

TEK YÖNLÜ VE ÇİFT EKSENLİ KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER REÇİNE
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

Deniz GÜNEŞ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Levent URTEKİN

Ekim - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Deniz GÜNEŞ tarafından hazırlanan " Tek Yönlü Ve Çift Eksenli Karbon Elyaf Takviyeli Polyester Reçine Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması" adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

11/10/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE
Anabilim Dalı Başkanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Levent URTEKİN
Danışman, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Doç. Dr. Levent URTEKİN
Makine Mühendisliği Bölümü, Ahi Evran Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa Özgür ÖTEYAKA
Mekatronik Programı, Eskişehir MYO, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa GÜLEŞEN
Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %7 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Levent URTEKİN



Deniz GÜNEŞ



TEK YÖNLÜ VE ÇİFT EKSENLİ KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER REÇİNE MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Deniz GÜNEŞ

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Levent URTEKİN

ÖZET

Bu çalışmada polyster matris içerisine 12 K filament sayısına sahip tek yönlü ve çift eksenli karbon elyaf takviyelerinin 1, 2 ve 3 katmandan oluşacak şekilde yerleştirilmesi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozitler oda sıcaklığında el yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen kompozit plakalardan karbon elyaf lif yönü açısına göre bir kalıp yardımıyla standartlara uygun olarak numuneler hazırlanmıştır. Üç farklı numune grubu oluşturulmuştur. Birincisi tek yönlü karbon elyaftan lif yönü 0^0 olacak şekilde, ikinci ve üçüncü grup ise çift eksenli karbon elyaftan lif yönü 0^0 ve $\pm 45^0$ olacak şekilde numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çekme, üç nokta eğme ve düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testleri yapılmıştır.

Yapılan çekme testleri sonucunda, aynı katman sayısına sahip kompozitlerde en iyi kopma mukavemet değerlerinin tek yönlü karbon fiber takviyeli 0^0 li lif yönlendirmesine sahip kompozitlere ve en iyi sünekliğin ise çift eksenli karbon elyaf katkılı $\pm 45^0$ lik lif yönlenme açısına sahip kompozit malzemelere ait olduğu anlaşılmıştır. Üç nokta eğme testler sonucu ise tek yönlü karbon elyaf takviyeli 0^0 li lif yönlendirme açısına sahip kompozit malzemelerin elastisite değerlerinin en iyi sonuçlara sahip olduğu anlaşılmıştır. Katman sayılarının atmasıyla en iyi eğilme mukavemet değerinin çift eksenli 0^0 li lif yönlendirme açısına sahip kompozit malzemelere ait olduğu görülmüştür. Çekme test sonuçlarında olduğu gibi en iyi süneklik değeri çift eksenli $\pm 45^0$ li lif yönlendirme açısına sahip kompozit malzemelerine ait olduğu anlaşılmıştır. Düşen ağırlık düşük hızlı darbe testlerinde en iyi darbe mukavemet değerinin çift eksenli $\pm 45^0$ li lif yönlendirme açısına sahip kompozit malzemelerine ait olduğu anlaşılmıştır. Çekme ve eğme testlerinde en iyi elastisite değerlerine sahip olan tek yönlü karbon fiber takviyeli 0^0 li lif yönlendirmesine sahip kompozitlerin düşen ağırlık düşük hızlı darbe testinde en fazla deformasyona uğrayan kompozit malzeme olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Karbon elyaf, Kompozit, Mekanik Özellikler, Polyster reçine.

**COMPARISON OF MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS
WITH ONE WAY AND BIAXIAL CARBON FIBER REINFORCED POLYESTER
RESIN MATRIX**

Deniz GÜNEŞ

Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Levent URTEKİN

SUMMARY

In this study, composite materials were produced placing unidirectional and biaxial carbon fiber reinforcements with 12 filament numbers in polyester matrix to form one, two and three layers. The composite materials were produced in room temperature through hand lay-up method. Samples were prepared from composite plates with the help of a mold in line with the fiber direction angle in accordance with the standards. Three different sample groups were formed. The first group of samples was produced from unidirectional carbon fiber with 0^0 fiber direction while the second and third groups were formed from biaxial carbon fiber with 0^0 and $\pm 45^0$ fiber directions. Tensile, bending and falling weight low speed impact tests were conducted for determination of mechanical properties of the samples.

