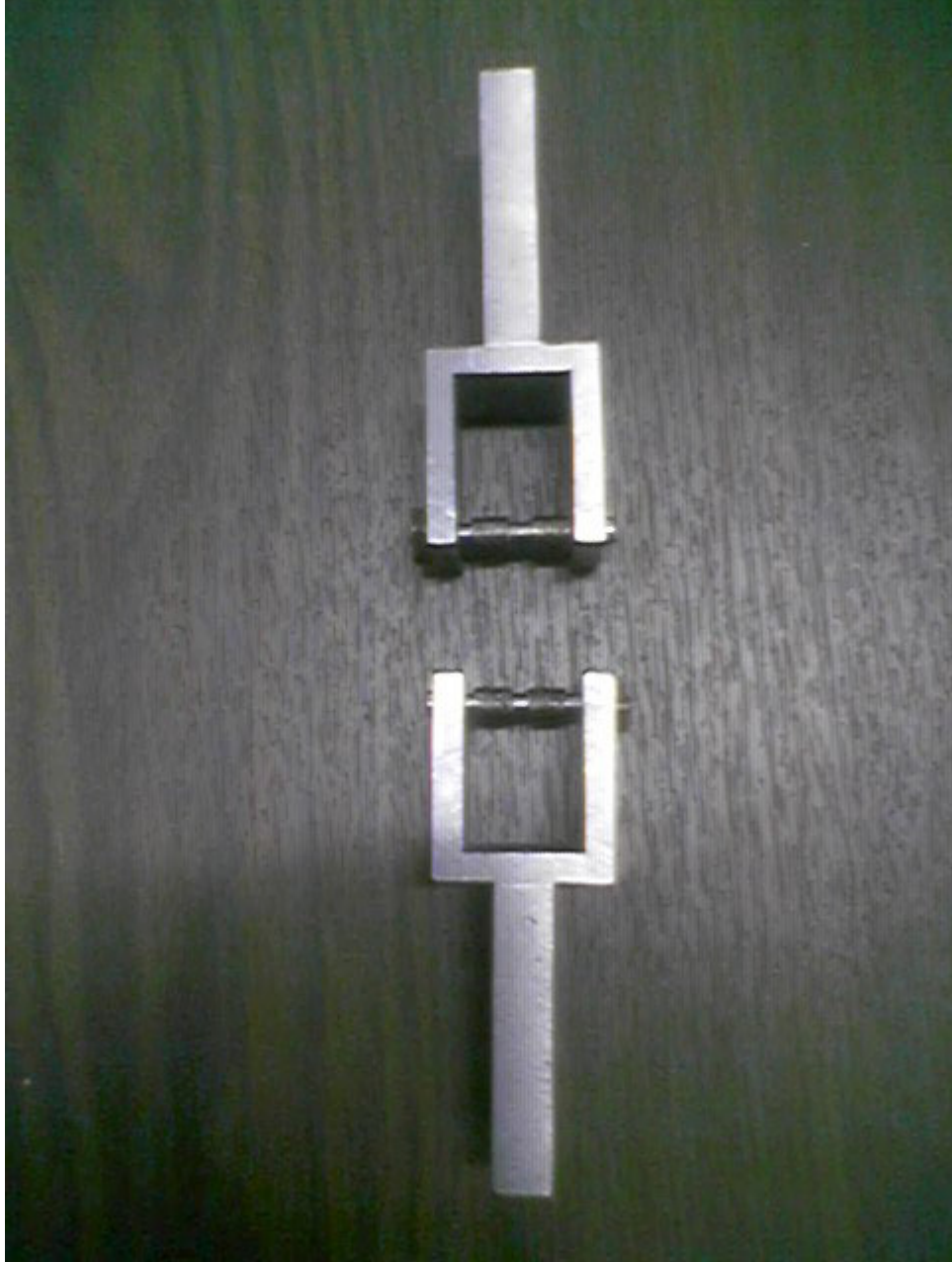
Resim 3.7. de görüldüğü gibi imal edilerek hazırlanmıştır.



Resim 3.7. Eğme deney cihazı aparatı

3.6.2. Açma deneyi cihazı için montaj aparatı

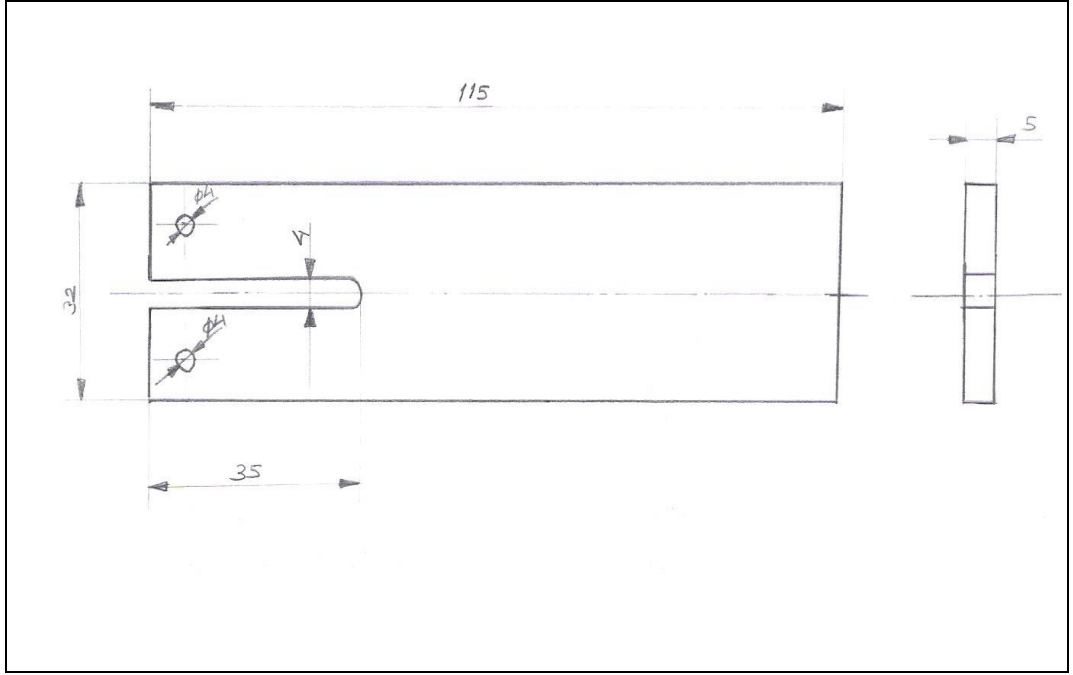
Resim 3.8. de görüldüğü gibi imal edilerek hazırlanmıştır.



Resim 3.8. Açma deney cihazı aparatı

3.7 Açma Deneyi Numunelerinin İşlenerek Hazırlanması

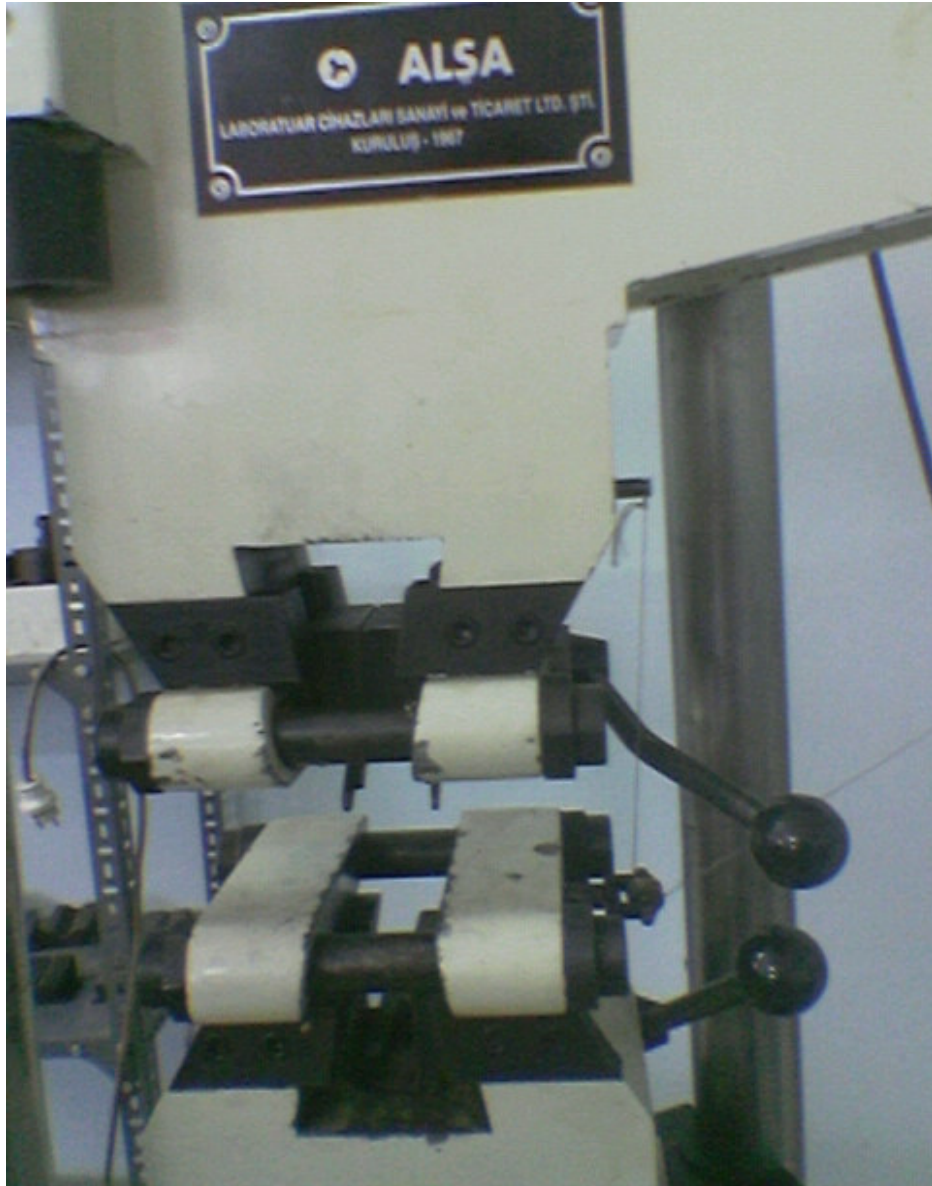
Açma deney numuneleri aşağıdaki şekil 3.3 deki gibi literatür baz alınarak freze tezgahında işlenerek hazırlanmıştır [1,2,7,10,11] .



şekil 3.3. Açma deney numunesi

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyleyler; imalatı yapılan aparatlar vasıtası ile Resim 4.1. - 4.3. de görülen üniversal çekme cihazı, yük ve hız kontrol ünitesi ve veri toplama cihazı kullanılarak yapılmıştır. Veri toplama cihazı; çekme cihazı , LVDT ve strain-gaugeler (gerinim pulu) + yük hücresi (load-cell); ile desteklenerek değerler alınmıştır.



Resim 4.1 Üniversal çekme cihazı



Resim 4.2. Yük ve hız kontrol nitesi

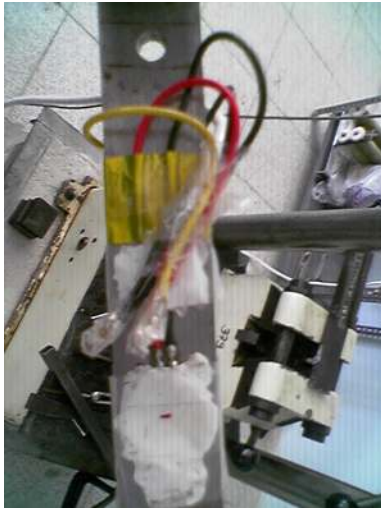


Resim 4.3. Veri toplama cihazı

Genel olarak tüm deneylerde LVDT (Doğrusal Değişken Yer Konumlama Aygıtı) cihazı Resim 4.1.de ki üniversal çekme cihazına tutturulduktan sonra veri toplama sistemi ile bağlantısı (Resim 4.3) yapılmıştır. Bu şekilde deplasman (mm.) değerleri ölçülmüştür. Daha sonra strain-gaugelerin yük hücresine (load-cell,yük algılayıcısı) bağlantısı ile uygulanan yük (N.) değerleri elde edilerek veri toplama cihazına aktarıldı. Veri toplama cihazı kalibre edilirken yük-hız kontrol ünitesinden faydalanılmıştır. Bu şekilde tüm deneylerde kuvvet- uzama değerleri elde edilmiştir. Tüm bu değerler veri kontrol (toplama) cihazına girerek , kuvvet- uzama grafikleri elde edilmiştir.



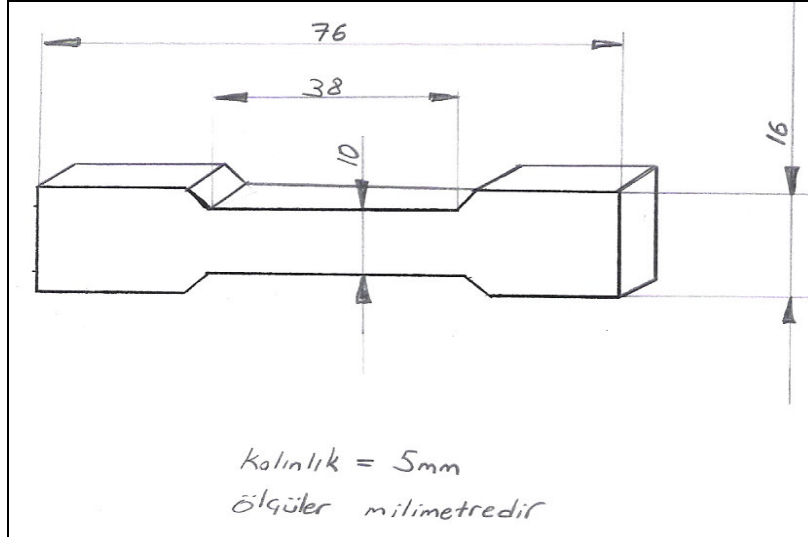
Resim 4.4. LVDT



Resim 4.5. Strain-gauge ve yük hücresi

4.1 Çekme Deneyi

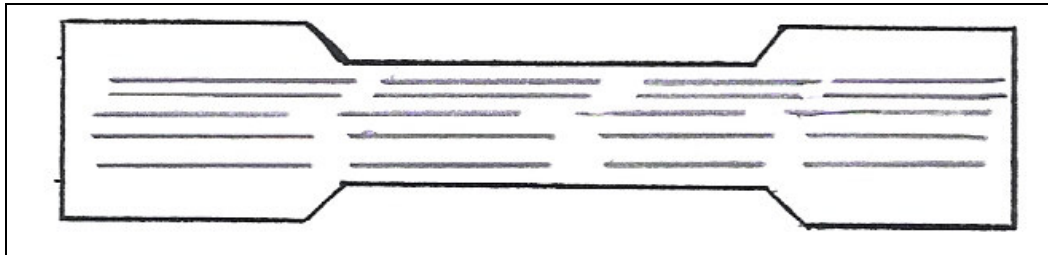
Çekme deneyi ASTM D 638 – 91 ‘ e göre yapılmıştır. Numuneler Şekil 4.1.de görüldüğü gibidir.



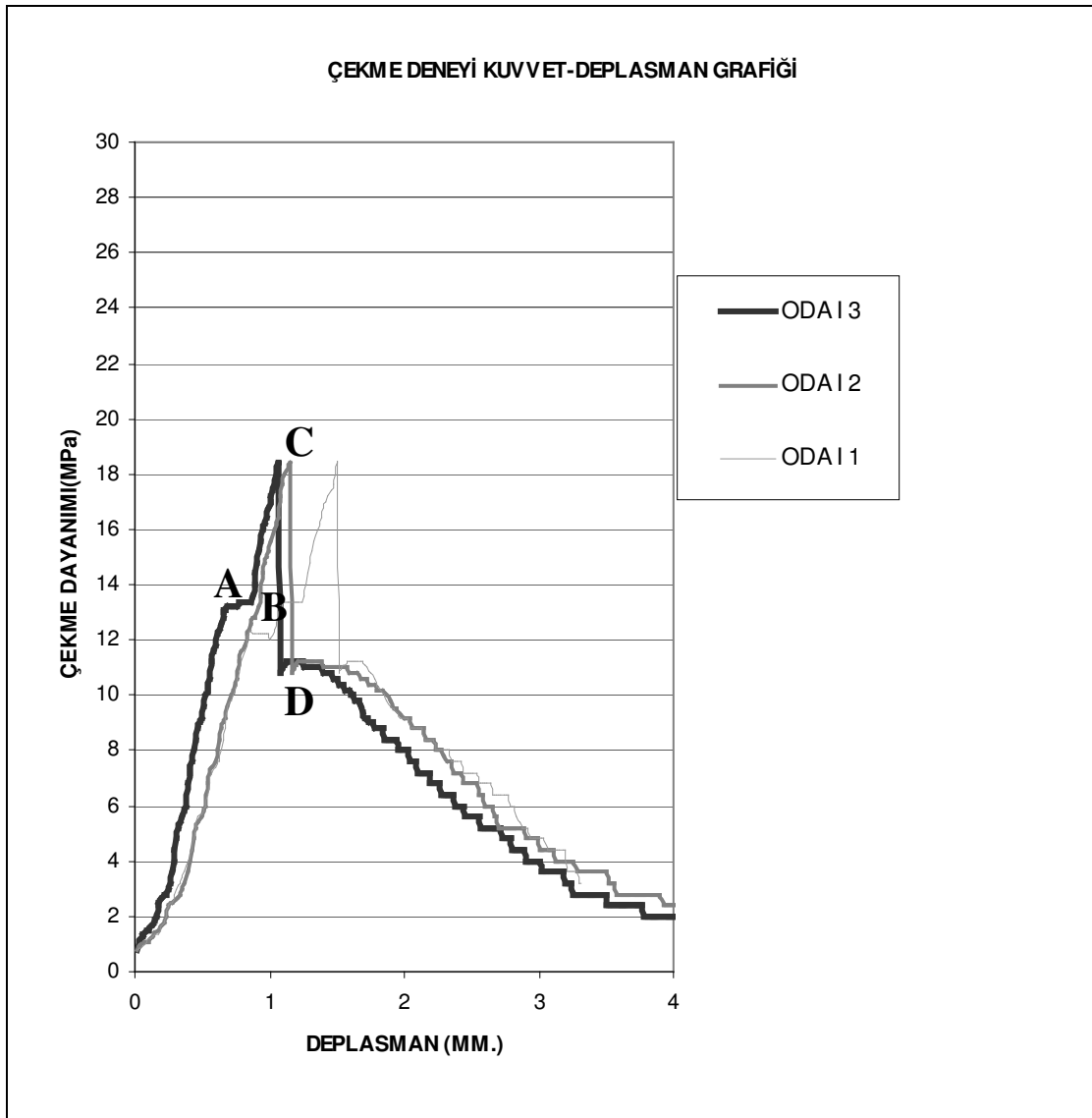
Şekil 4.1. Çekme deney numunesinin ölçüleri

2 mm./dak. hız ve 2000 N. yük (load cell kapasitesi) kullanılmıştır. [1,2,8].

Fibersiz numuneler ve düz ($d = 0,5$ mm. ve $l = 20$ mm.) fiberlerle takviyeli (fiber oranı % 1) iki tip numune standartlara [8] uygun olarak gruplar halinde deneye tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.3.,4.4 ve Çizelge 4.1-4.7. de görülmektedir.



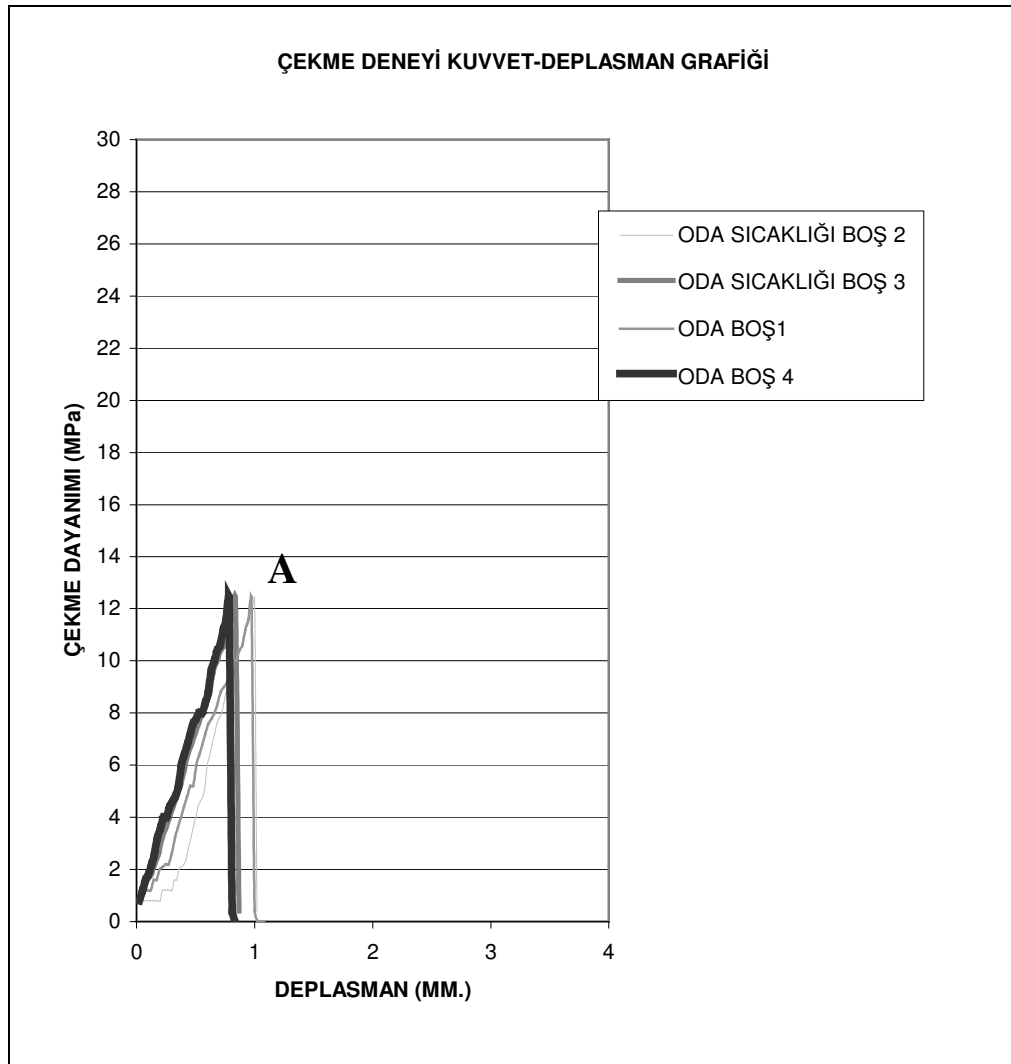
Şekil 4.2. Çekme deney numunesi düz fiberlerin dizilişi



Şekil 4.3. Çekme deneyi , oda sıcaklığında kür, düz tip fiber

Çizelge 4.1. Çekme deneyi , oda sıcaklığında kür, düz tip fiber
[gerilmeler (MPa)]

NO	A NOKTASI	B NOKTASI	C NOKTASI. $\sigma_{\max}$	D NOKTASI
1	12,3	13,7	18,4	11
2	12,2	13,6	<u>18,5</u>	10,8
3	13,2	14	18,4	11



Şekil 4.4. Çekme deneyi , oda sıcaklığında kür, boş (fibersiz)

Çizelge 4.2. Çekme deneyi , oda sıcaklığında kür, boş (fibersiz)
[gerilmeler (Mpa)]

NO	A NOKTASI KOPMA GERİLMESİ MAKSİMUM GERİLME
1	12,4
2	12,5
3	12,5
4	12,5

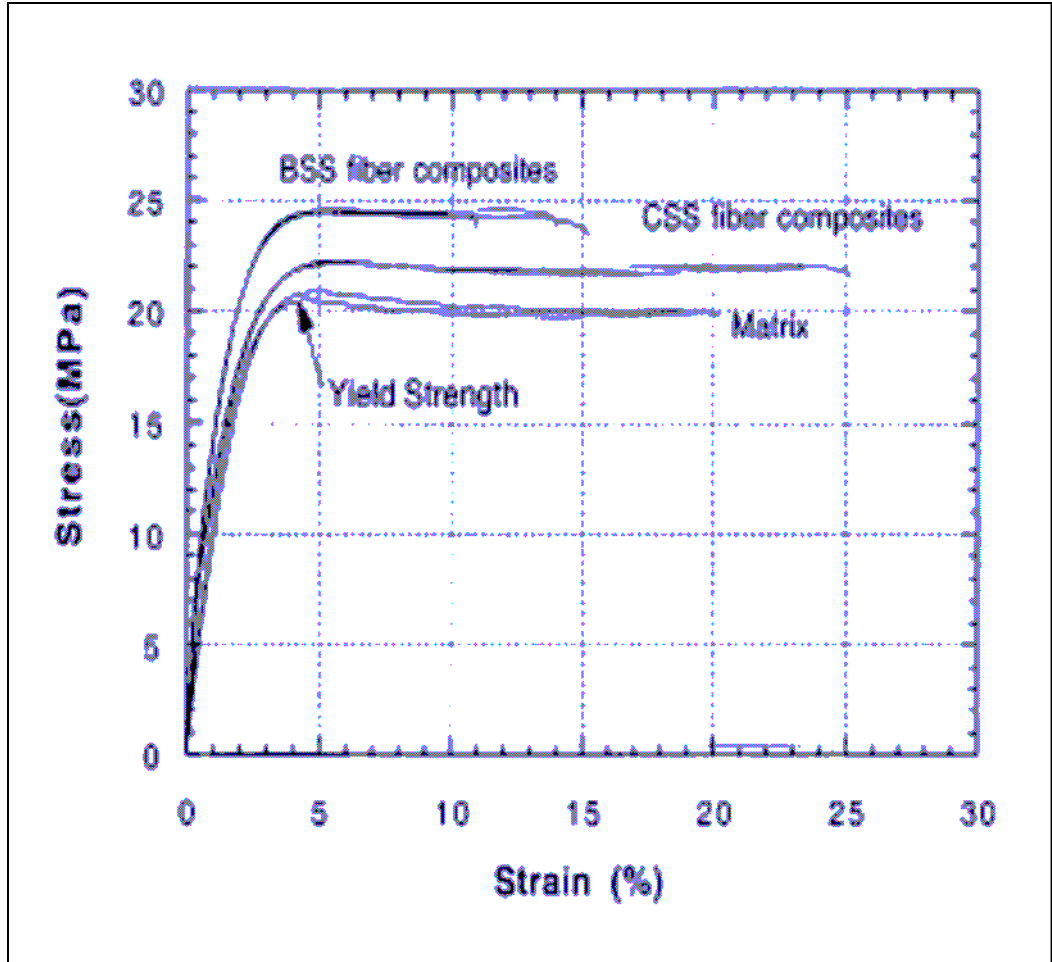
Deney sonuçları grafiklere ortalama olarak yansımıştır. Sonuçta fibersiz numune ilk çatlak oluşum noktasından ani bir gevrek kırılma göstermekte, ancak fiber takviyeli

numune de fiberlerin ilk çatlak oluşumu gözlenen yerden sonra fiberlerin kırılmayı geciktirerek plastik bir yapı oluşturdıkları gözlemlenmektedir.

Kırılan fiber takviyeli numunelerden bir tanesi resim 4.6. de görülmektedir.



Resim 4.6. Kırılan çekme numunesi



Şekil 4.5. BSS fiber, düz fiber ve fibersiz numunenin karşılaştırmalı gerilme-uzama grafiği [1]

Şekil 4.5.den BSS takviyeli kompozitin mukavemetinde CSS'e göre ortalama % 9'luk bir artış deneysel olarak gözlemlenmiştir [1]. Bizim yaptığımız deney sonuçları (Şekil 4.3. ve 4.4.) ile Şekil 4.5. i karşılaştırdığımız zaman yaptığımız deneylerde yük en yüksek noktaya ulaştıktan sonra fiberlerin kopmayı geciktirerek malzemenin mukavemetini artırdıkları Şekil 4.5. deki gibi görülmektedir. Bizim yaptığımız deneylerde fiberler pull-out olmadan kırıldıkları için en yüksek noktadan (Şekil 4.3., C noktası) itibaren ani bir düşüş olmakta, daha sonra fiberler vasıtası ile toparlanan numunelerin kırılması gecikmektedir. Fibersiz numuneler (Şekil 4.4.) ise en yüksek noktadan (A noktası) itibaren ani bir düşüş göstermekte ve toparlanma olmadan kırılmaktadır. Bu sonuçlar fiber katkısının önemini ortaya koymaktadır.