As a result of the tensile test, it was found that the composite materials with 0^0 unidirectional fiber reinforcement had the highest values of tensile strength while the composite materials with $\pm 45^0$ biaxial carbon fiber reinforcement had the highest values of elasticity in the composite materials with the same number of layers. Bending tests showed that the composite materials with 0^0 fiber direction angle of unidirectional carbon fiber reinforcements had the highest values of elasticity. It was further found that as the number of layers increased, the highest values of tensile strength turned out to be in the biaxial composite materials with 0^0 fiber direction angle. As in tensile tests, the highest values of elasticity turned out to be in biaxial composite materials with $\pm 45^0$ fiber direction angle. Falling weight low speed impact tests showed that the highest values of impact tensile strength turned out to be in the biaxial composite materials with $\pm 45^0$ fiber direction angle. The composite materials with 0^0 unidirectional fiber reinforcement that showed the highest values of elasticity in tensile and bending tests turned out to be the composite material with the highest values of deformation in falling weight low speed impact tests.

Key Words: Carbon fiber, Composite, Mechanical properties, Polyester resin,

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yön gösteren, tüm bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, maddi ve manevi destek olan değerli hocam Doç Dr. Levent URTEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kompozit malzemelerin üretim aşamasında atölye imkânlarını kullanmama izin veren Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Bandırma Meslek Yüksekokulu Müdürü Doç. Dr. Celalettin YANIK'a ve desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Serkan YÜKSEL, Öğr. Gör. Onur SAYLAN, Dr. Öğr. Üye. Mesut KULELİ, okulumuz akademik ve idari personeline teşekkür ederim.

Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarını kullanmama izin veren ve bilgilerini benimle paylaşan Makine Mühendisliği hocalarıma ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Kompozit numunelerinin çekme ve üç nokta eğme testlerinde laboratuvarlarını kullanım imkânı veren Zwick Avrasya firması yöneticileri, satış temsilcisi Erdem UNVAN ve testleri yapan Serkan DURSUN Bey'e teşekkür ederim.

Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi için cihaz kullanımı ve testin yapılmasında yardım ve bilgilerini benimle paylaşan sayın Dr. Öğr. Üye. Ağah AYĞAHOĞLU hocama teşekkür ederim.

Çalışmamda bana manevi desteğini esirgemeyen her zaman beni destekleyen hayat arkadaşım, sevgili eşim Kevser'e, hayatıma renk katan güzel kızım Melis Işık'a ve yetişmem için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkürler ederim, çalışmamı aileme ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. Kompozit Malzemesini Oluşturan Kısımlar	4
2.1.1. Matris	4
2.1.2. Takviye elemanı	15
2.1.3. Katkı maddeleri.....	19
2.2. Kompozit Malzemelerin Yapısal Olarak Sınıflandırılması	20
2.2.1. Tabakalı kompozitler.....	20
2.2.2. Parçacıklı kompozitler	20
2.2.3. Fiber kompozitler.....	21
2.2.4. Karma kompozitler	22
2.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	23
2.3.1. Kompozit malzemelerin avantajları	23
2.3.2. Kompozitlerin dezavantajları.....	24
2.4. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	24
2.4.1. Termoplastik kompozit üretimi	25
2.4.2. Termoset kompozit üretimi	25
2.4.3. Kalıplama yöntemlerine göre üretim yöntemleri	25
2.4.4. El yatırma yöntemi (Hand lay-Up)	26
2.4.5. Püskürtme yöntemi (Spray-Up)	28
2.4.6. Kırpma ve püskürtme makinesi yöntemi	30
2.4.7. Reçine transfer kalıplama (RTM)/reçine enjeksiyonu	31
2.4.8. Elyaf sarma yöntemi (Filament winding)	33
2.4.9. Profil çekme yöntemi (Pultrüzyon, pultrusion).....	34
2.4.10. Vakum torbası yöntemi/Vakum bagging	34
2.4.11. Savurma yöntemiyle kalıplama (Santrifüj yöntemi)	35
2.4.12. Otoklav yöntemi/Autoclave bonding	36
2.4.13. Hazır kalıplama yöntemi/Basınçlı kalıplama yöntemi/Compression molding (SMC, BMC)	36
2.4.14. Ekstrüzyon yöntemi	38

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. KARBON ELYAFLAR.....	39
3.1. Karbon Elyaf Liflerinin Özellikleri.....	40
3.2. Karbon Liflerinin Üretimi	41
3.2.1. Bitkisel esaslı hammaddelerden karbon lif üretimi.....	41
3.2.2. Ziftten (Pitch) karbon elyaf üretimi	42
3.2.3. Poliakrilonitril (PAN)'den karbon elyaf üretimi	44
3.3. Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Kullanıldığı Sektörler	50
3.3.1. Havacılık ve savunma	51
3.3.2. Rüzgâr türbinleri	51
3.3.3. Spor ve eğlence	51
3.3.4. Otomotiv sanayi	52
3.3.5. Basınçlı kaplar	52
3.3.6. İnşaat sektörü	52
3.3.7. Denizcilik sektörü	53
3.3.8. Diğer kullanım alanları	53
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	54
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	67
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemelerin Tanım ve Özellikleri.....	67
5.1.1. Karbon elyaf kumaşlar	67
5.1.2. Matris malzemesi	69
5.1.3. Katkı malzemeleri	70
5.1.4. Ayırıcılar.....	71
5.2. Kompozit Malzeme Üretimi	72
5.3. Uygulanan Testler	73
5.3.1. Çekme testi.....	74
5.3.2. Üç nokta eğme testi.....	76
5.3.3. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi	78
6. DENEYSEL SONUÇLAR.....	81
6.1. Çekme Testi.....	81
6.1.1. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 Ç) numune grubunun çekme test sonuçları	81
6.1.2. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 Ç) numune grubunun çekme test sonuçları	85
6.1.3. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 Ç) numune grubunun çekme test sonuçları	89
6.1.4. Çekme testine göre aynı katman sayısına sahip numune gruplarının ortalama değerlerinin karşılaştırılması	93

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

6.1.5. Çekme testine göre aynı katman sayısına sahip numune gruplarının en yüksek değerlerinin karşılaştırılması	96
6.1.6. Çekme testine göre aynı grup malzemelerin katman sayılarının ortalama değerlerinin karşılaştırılması	98
6.2. Üç Nokta Eğme Testi	100
6.2.1. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 E) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları.....	100
6.2.2. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 E) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları.....	105
6.2.3. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 E) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları.....	109
6.2.4. Üç nokta eğme testine göre aynı katman sayısına sahip numune gruplarının ortalama değerlerinin karşılaştırılması.....	113
6.2.5. Üç nokta eğme testine göre aynı katman sayısına sahip numune gruplarının en yüksek değerlerinin karşılaştırılması	115
6.2.6. Üç nokta eğme testine göre aynı grup malzemelerin katman sayılarının ortalama değerlerinin karşılaştırılması.....	118
6.3. Düşen Ağırlık Düşük Hızlı Çarpma Testi	121
6.3.1. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemesinin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi.....	121
6.3.2. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı kompozit malzemesinin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi.....	127
6.3.3. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı kompozit malzemesinin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi.....	133
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	140
7.1. Sonuçlar	140
7.1.1. Çekme testi sonuçları.....	140
7.1.2. Üç nokta eğme testi sonuçları	141
7.1.3. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi sonuçları	141
7.2. Öneriler	142
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	144
EKLER	
Ek 1. Çekme Testi Örnek Numune Sonuçları	
Ek 2. Üç Nokta Eğme Testi Örnek Numune Sonuçları	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Matris malzemelerine göre kompozit çeşitleri	4
2.2. Metal matrisli kompozit	5
2.3. Seramik matrisli kompozit	7
2.4. Epoksi reçinelerin genel kimyasal bileşenleri	11
2.5. Epoksit gruplarında etilen diamin kullanılarak çapraz bağ oluşturma	12
2.6. Kompozit malzemelerin yapısal olarak gruplandırılması	20
2.7. Tabakalı kompozitler	20
2.8. Parçacıklı kompozitler	21
2.9. Fiber kompozitler	22
2.10. Karma kompozitler	22
2.11. El yatırma yöntemi ile kompozit üretim aşamaları	28
2.12. Reçine püskürtme makinası ile kompozit üretim aşamaları	30
2.13. Elyaf kırma ve püskürtme makinesi ile kompozit üretim aşamaları	31
2.14. RTM makinesi ile kompozit üretim aşamaları	32
2.15. Elyaf sarma yöntemi	33
2.16. Profil çekme yöntemi	34
2.17. Vakum torbası yöntemi	35
2.18. Savurma yöntemi	35
2.19. Otoklav yöntemi	36
2.20. Hazır kalıplama yöntemi	37
2.21. Ekstrüzyon yöntemi	38
3.1. Ziftten karbon elyaf üretim prosesinin şematik gösterimi	44
3.2. PAN'dan karbon fiber üretim prosesi	45
3.4. PAN'dan karbon lif üretim aşamaları	45
3.5. PAN esaslı liflerin oksidasyona uğratılması	46
3.6. Karbonizasyon işlemi	47
5.1. Karbon elyaf kumaşlar	67
5.2. Tek yönlü karbon elyaf kumaş	68
5.3. Çift eksenli karbon elyaf kumaş	69
5.4. Karbon elyaf kompozit hazırlık aşamaları ve hazırlanan numuneler	73
5.5. ISO 527-1 standardına göre üretilmiş çekme test numune ölçüleri	75