Farklı uç şekillerine sahip fiberlerle takviye edilmiş kompozitler bu defa farklı kesitteki düz çekme [8] deney numuneleri hazırlanarak (32 x 5 x 100 mm.) test edilmiştir. Şöyle ki orta kısımlarına çentik açılan çekme numunelerinin (5 ‘er adet) tam orta kısmına çekme yönünde fiberler yerleştirilmiştir (her numunede 5 er fiber) (l= 20 mm.). Değişik uç şekillerinin etkisi deneysel olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.3.-4.7. de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Çekme deneyi , oda sıcaklığında kür, I tipi ($\sigma_{ort}= 13,14$ MPa)

Numune No	P _{Max.} (N)	A (mm ²)	σ (MPa)
1	2380	156,02	15,25
2	1680	163,13	10,30
3	1760	153,91	11,43
4	2480	158,91	15,61

Çizelge 4.4. Çekme deneyi , oda sıcaklığında kür, U tipi ($\sigma_{ort}= 9,55$ MPa)

Numune No	P _{Max.} (N)	A (mm ²)	σ (MPa)
1	1520	169,68	8,958
2	1220	153,12	7,967
3	1820	155,01	11,74

Çizelge 4.5. Çekme deneyi , oda sıcaklığında kür, Z tipi ($\sigma_{ort}= 9,52$ MPa)

Numune No	P _{Max.} (N)	A (mm ²)	σ (MPa)
1	2460	152,39	9,51
2	1780	171,02	10,40
3	1400	162,68	8,60
4	1540	160,91	9,57

Çizelge 4.6. Çekme deneyi , oda sıcaklığında kür, oo tipi ($\sigma_{ort}= 10,72$ MPa)

Numune No	P _{Max.} (N)	A (mm ²)	σ (MPa)
1	1840	166,73	11,036
2	2400	161,01	14,91
3	1520	162,72	9,34
4	1980	167,90	11,79

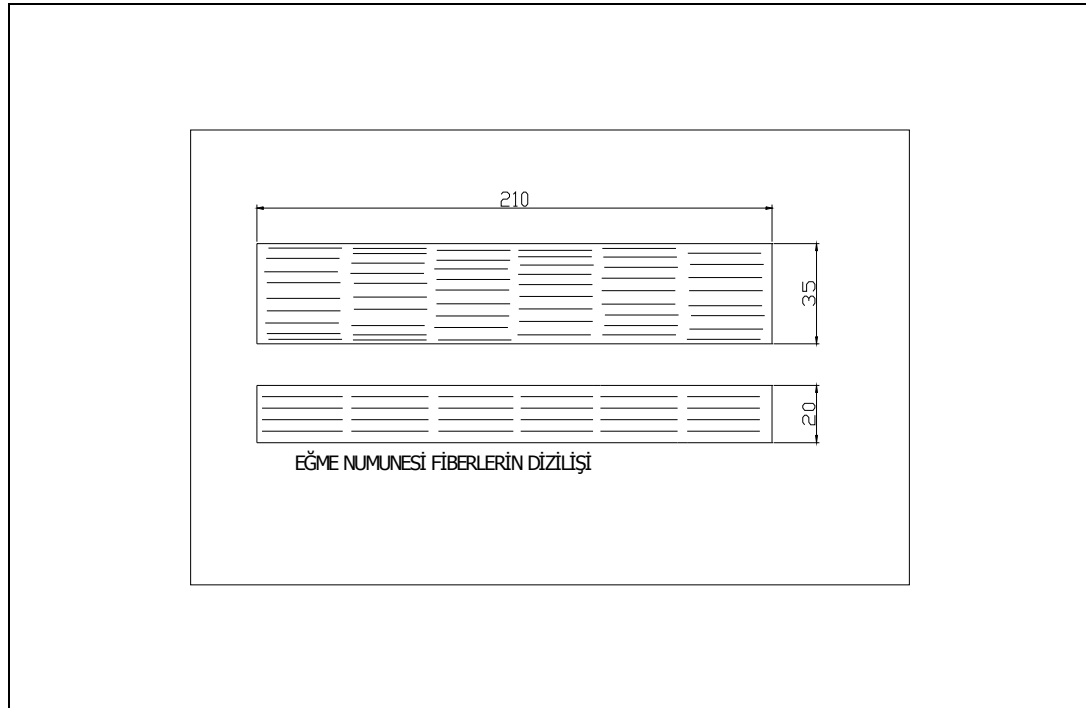
Çizelge 4.7. Çekme deneyi, oda sıcaklığında kür, boş (fibersiz) ($\sigma_{ort}=8,718\text{MPa}$)

Numune No	$P_{Max.}(N)$	$A (mm^2)$	$\sigma (MPa)$
1	1460	156,44	9,33
2	1340	157,62	8,501
3	1360	163,41	8,323

Farklı uç şekline sahip fiberlerde belirgin bir mukavemet artışı görülmemekte, düz fiberli kompozitin mukavemetinin diğerlerinden daha iyi olduğu deneysel olarak görülmektedir.

4.2 Eğme Deneyi

Eğme deneyi de aynı cihazda (Resim 4.1.), hazırlanan eğme aparatı (Resim 3.7.) monte edildikten sonra yapılmıştır. ASTM D 790 – 92 standardına [9] göre dört noktadan eğme deneyleri yapılmıştır. Eğme deneyi için hız 2 mm./dak. ve yük (load cell kapasitesi) ise 4450 N. dur [1,9].

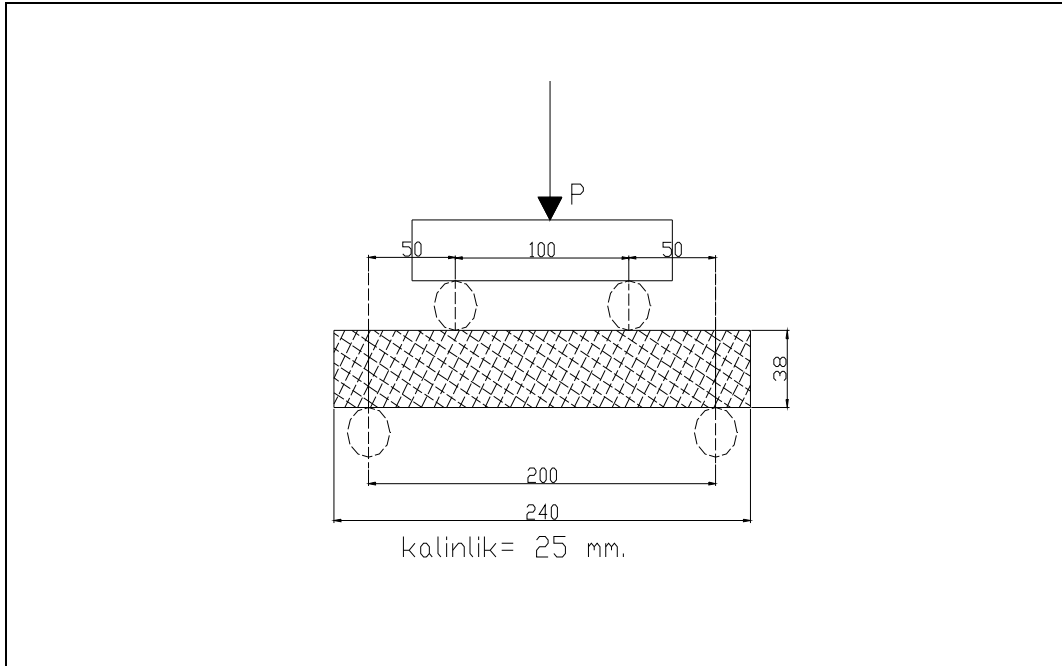


Şekil 4.6. Eğme deney numunesinde fiber dizilişi

Fibersiz, Z tipi , U tipi, 00 tipi , düz ve örgü tipi olmak üzere 6 ayrı çeşit numuneden 5 er adet deney yapılmıştır. Deney numunesi fiber dizilişi Şekil 4.6.da, eğme deney numunesi Şekil 4.7. dedir.



Resim 4.7. Eğme deneyi numunesi fiberlerin dizilişi [1,9]



Şekil 4.7. Eğme deneyi numunesi [1,9]

Eğme deneyinde deformasyona uğrama aşamaları Resim 4.8. - 4.10. da görülmektedir. İlk çatlak noktasından sonra fiber takviyeli kompozitlerde fiberlerin pull-out olarak kırılmayı geciktirdiği Şekil 4.8. - 4.14 de görülmektedir. Özellikle fiberler çatlağın yönünü değiştirerek kırılmayı geciktirmekte ve darbeli yükler için de bir avantaj sağlamaktadır.

$$\sigma_{\max} = M.y/I \quad (4.1)$$

$$= [P.L / (3.2.I)].(h/2)$$

P= Uygulanan kuvvet (N)

$$= (P.L) / (b.h^2)$$

L= uzunluk (mm.)

L= 210 mm

b= kalınlık (mm.)

b= 38 mm.

h= yükseklik (mm.)

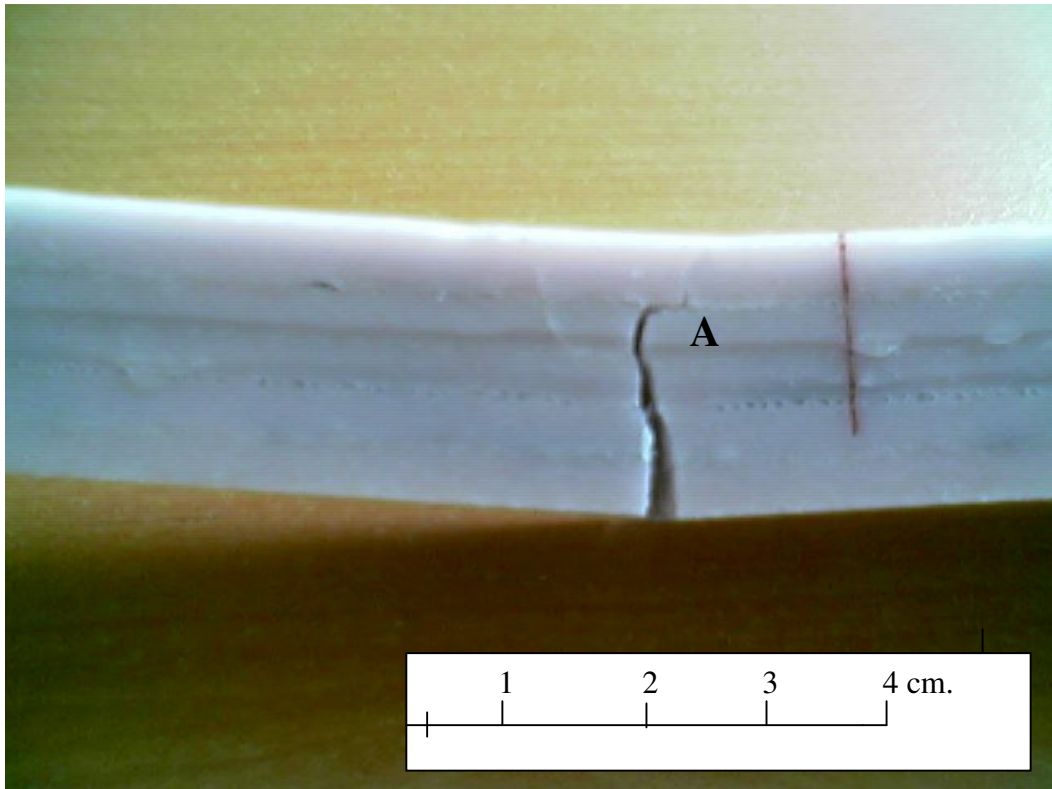
h= 25 mm.

$$\sigma_{\max} = 2.P.L / b.h^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

I= Atalet momenti .

$$I = b.h^3 / 12$$

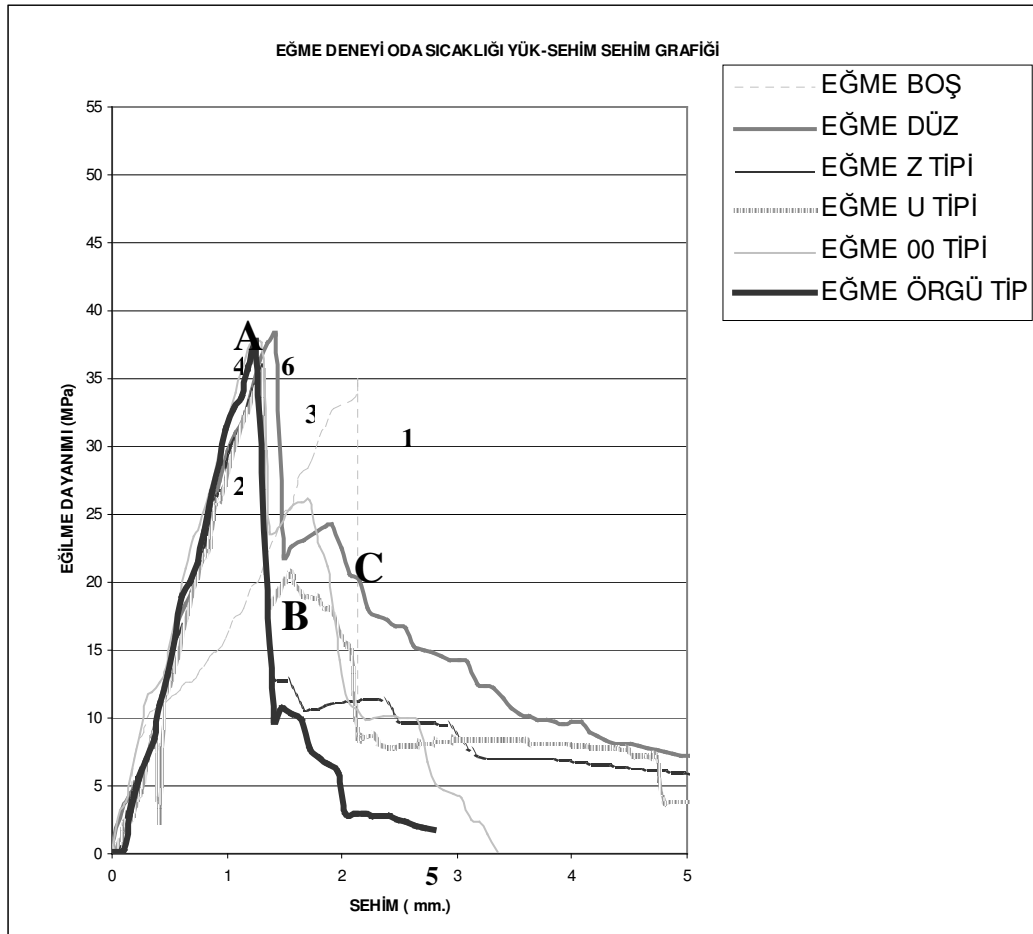
Eş. 4.1. En yüksek eğilme dayanımı formülü