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6. Zwick/Roell marka AllroundLine Z250 SrR test cihazı.....	75
5.7. ISO 178 standardına göre üretilmiş üç nokta eğme test numune ölçüleri.....	75
5.8. Zwick/Roell marka ProLine table-top testing machines Z005 up to Z100 test cihazı	76
5.9. ISO 6603-2 standardına göre üretilmiş düşen ağırlık çarpma test numune ölçüleri	75
5.10. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test cihazı.....	79
5.11. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test cihazında kullanılan uçlar	79
6.1. ÇEK 0 Ç 1 grubunun çekme test numuneleri.....	82
6.2. ÇEK 0 Ç 2 grubunun çekme test numuneleri.....	83
6.3. ÇEK 0 Ç 3 grubunun çekme test numuneleri.....	85
6.4. ÇEK 45 Ç 1 grubunun çekme test numuneleri.....	86
6.5. ÇEK 45 Ç 2 grubunun çekme test numuneleri.....	87
6.6. ÇEK 45 Ç 3 grubunun çekme test numuneleri.....	89
6.7. TYK 0 Ç 1 grubunun çekme test numuneleri	90
6.8. TYK 0 Ç 2 grubunun çekme test numuneleri	91
6.9. TYK 0 Ç 3 grubunun çekme test numuneleri	93
6.10. ÇEK 0 E 1 grubunun üç nokta eğme test numuneleri	101
6.11. ÇEK 0 E 2 grubunun üç nokta eğme test numuneleri	103
6.12. ÇEK 0 E 3 grubunun üç nokta eğme test numuneleri	104
6.13. ÇEK 45 E 1 grubunun üç nokta eğme test numuneleri	106
6.14. ÇEK 45 E 2 grubunun üç nokta eğme test numuneleri	107
6.15. ÇEK 45 E 3 grubunun üç nokta eğme test numuneleri	108
6.16. TYK 0 E 1 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.....	110
6.17. TYK 0 E 2 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.....	111
6.18. TYK 0 E 3 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.....	112
6.19. ÇEK 0 D 1 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	123
6.20. ÇEK 0 D 2 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	125
6.21. ÇEK 0 D 3 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	127
6.22. ÇEK 45 D 1 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	129
6.23. ÇEK 45 D 2 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	131
6.24. ÇEK 45 D 3 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	133
6.25. TYK 0 D 1 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	135