Resim 4.8. Eğme deney numunesi kırılma kesiti A noktası



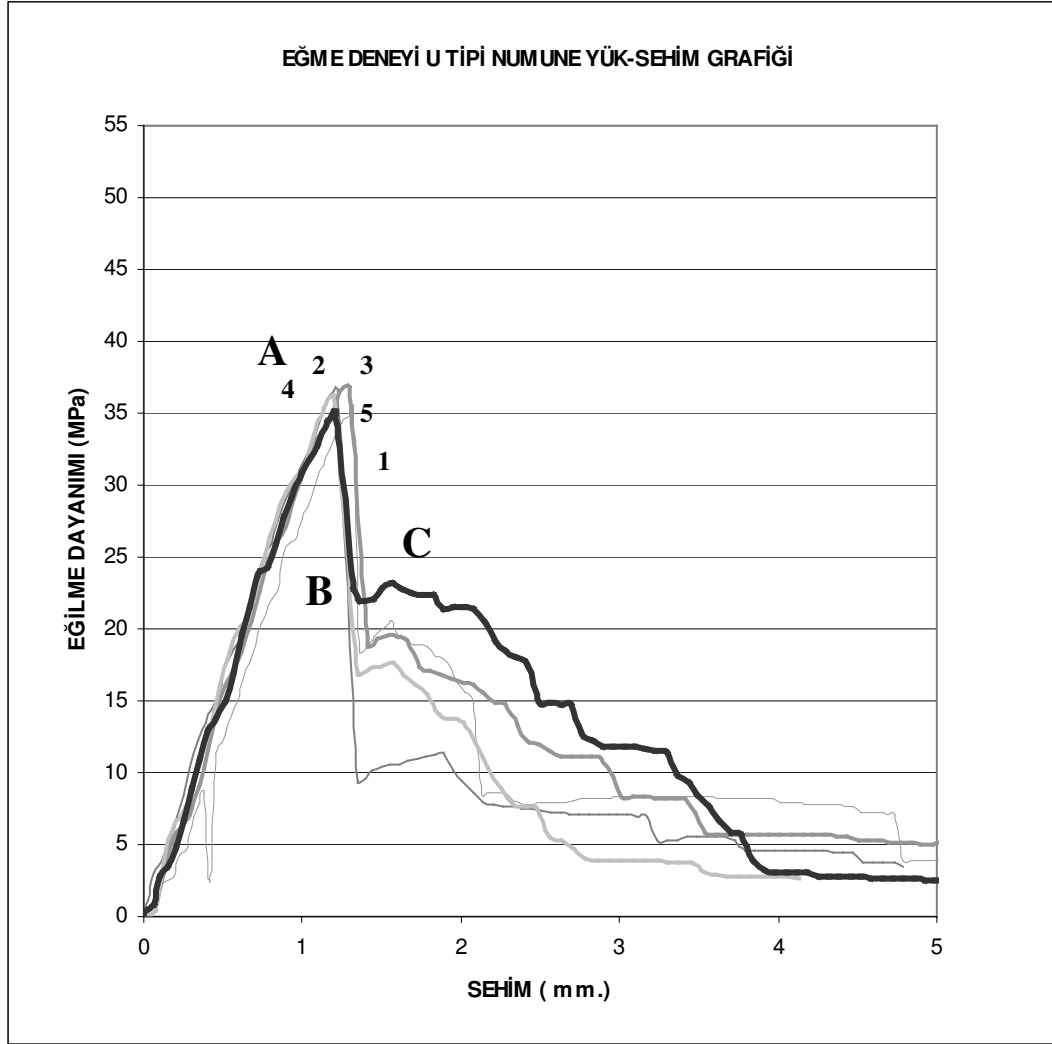
Resim 4.9. Eğme I fiber takviyeli numune kırılma kesiti



Şekil 4.8. Eğme numunelerinin karşılaştırmalı kuvvet –sehim grafiği

Çizelge 4.8. Eğme deneyi farklı uç şekilli numunelerin mukavemetlerinin karşılaştırılması

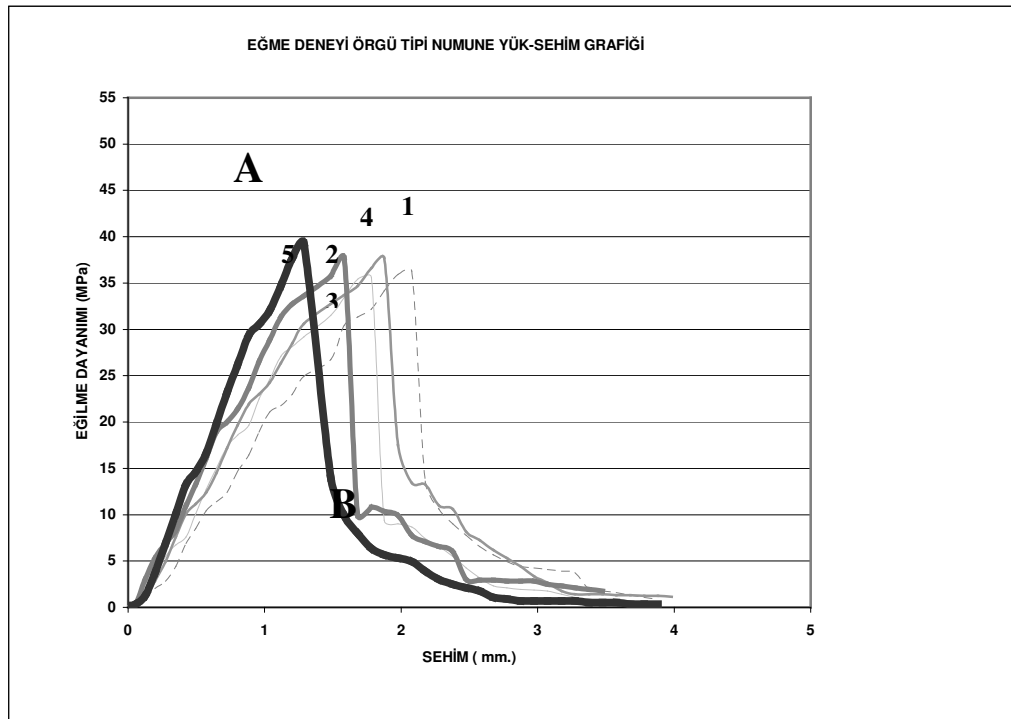
NO	A NOKTASI EN YÜKSEK GERİLME (MPa)	NUMUNE
1	35,04	Boş
2	36,81	U tipi
3	35,75	Z tipi
4	37,69	OO Tipi
5	<u>39,29</u>	<u>Örgü tipi</u>
6	38,58	Düz



Şekil 4.9. Eğme deneyi U tipi fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehim grafiği

Çizelge 4.9. Eğme deneyi, oda sıcaklığında kür, U tipi

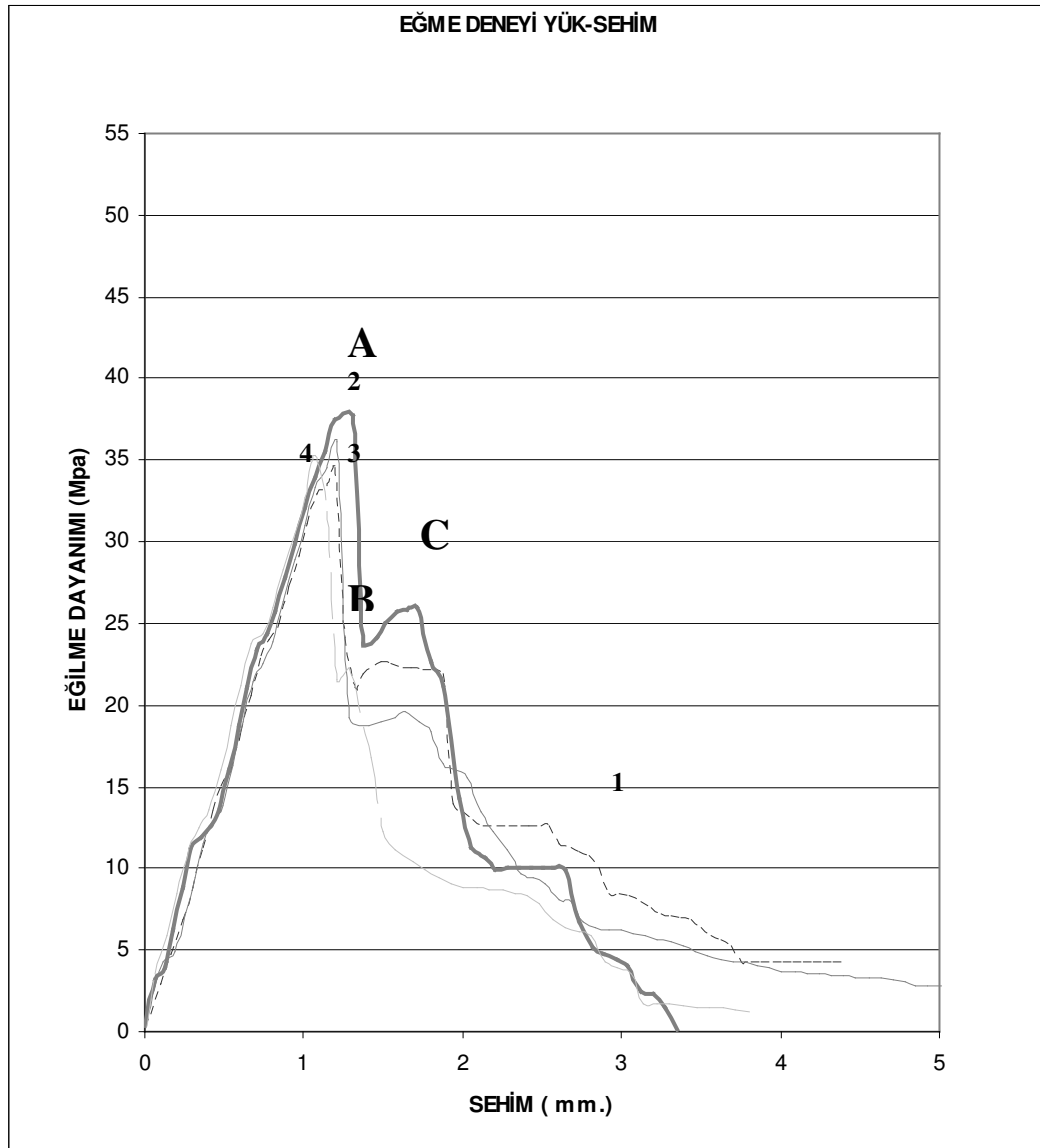
NO	A NOKTASI EN YÜKSEK GERİLME (MPa)	B NOKTASI	C NOKTASI
1	35,39	18,40	20,53
2	36,46	9,38	11,32
3	<u>36,81</u>	19,29	20,53
4	36,10	16,99	17,69
5	35,04	21,94	23,18



Şekil 4.10. Eğme deneyi örgü tipi fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehim grafiği

Çizelge 4.10. Eğme deneyi , oda sıcaklığında kür, örgü tipi

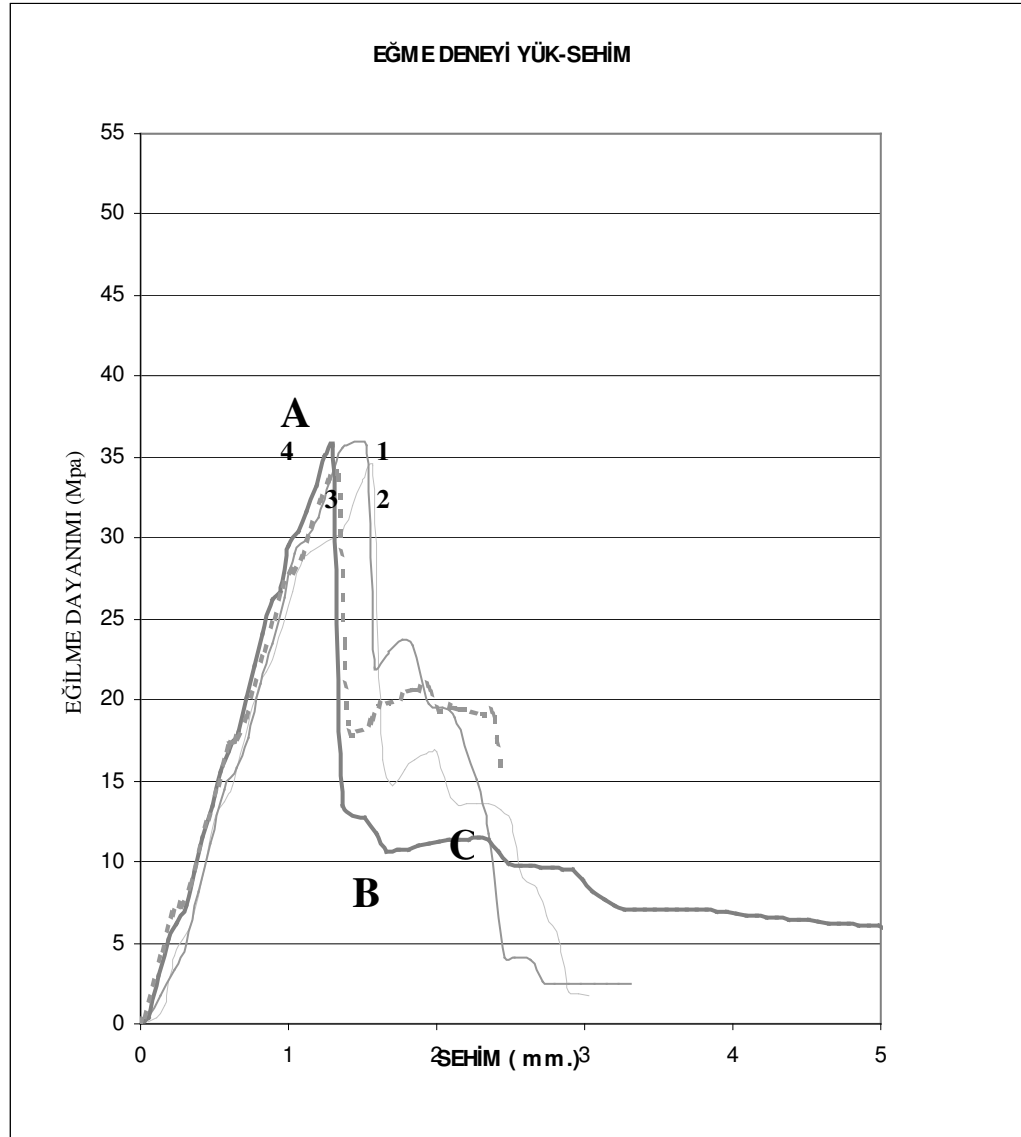
NO	A NOKTASI EN YÜKSEK GERİLME (MPa)	B NOKTASI
1	36,28	13,62
2	35,39	9,38
3	37,69	13,45
4	37,69	9,91
5	<u>39,29</u>	13,98



Şekil 4.11. Eğme deneyi 00 tipi fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehım grafiği