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.26. TYK 0 D 2 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	137
6.27. TYK 0 D 3 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.....	138



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Termoplastik reçinelerin ergime ve işlem sıcaklıkları.....	10
2. 2. Termoplastik malzemelerin teknik özellikleri.....	10
2.3. Epoksi ve polyester malzemelerinin özellikleri	14
2.4. Cam elyafların özellikleri.....	17
2.5. Çeşitli bor elyaflarının mekanik özellikleri.....	17
2.6. Epoksi matrisli Aramid elyafı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri.....	19
3.1. Karbon ve grafit elyafların özellikleri.....	39
3.2. Zift esaslı karbon elyaf liflerinin özellikleri.....	44
3.3. PAN Esaslı karbon elyaf liflerinin özellikleri	48
3.4. PAN Esaslı karbon elyaf liflerinin sınıflandırılması	49
5.1. Tek yönlü karbon elyaf kumaşın özellikleri	68
5.2. Çift eksenli karbon elyaf kumaşın özellikleri	69
5.3. Polyester reçine özellikleri.....	70
5.4. MEK-P dondurucunun özellikleri	70
5.5. Kobalt hızlandırıcısının özellikleri.....	71
5.6. Polivaks katı SV-6 ayırıcı özellikleri.....	71
5.7. Polivaks sıvı PVA ayırıcı özellikleri.....	71
5.8. Çekme test veri giriş değerleri	75
5.9. Üç nokta eğme test veri giriş değerleri	77
5.10. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test veri giriş değerleri.....	80
6.1. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 Ç 1) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	82
6.2. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 Ç 2) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	83
6.3. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 Ç 3) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	84
6.4. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 Ç 1) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	86
6.5. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 Ç 2) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	87
6.6. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 Ç 3) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	88
6.7. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı katlı (TYK 0 Ç 1) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	90

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.8. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 Ç 2) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	91
6.9. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 Ç 3) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları	92
6.10. Tek katmandan oluşan numunelerin ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması...	93
6.11. İki katmandan oluşan numunelerin ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması	94
6.12. Üç katmandan oluşan numunelerin ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması	95
6.13. Tek katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin çekme testi sonuçları	96
6.14. İki katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin çekme testi sonuçları	97
6.15. Üç katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin çekme testi sonuçları	97
6.16. Çift eksen 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama çekme testi sonuçları .	98
6.17. Çift eksen 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama çekme testi sonuçları .	99
6.18. Tek yönlü 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama çekme testi sonuçları..	99
6.19. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 E 1) kompozit grubunun üç nokta eğme test sonucu	101
6.20. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 E 2) kompozit grubunun eğme test sonucu.....	102
6.21. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 E 3) kompozit grubunun eğme test sonucu.....	104
6.22. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 E 1) kompozit grubunun eğme test sonucu.....	105
6.23. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 E 2) kompozit grubunun eğme test sonucu.....	107
6.24. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 E 3) kompozit grubunun eğme test sonucu.....	108
6.25. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 E 1) kompozit grubunun eğme test sonucu.....	109
6.26. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 E 2) kompozit grubunun üç nokta eğme test sonucu	111
6.27. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 E 3) kompozit grubunun eğme test sonucu.....	112
6.28. Tek katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları	113
6.29. İki katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.....	114
6.30. Üç katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.....	115
6.31. Tek katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin üç nokta eğme test sonuçları	116
6.32. İki katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin üç nokta eğme test sonuçları.....	117

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.33. Üç katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin üç nokta eğme test sonuçları	118
6.34. Çift eksen 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.....	119
6.35. Çift eksen ±45 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları	119
6.36. Tek yönlü 0 ⁰ elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.....	120
6.37. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 D 1) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları	122
6.38. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 D 2) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları	124
6.39. Çift eksenli karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 D 3) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları	126
6.40. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 D 1) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.....	128
6.41. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 D 2) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.....	130
6.42. Çift eksenli karbon ±45 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 D 3) kompozit grubunun test düşen ağırlık düşük hızlı çarpma sonuçları.....	132
6.43. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 D 1) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları	134
6.44. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 D 2) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları	136
6.45. Tek yönlü karbon 0 ⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 D 3) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları	138