Çizelge 4.11. Eğme deneyi ,oda sıcaklığında kür, OO Tipi

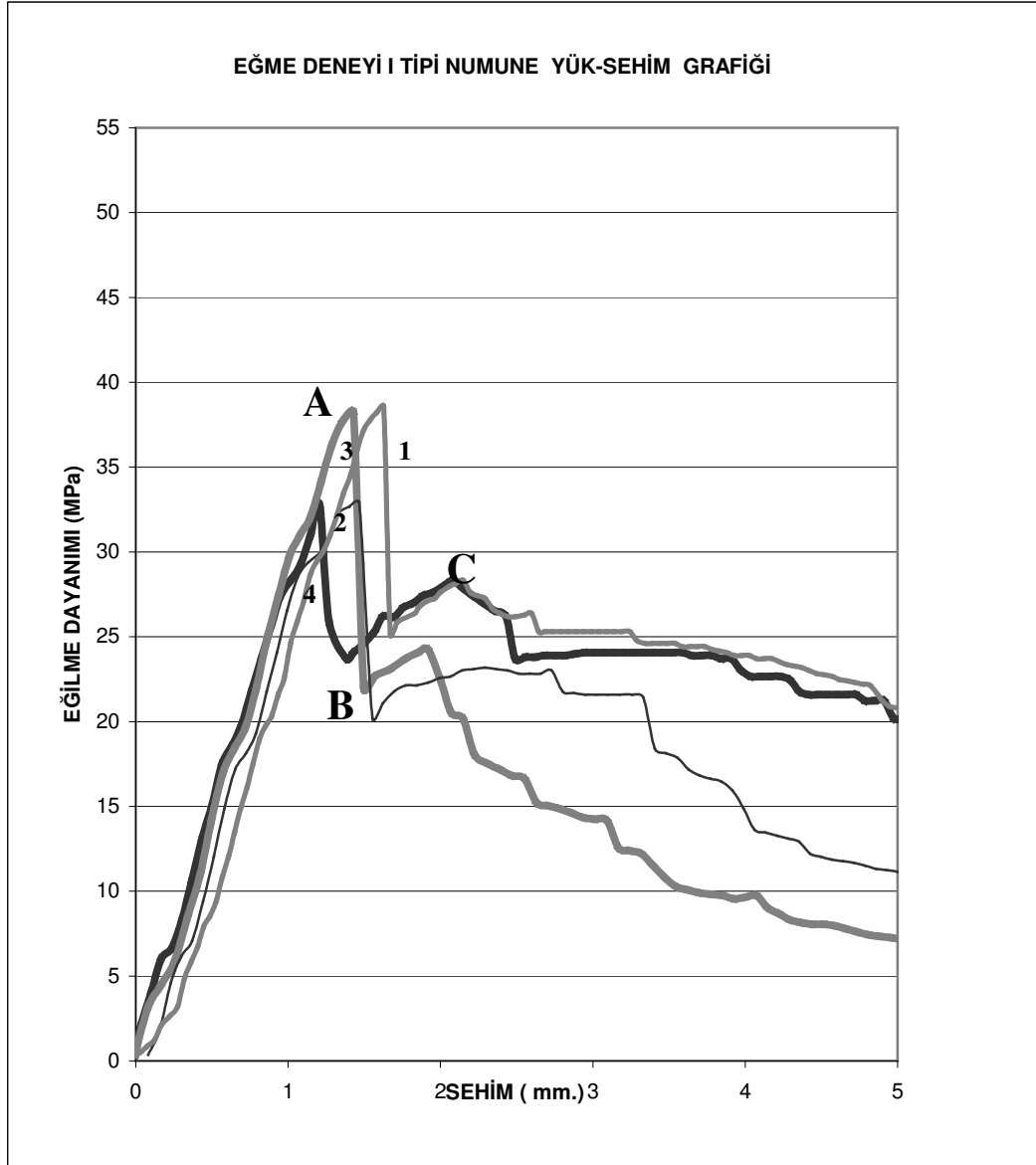
NO	A NOKTASI EN YÜKSEK GERİLME (MPa)	B NOKTASI	C NOKTASI
1	34,51	21,06	22,65
2	37,69	23,71	26,01
3	35,22	-	-
4	36,10	18,76	19,64



Şekil 4.12. Eğme deneyi Z tipi fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehım grafiği

Çizelge 4.12. Eğme deneyi ,oda sıcaklığında kür, Z Tipi

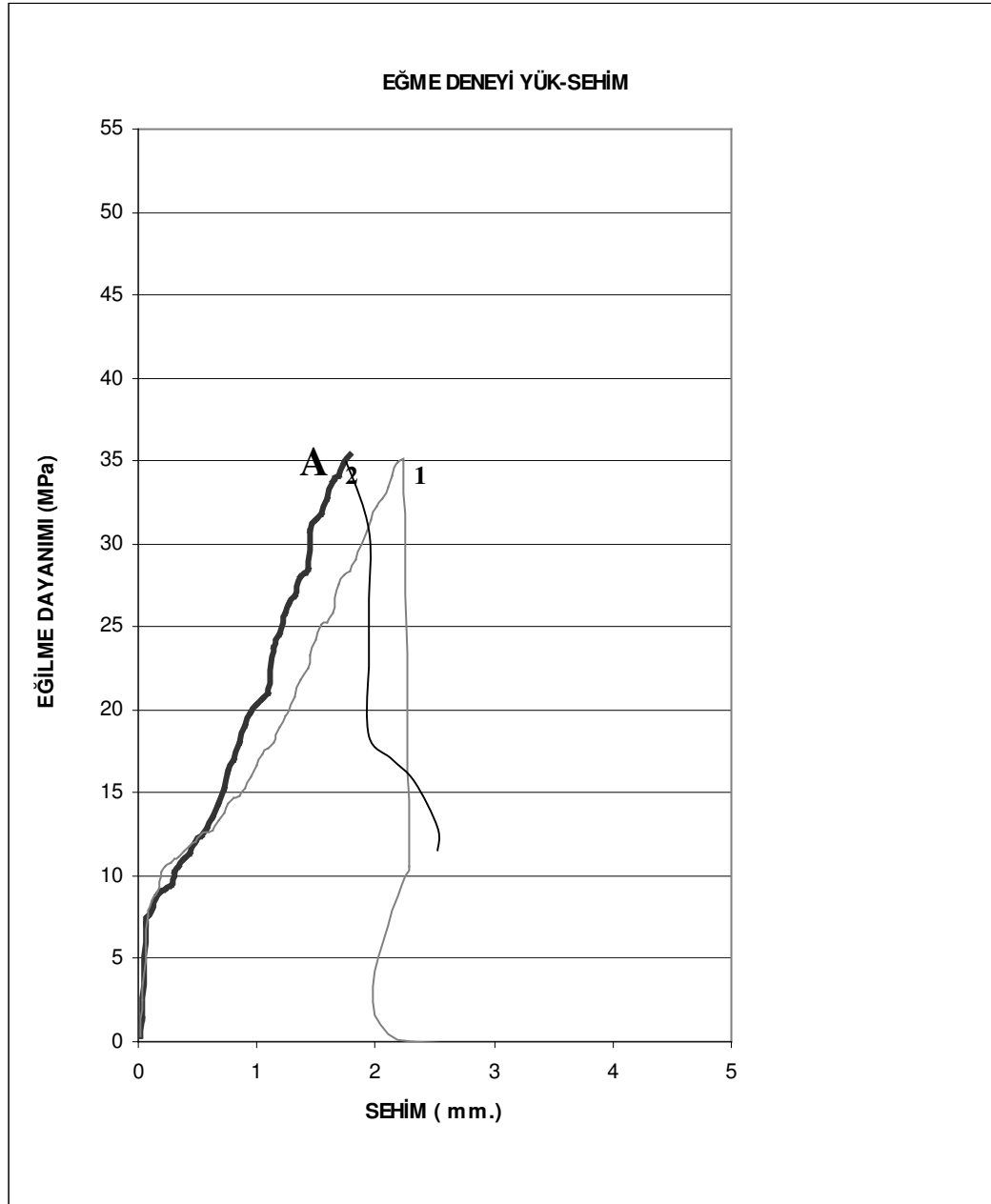
NO	A NOKTASI EN YÜKSEK GERİLME (MPa)	B NOKTASI	C NOKTASI
1	34,51	14,49	16,81
2	35,75	21,94	23,36
3	35,75	10,70	11,50
4	33,62	18,05	20,70



Şekil 4.13. Eğme deneyi I (düz) fiber takviyeli numuneler kuvvet – sehim grafiği

Çizelge 4.13. Eğme deneyi ,oda sıcaklığında kür, I Tipi

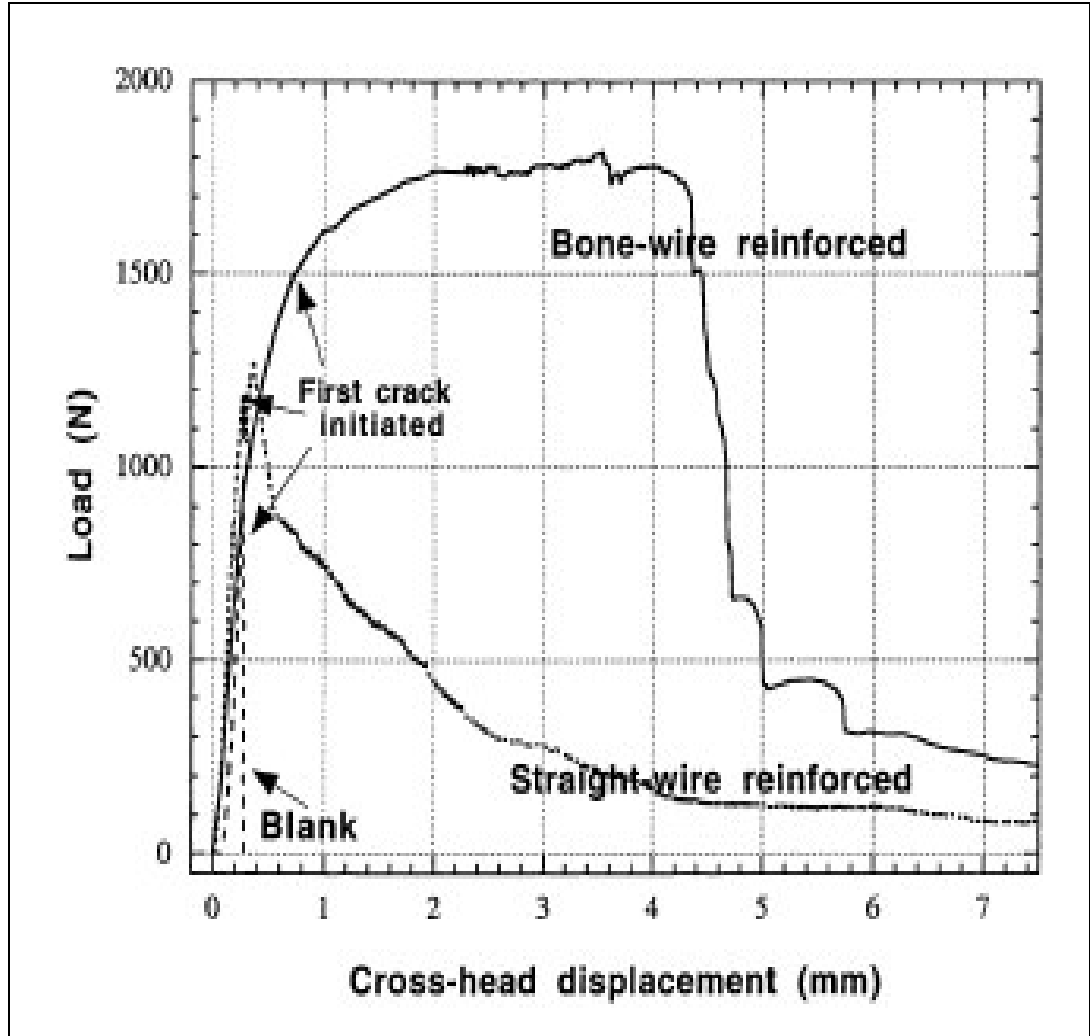
NO	A NOKTASI EN YÜKSEK GERİLME (MPa)	B NOKTASI	C NOKTASI
1	38,58	25,84	28,31
2	32,74	23,71	28,30
3	38,23	21,94	24,24
4	32,92	21,06	23



Şekil 4.14. Eğme deneyi fibersiz numuneler
kuvvet – sehim grafiği

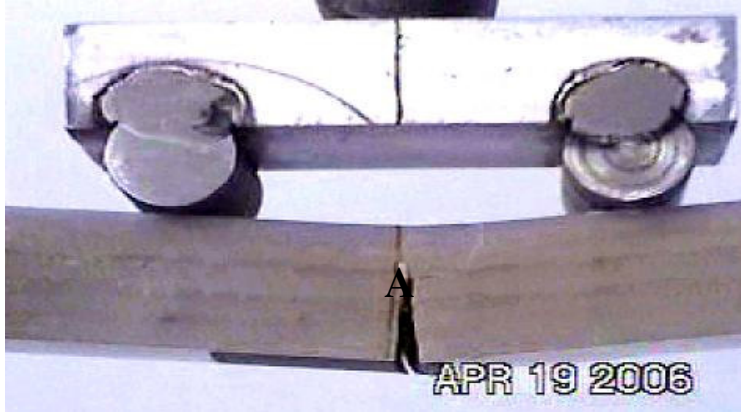
Çizelge 4.14. Eğme deneyi , oda sıcaklığında kür, fibersiz numune

NO	A NOKTASI EN YÜKSEK GERİLME (MPa)
1	34,86
2	35,04

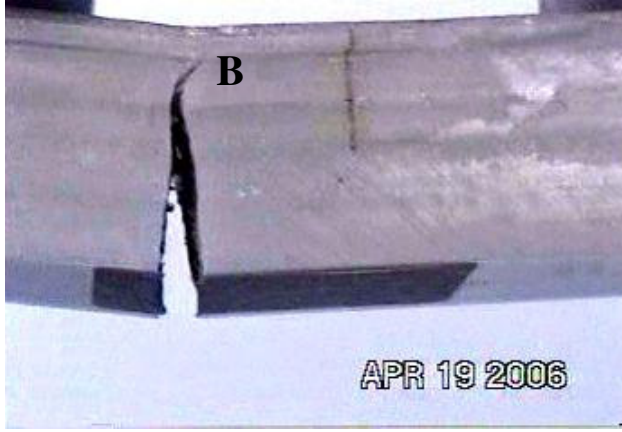


Şekil 4.15.BSS ve CSS fiber takviyeli kompozitin kuvvet – sehim grafiği
(karşılaştırmalı) [1]

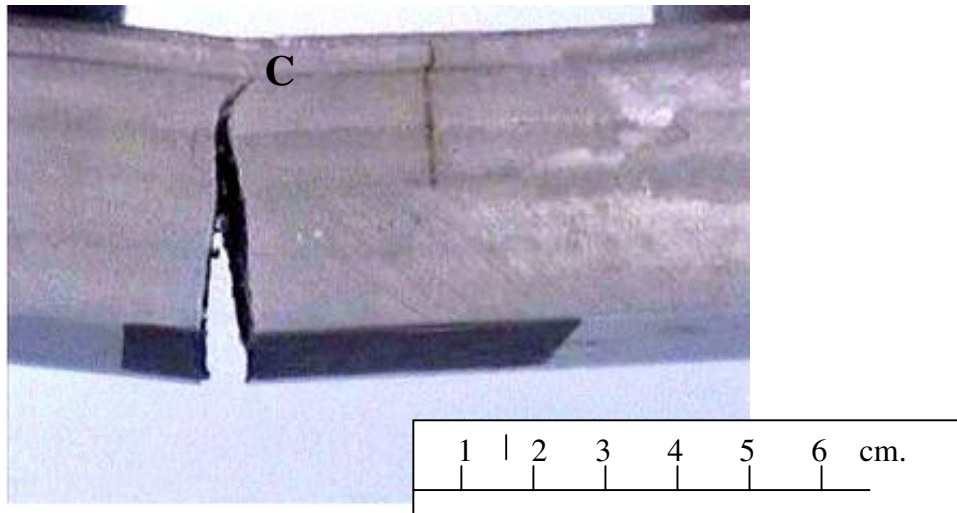
Yapılan deney sonuçları ile (Şekil 4.8.-14.) Şekil 4.15. karşılaştırıldığı zaman şu sonuçlar görülmektedir. BSS takviyeli fiberler özel imalat olduğu için [1] akma noktasından itibaren birden kırılmıyorlar, malzemenin tokluğunu artırarak daha uzun bir süre ve fazla yükte kopmadan yüksek dayanım gösteriyorlar. Yaptığımız deneylerdeki grafikler ise CSS (Şekil 4.15.) fiberlerin davranışını göstermekte olup, en yüksek gerilmeye iken ani bir gerilim düşümü (Şekil 4.8.-14.) göstermektedirler. Bu ise daha az tokluk ve daha az mukavemet demektir.



Resim 4.10. Eğme deney numunesinde çatlak oluşumunun başlaması



Resim 4.11. Eğme deney numunesinde kırılmanın başlaması

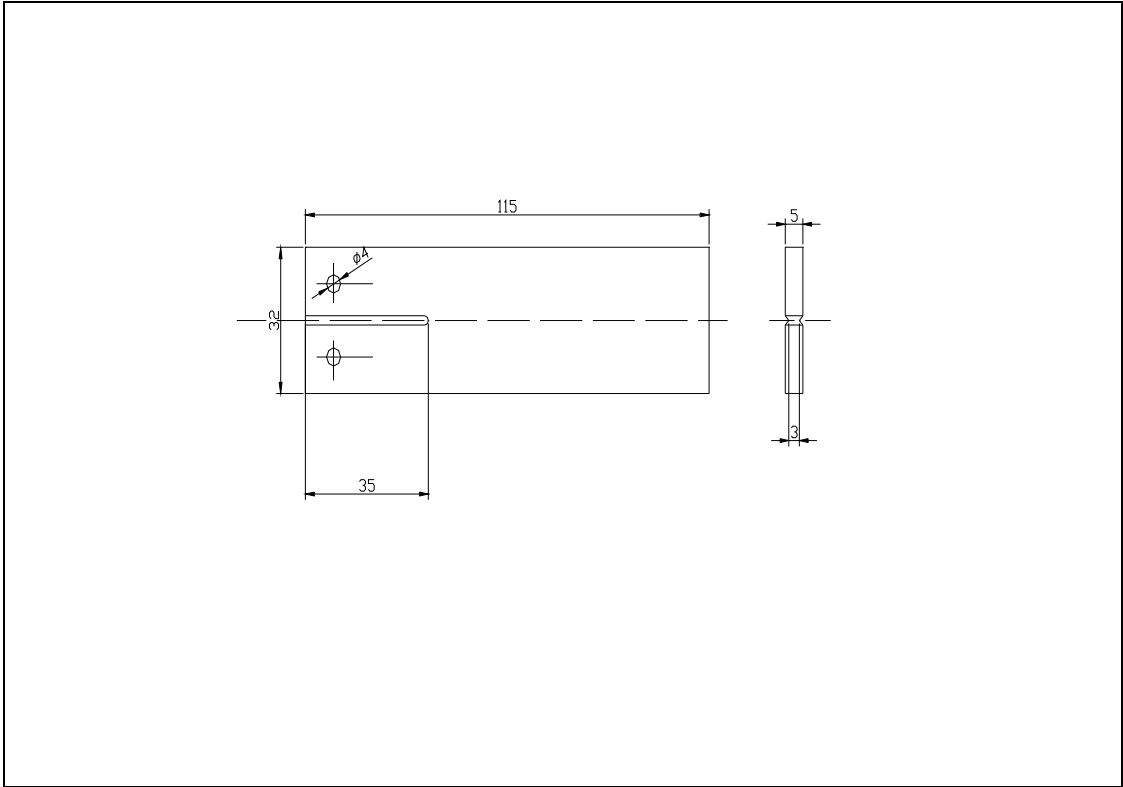


Resim 4.12. Eğme deney numunesinde kırılma, bazı fiberler pull-out olurken bazıları pull-out olmadan kırılıyor)

Çizelge ve resimlerden de görüldüğü üzere fiber takviyeli numunelerde ilk çatlak oluşumundan hemen sonra kırılma meydana gelmemekte , numune uzunca bir süre fiberlerin takviyesinde kırılmaya direnç göstermektedir. Boş numune hariç diğerlerinin birbirlerinden çok fazla farklı olmadığı gözlemlenmiştir. Bunu şu şekilde açıklayabiliriz. Kullandığımız fiber mukavemeti orta seviyede olan çelik teldir. Bu yüzden bazı yerlerde fiberler pull-out olmadan direk kırıldığı için, fiber şekillerinin en büyük mukavemet değerlerine etkisi arasında çok az bir oynama olmaktadır. $\sigma_{\text{çekme}} < \sigma_{\text{basma}}$ olduğu için numuneler basmaya direnç gösterirken, çekmenin olduğu yerden kırılmaktadır. Bu sonuç Resim 4.12. de görülmektedir.

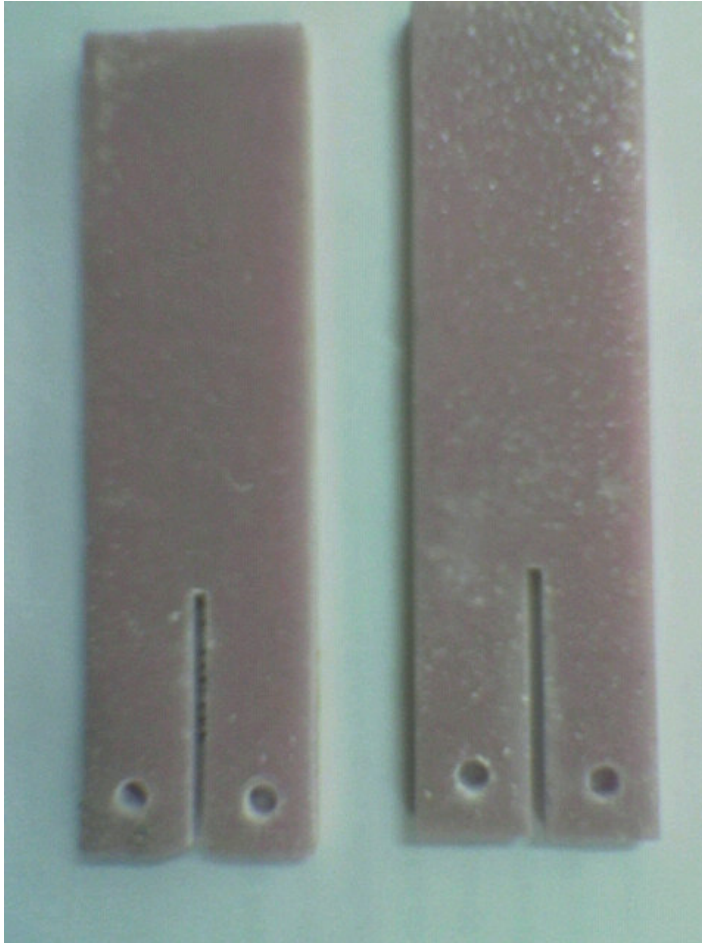
4.3. Açma Deneyi

Çift taraflı açma deney numuneleri literatürden [1] faydalanılarak imal edilmiştir. Ölçüler Şekil 4.16. de ve Resim 4.13. de görüldüğü gibidir [3] .



Şekil 4.16. Açma deney numunesi

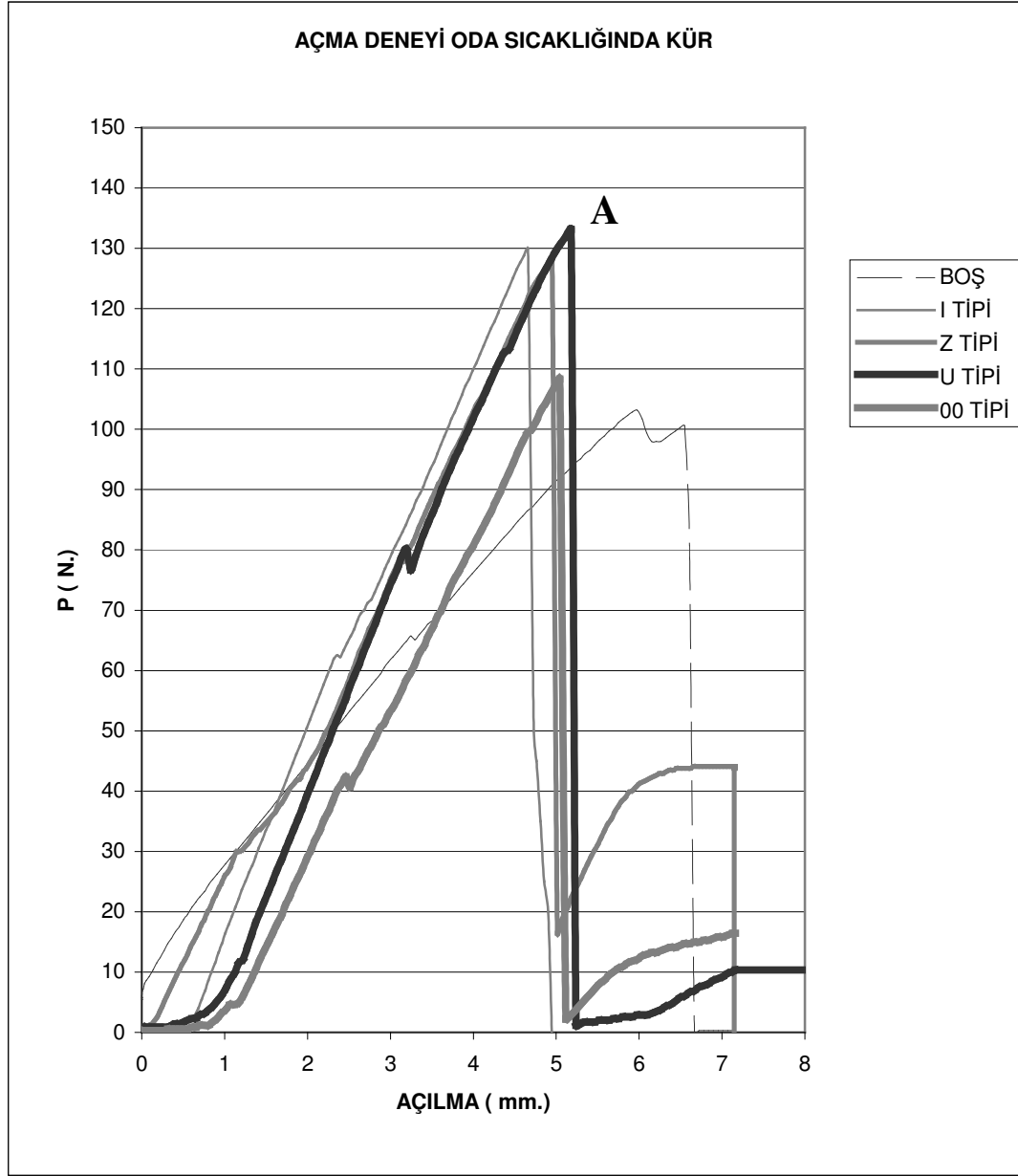
Piyasada uygulanan şekli ile polyestere % 15 (hacimsel olarak) kalsit katılıp, 90° C de 10 dakika kür ediliyor. Bu şekilde sertliği artan polyester/kalsit piyasada kullanılıyor. Biz kür işlemlerini 90°C altı (40°Cve 80°C) ile 90°C üstünde (120° C) deneysel olarak uygulayarak (fiber katkı) sonuçları gözlemledik. Süre ve sıcaklık derecesinin matriks yapı üzerindeki katkısını inceledik.



Resim 4.13. Açma deney numunesi

Açma deneyi için hız 1 mm./ dak. ve yük (load-cell kapasitesi) 2000 N. dur [3] .

Çift taraflı açma deneyinde I tipi , Z tipi, U tipi , 00 tipi ve fibersiz numuneler imal edilerek her birinin 5'er adet deneyi yapılmıştır. Ayrıca I tipi fiberler 40 °C, 80 °C ve 120 °C'de sırası ile 4, 8 ve 12'şer saat kur edilerek deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.17. Beş tip numunenin açma deney sonuçlarının karşılaştırılması
(oda sıcaklığında kür)

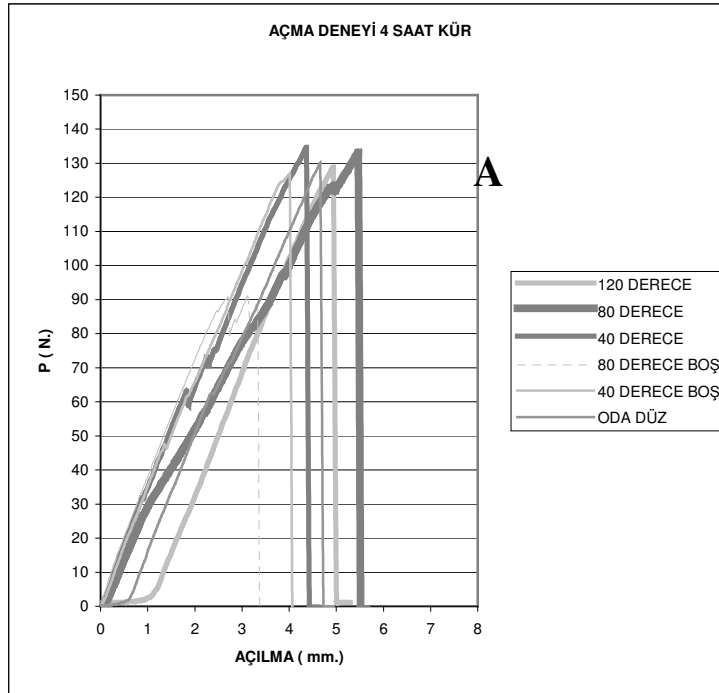
Çizelge 4.15. Beş tip numunenin açma deney sonuçlarının karşılaştırılması

NO	NUMUNE	EN YÜKSEK KUVVET (N.)
1	BOŞ (FİBERSİZ)	100,57
2	DÜZ TİP (I)	129,96
3	Z TİPİ	128,23
4	U TİPİ	133,13
5	OO TİPİ	108,35

Şekil 4.17. den görüldüğü üzere boş numune hariç diğerlerinin mukavemet değerlerinde az bir farklılık olduğu görülmektedir. Sırası ile U tipi 1. I tipi 2., Z tipi 3., 00 tipi 4. ve boş 5. sıradadır. İlk çatlak oluşumundan sonra fiberli numunelerde hemen kırılma olmamakta , belli bir süre kuvvet-açılma devam etmektedir. Bu bize fiberlerin kırılmayı geciktirerek malzemenin mukavemetini artırdığının ispatıdır. Fiber şekillerinin mukavemet değerlerinde az farklılık olmasının nedeni ise şu şekilde açıklanabilir: Fiberlerin mukavemeti orta dereceli çelik malzemeye ait değerlerdir. Bu yüzden fiberlerin hepsinde pull-out (sıyırılma) olmamakta, bazıları pull-out olmadan kırılmaktadır. Bu ise uç şekillerinin etkisini istenilen ölçüde göstermemektedir.

Kırılma genelde kompozitin zayıf olduğu noktaya doğru olmuş ve fiberler tarafından ani kırılmalar önlenmiştir. Bu sonuç aynı zamanda darbeli yüklerde fiberin dayanımını göstermesi açısından da önemlidir.

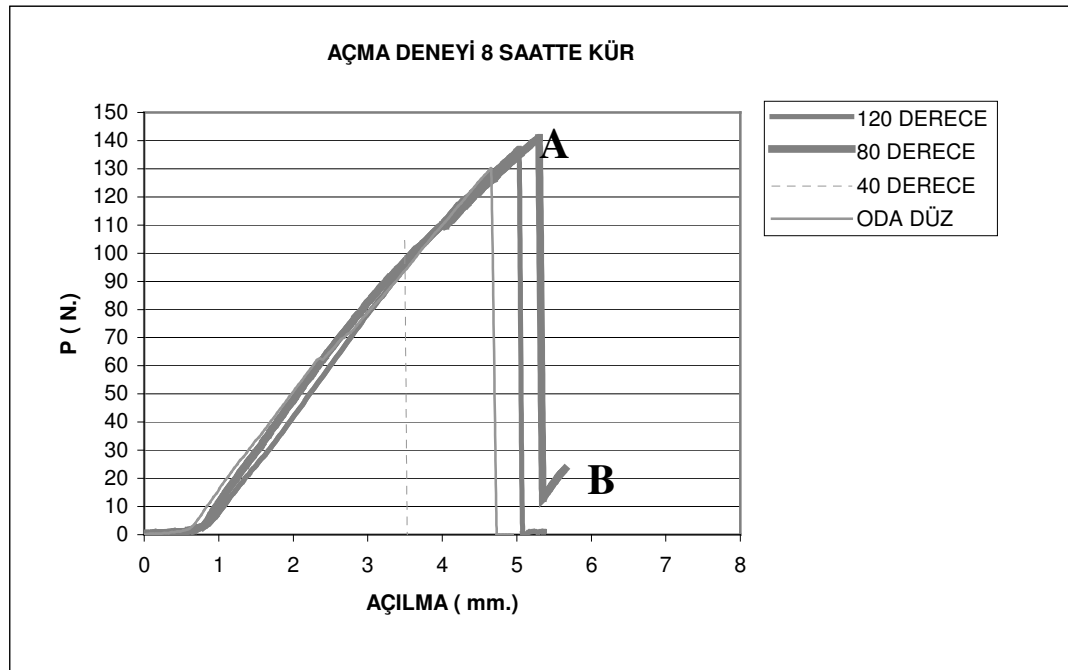
Şekil 4.18 – 4.23. arasında ise I tipi fiberlerin 40 °C, 80 °C ve 120 °C’de sırası ile 4, 8, 12 saat kür edilip deneye tabii tutulduktan sonraki sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.18. 4 saat süre ile 40,80 ve 120 °C’lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler

Çizelge 4.16. 4 saat süre ile 40,80 ve 120 °C’lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler

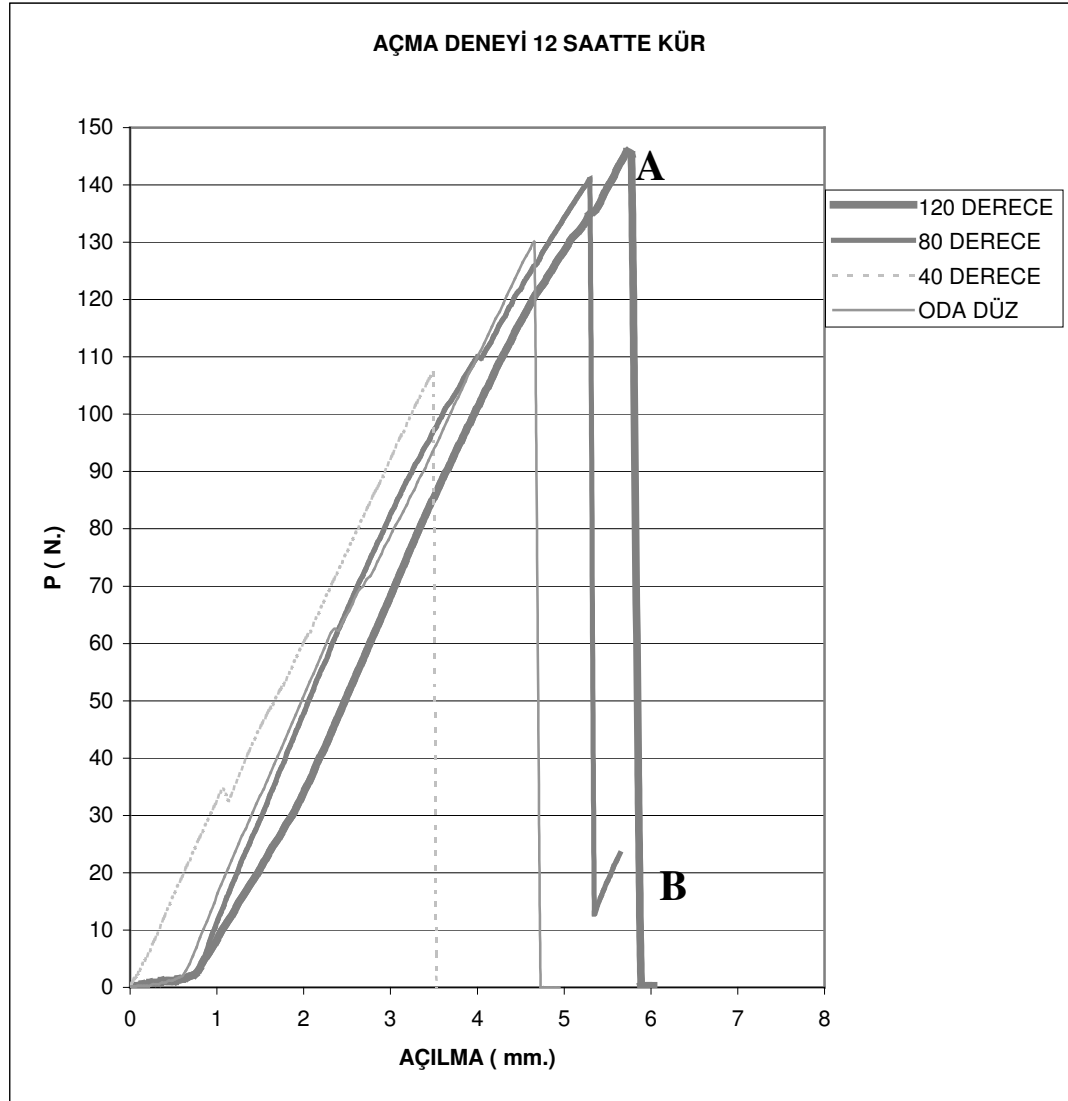
NO	NUMUNE	EN YÜKSEK KUVVET (N.)	AÇIKLAMA
1	40 DERECE KÜR DÜZ FİBER	134,57	
2	80 DERECE KÜR DÜZ FİBER	133,13	
3	120 DERECE KÜR DÜZ FİBER	128,80	
4	40 DERECE BOŞ FİBER	126,79	
5	80 DERECE BOŞ FİBER	90,19	
6	DÜZ FİBER	129,96	ODA SIC.



Şekil 4.19. 8 saat süre ile 40,80 ve 120 °C’lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler

Çizelge 4.17. 8 saat süre ile 40,80 ve 120 °C’lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler

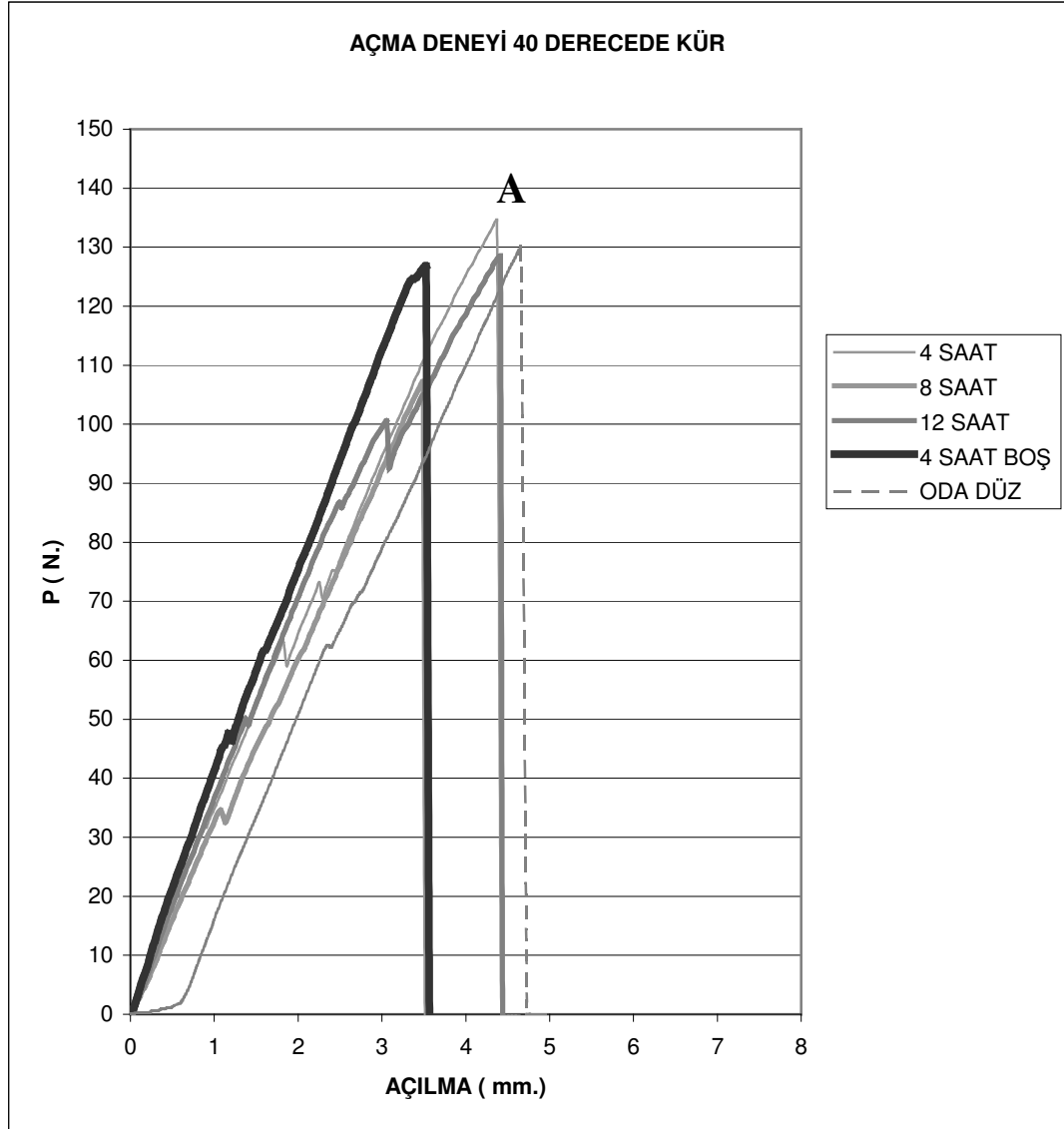
NO	NUMUNE	EN YÜKSEK KUVVET (N.)	AÇIKLAMA
1	40 DERECE KÜR DÜZ FİBER	107	
2	80 DERECE KÜR DÜZ FİBER	140,91	
3	120 DERECE KÜR DÜZ FİBER	135,14	
4	DÜZ FİBER	129,96	ODA SIC.



Şekil 4.20. 12 saat süre ile 40,80 ve 120 °C’lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler

Çizelge 4.18. 12 saat süre ile 40,80 ve 120 °C’lerde kür edilip deneyleri yapılan numuneler

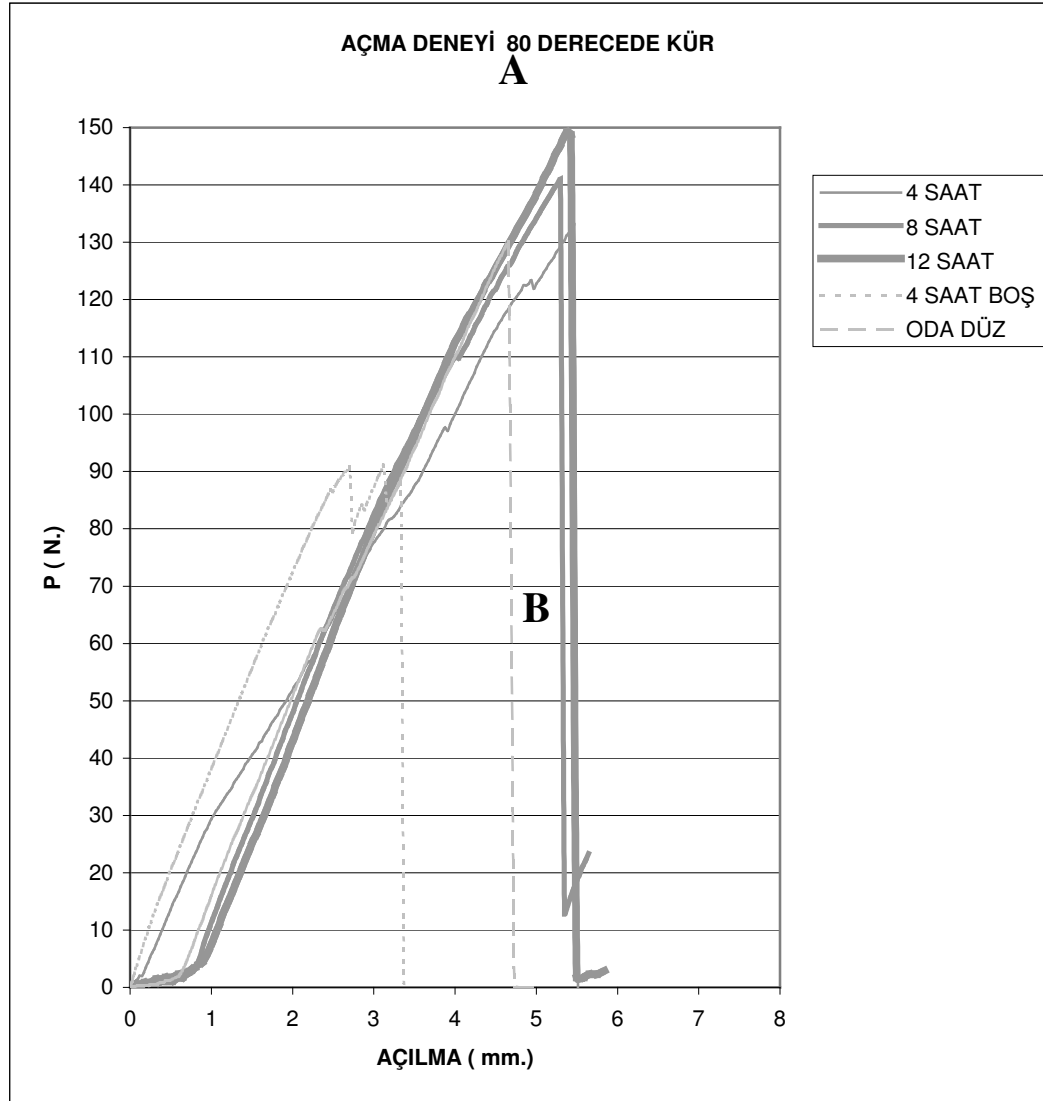
NO	NUMUNE	EN YÜKSEK KUVVET (N.)	AÇIKLAMA
1	40 DERECE KÜR DÜZ FİBER	107	
2	80 DERECE KÜR DÜZ FİBER	140,91	
3	120 DERECE KÜR DÜZ FİBER	145,23	
4	40 DERECE BOŞ FİBER		
5	80 DERECE BOŞ FİBER		
6	DÜZ FİBER	129,96	ODA SIC.



Şekil 4.21. 40°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan Numuneler

Çizelge 4.19. 40°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan Numuneler

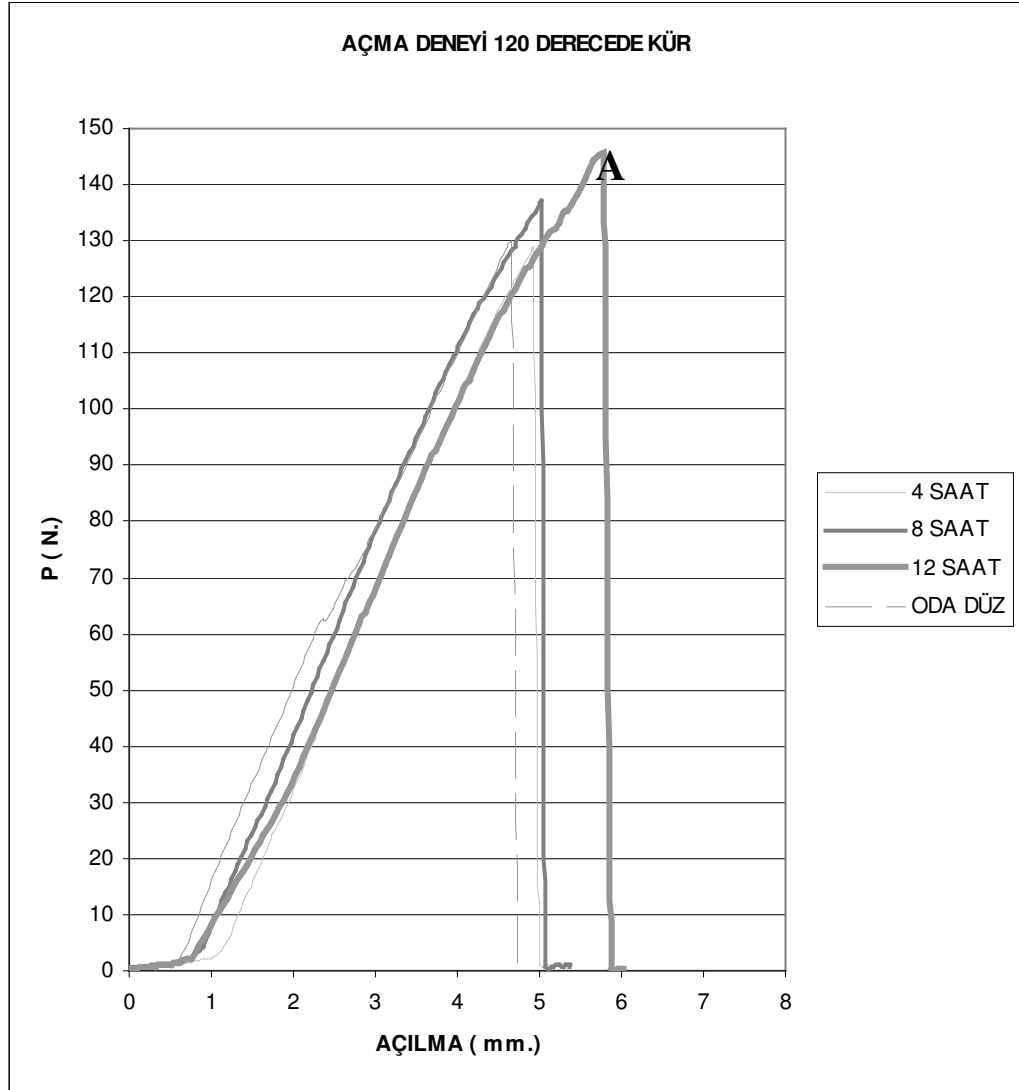
NO	NUMUNE	EN YÜKSEK KUVVET (N.)	SICAKLIK (°C)
1	4 SAAT KÜR DÜZ FİBER	134,57	40°C
2	8 SAAT KÜR DÜZ FİBER	107	40°C
3	12 SAAT KÜR DÜZ FİBER	128,52	40°C
4	4 SAAT KÜR BOŞ FİBER	126,79	40°C
5	DÜZ FİBER	129,96	ODA SIC.



Şekil 4.22. 80°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler

Çizelge 4.20. 80°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan Numuneler

NO	NUMUNE	EN YÜKSEK KUVVET (N.)	SICAKLIK (°C)
1	4 SAAT KÜR DÜZ FİBER	133,13	80°C
2	8 SAAT KÜR DÜZ FİBER	140,91	80°C
3	12 SAAT KÜR DÜZ FİBER	148,69	80°C
4	4 SAAT KÜR BOŞ FİBER	90,77	80°C
5	DÜZ FİBER	129,96	ODA SIC.



Şekil 4.23. 120°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler

Çizelge 4.21. 120°C de sırası ile 4,8 ve 12 saat kür edilip deneyleri yapılan numuneler

NO	NUMUNE	EN YÜKSEK KUVVET (N.)	SICAKLIK (°C)
1	4 SAAT KÜR DÜZ FİBER	128,80	120°C
2	8 SAAT KÜR DÜZ FİBER	137,16	120°C
3	12 SAAT KÜR DÜZ FİBER	145,23	120°C
4	4 SAAT KÜR BOŞ FİBER	-	120°C
5	DÜZ FİBER	129,96	ODA SIC.

Açma deneyi kompozitin kırılma tokluğunun ölçülmesi açısından önemlidir. En büyük COD (crack opening displacement – çatlak açılma yer değiştirmesi) ve kırılma dayanımı, 80°C’de 12 saat kür edilen numunede görülmüştür. U tipi numunenin kırılma dayanımı ve COD’si de diğer numunelere göre biraz daha iyidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER :

Sonuç olarak yapılan her üç tip deneyde de ortak olarak şu hususlar görülmüştür :

1.Fiber takviyeli kompozitler takviyesiz kompozitlere göre daha yüksek çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve tokluğa sahiptirler.

2. Değişik uç şekilli fiberlerle takviyeli kompozitlerin mukavemet ve tokluklarında I tipi (düz) fiberlere göre fazla artış gözlemlenmemiştir. Hatta çekme deneyinde I tipi fiberlerin dayanımının daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bunu kullanılan fiberin orta dayanımda (çekme dayanımı 200-300 N/mm² arasında) çelik tel olmasına ve fiberlerin büyük çoğunluğunun pull-out (sıyırılma) olmadan kırılmasına bağlayabiliriz. Aynı zamanda düz fiberlerde ara yüzey daha geniş olduğu için kırılma daha geç olmuştur.. Bu da düz fiberlerin mukavemetinin daha yüksek olmasında etkindir. [Eğer kullanılan fiberler standart (özel imalat) ve çok yüksek (≥ 500 N/mm²) mekanik özelliklere sahip malzemeden olsa idi, numuneler arasındaki fark daha belirgin olarak görülebileceği tahmin edilmektedir]. Bu ilerde yapılacak çalışmalarda değerlendirilebilir. Fiber oranının artırılmasının da mukavemeti artırmada önemli bir etken olacağı değerlendirilmektedir.

3. Sıcaklığın mukavemet ve tokluk üzerinde etkisi şöyle açıklanabilir; yüksek ($\geq 120^{\circ}\text{C}$) sıcaklıkta yüksek bekleme süresi (12 saat) mukavemeti artırır.Ancak sıcaklık arttıkça (aynı sürede , 12 saat) mukavemette bir artış izlenmemiştir. Sıcaklık aralığı daha dar tutulup yapılacak deneylerde kür şartlarının mukavemet üzerindeki etkisi inceleme konusu olabilir.

4. Açma deneyinde 80°C de 12 saat bekleme süresinde en büyük dayanıma ulaşılmıştır.

5. 4 – 8 ve 12 saatlik bekleme sürelerinde 120°C kür sıcaklığında en büyük $P(N) - y$ (mm.) (kuvvet-uzama) değerine ulaşılmıştır. Yani bütün bekleme süreleri için ortalama olarak çatlak oluşumu 120°C kür sıcaklığında elde edilen açma numunelerinde en geç oluşmuştur.

6. Fiber takviyesinin kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmesinin yanı sıra , çatlak ilerlemesini durdurduğu; açma testlerinde görülmüştür. Bu bir sonuçtur; çünkü açılan suni çentiğin dip kısmında , artan kuvvetle ortaya çıkan çatlak, önüne çıkan fiberi geçemeyip fiberin etrafından kayarak başka doğrultulara yönlendirilmiştir. Bu sonuç, çatlak oluşum ve ilerleyişini kontrol altında tutabilmek için, gerilme yığılmasının büyük olduğu noktalarda farklı doğrultularda fiber katkısının önemini ortaya koyar.

7. Fiber oranı tüm numunelerde aynı (% 1) dir. Bu oran daha yüksek olsa özellikle açma testlerinde değişik uç şekilli fiberlerin etkisi daha net görülebilecekti. Bu çalışma da ileri de planlanabilir.

8. Fiber uzunluğunun etkisinin de önemli bir etken olduğu düşünülmekte, tahmin edilmektedir.Özellikle farklı uç şekilli fiberlerin I tipi fiberlerden mukavemet değeri olarak fazla farklılık göstermemesi; I tipi Fiberin ara yüzeyinin daha yüksek olması ve pull-out olmadan fiberlerin kırılması olarak açıklanabilir.

9. BSS tipi fiberlerle yapılan çekme deneylerinde (şekil 4.5.) düz fiber takviyeli numuneler ile BSS takviyeli fiberler arasındaki % 9' luk bir mukavemet farkı deneysel olarak gözlemlenmiştir[1]. Eğme deneyleri için de (şekil 4.15.) % 50'lik bir mukavemet artışı BSS takviyeli fiberler lehine gözlemlenmiştir [1]. Düz fiberlerle takviye edilmiş kompozitlerde en yüksek noktadan itibaren ani bir düşüş görülmekte olup, çekme deneyinde bu ani düşüş olmamakla beraber BSS tipi fiberlere göre %9'luk bir mukavemet azalması deneysel olarak gözlemlenmiştir[1].

Bizim farklı uç şekilleri ile yaptığımız tüm çekme,eğme ve açma deneylerinde ise en yüksek noktadan itibaren ani bir düşüş , ardından toparlanarak mukavemette artış gözlemlenmektedir. Bu ise BSS takviyeli fiberlere göre daha az tokluk ve daha az mukavemet demektir. Bu şu demektir ; bizim kullandığımız farklı uç şekilli fiberlerin tokluk ve dayanıma fazla etkisi olmamıştır.

Kullandığımız malzemeler özellikle pratikte uygulanabilirliği olan malzemelerden seçilmiştir. BSS tipi fiberlerle yapılan çalışmalarda BSS'in kompozitin mukavemetini artırmadaki etkisi bariz olarak görülmektedir [1-7,10-16]. Çünkü kullanılan fiberler standart imalat olup , özel üretilmiş fiberlerdir. Öneri olarak bu çalışma standart imatlı, farklı şekilli, farklı uzunlukta ve değişik fiber oranlarında uygulamalarla denenerek geliştirilebilir. Aynı zamanda kür sıcaklık aralığı ve süre daha dar tutularak (5'er , 10' ar °C, 1'er saat) da uygulamalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Zhu Y. T. , Beyerlein I. J. , ‘‘ Bone Shaped Fiber Composites – An Overview ‘‘, *Materials Science and Engineering* , 326, 208 – 227 (2002).
2. Zhu Y. T. , Beyerlein I. J. , Valdez J. A. , ‘‘Mechanical Properties Of Bone Shaped Short Fiber Reinforced Composites ‘‘, *Materials Science and Engineering* , 47 (6): 1767– 1781 (1999).
3. Zhu Y. T. , Beyerlein I. J. , Valdez J. A. , Lowe T.C. , ‘‘Fracture Toughness Of A Composite Reinforced With Bone Shaped Short Fibers ‘‘ , *Materials Science and Engineering* , 317,93 – 100 (2001).
4. Gibson R. F. , ‘‘ Principles Of Composite Material Mechanics’’ , *Mc Graw Hill, Inc.* , Department Of Mechanical Engineering, Wayne State University, Detroit, Michigan , 135-139 (1994).
5. Zweben C. , ‘‘ Composite Materials and Mechanical Design, Mechanical Engineer’s Handbook’’ 2nd ed. , *John Willey and Sons Inc.*, New York (1998).
6. Zhu Y. T. , Beyerlein I. J. , Valdez J. A. , Lowe T.C. , Jiang H. , ‘‘The Strength And Toughness Of Cement Reinforced With Bone Shaped Steel Wires ‘‘, *Composites Science and Technology*, (60): 1753 – 1761 (2000).
7. Renee M. B. , Robert C.W. ,’’ Improvement In Fracture Toughness Of An Epoxy Copper Composite Through The Use Of Various End Shaped Fibers ‘‘ *Materials Science And Engineering* , (361): 294-301 (2003).
8. ASTM Standart Designation : D 638 - 91 ‘‘Standart Test Method For Tensile Properties Of Plastics ‘‘35-38 (1992).
9. ASTM Standart Designation : D 790 - 92 ‘‘ Standart Test Methods For Flexural Properties Of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials ‘‘45-49 (1992).
10. Bagwell R.M. , Wetherhold R.C. ‘‘End Shaped Copper Fibers In An Epoxy Matrix – Predicted Versus Actual Fracture Toughening ‘‘, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 43, 181 – 188 (2005).
11. Zhou Y. , Li C., Mason J.J. ‘Fiber-End Deformation Effects In Enlarged-End, Fiber-Reinforced Composites ‘‘, *Engineering Fracture Mechanics* , (72): 1980-1992 (2005).
12. Schwartz M.M. ‘‘Composites Materials Handbook‘‘, *Mc Graw Hill, Inc.* , New York 185-198 (1992).

13. Zhu Y. T. , Lovato M.L., , Shi N., Valdez J. A. , Lowe T.C. , Zhou S., Stout M.G., Bluementhal B.R. ‘A Composite Reinforced With Bone-Shaped Short Fibers ‘, *Composites Science and Technology*, (15): 151-165 (2004).
14. Zhu Y. T. , Beyerlein I.J. ,Mahesh S. ‘On The Influence Of Fiber Shaped Short Fiber Composites ‘, *Composites Science and Technology* ,(61): 1341-1357 (2001).
15. Sirivedin S.,Fener D.N.,Nath R.B.,Galiotis C., ‘Matrix Crack Propagation Criteria For Model Short-Carbon Fibre/Epoxy Composites ‘, *Composites Science and Technology*, (60):2835-2847 (2000).
16. Wong P.M.H., Davies J.M., Wang Y.C. ‘An Experimental and Numerical Study Of The Behaviour Of Glass Fibre Reinforced Plastics (GRP) Short Columns At Elevated Temperatures ‘, *Composites Structures*, (63) : 33-43 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZDEMİR, Zafer
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.06.1974 Çorum
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (266) 221 48 41
 Faks : 0 (266) 221 20 07
 e-mail : ozdemirzafer@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği	1998
Lise	Çorum Atatürk Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-2000	Cazgır Kazan Ltd.	Üretim Müh.
2000-2002	TSK	Yedek Subay
2002-	TSK	Muvazzaf Subay (Ütğm.)

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tenis, Koşmak, Basketbol, Futbol, Kitap okumak