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
%	Kopma, Eğilme oranı, karbon içerik oranı
°C	Sıcaklık birimi
μ d	Dinamik sürtünme oranı
A	Numune Kesit Alanı
b	Numune Genişliği
cal/cm.s.C	kalori/santimetre. saniye. derece, Termal iletkenlik
cal/g. C	Özgül ısı
E_t, E_f	Elastisite Modülü
g/cm ³	Yoğunluk birimi
GPa	Giga Paskal, Çekme- Basma Modülü, Elastiklik modülü
h	Numune Kalınlığı
J	Joule, enerji birimi
K	Lif filament sayısı (1K= 1000)
kNm/kg	Kilo Newtonmetre/kilogram, Spesifik Dayanım
L_v	Destek Uçları Arasındaki Mesafe
m	metre, uzunluk, kayma mesafesi, yükseklik
m/s	metre/saniye, hız, kayma hızı
m/s ²	metre/saniyekare, ivme, yer çekim ivmesi
mm	milimetre, uzunluk, çap, yarıçap
mm/dk	milimetre/dakiha, hız, eğme modülü kontrol hızı
mm ²	milimetre kare, kesit alanı
MNm/kg	MegaNewtonmetre/kilogram, Spesifik Modül
MPa	Mega Paskal, Çekme- Basma Mukavemeti
mPA.s	Akıcılık
N	Newton, kuvvet birimi
W/m*K	Watt/ metreKelvin, Isıl iletkenlik katsayısı
$X10^{-6}/K$	Isıl genleşme katsayısı
ϵ_b	Kopma Sırasındaki Uzama
ϵ_{fb}	Eğilme Sırasındaki Uzaması
ϵ_{fm}	Eğilme Uzaması
ϵ_y	Akma Uzaması

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
μm	mikro metre, lif çapı
$\mu\Omega$	mikroohm, Elektriksel öz direnç
ν	Poisson oranı
σ_{fb}	Eğilme Sırasındaki Mukavemeti
σ_{fm}	Eğilme Mukavemeti
σ_{fn}	Eğilme Mukavemeti
σ_m	Kopma Mukavemeti
σ_y	Akma Mukavemeti
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
A camı	Alkali Camı
ABS	Akronitril-Butadien-Streyn
Al_2O_3	Alüminyum oksit molekülü
ASTM	Test Malzemeleri için Amerikan Standartları
B_4C	Bor karbür molekülü
BMC	Hazır Kalıplama Hamuru
C camı	Korozyon camı
CaO	Kalsiyum oksit molekülü
CH_4	Metan molekülü
CO	Karbonmonoksit molekülü
CO/ECO	ECO Kauçuk
CO_2	Karbondioksit molekülü
CR	Klaropren Kauçuk (Neopren)
CSM	Hypalon Kauçuk
ÇEK 0 Ç	Çift eksenli karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip çekme testi
ÇEK 0 D	Çift eksenli karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip düşme testi
ÇEK 0 E	Çift eksenli karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip üç nokta eğme testi
ÇEK 0	Çift eksenli karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip
ÇEK 45 Ç	Çift eksenli karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açısına sahip çekme testi
ÇEK 45 D	Çift eksenli karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açısına sahip düşme testi
ÇEK 45 E	Çift eksenli karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açısına sahip üç nokta eğme testi
ÇEK 45	Çift eksenli karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açısına sahip

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ÇEK	Çift eksenli karbon
DC	Doğru akım
DE	Darbe Enerjisi
E camı	Elektrik camı
E/r	Spesifik Modül
EPDM	EPDM Kauçuk
Fe ₂ O ₃	Demir oksit molekülü
FKM	Viton Kauçuk
H ₂ O	Su molekülü
HM	Yüksek Modüllü Karbon
HS	Yüksek Mukavemetli
ISO	Uluslararası Standartlar
K ₂ O	Potasyum oksit molekülü
KE	Kinetik enerji
LM	Düşük Modüllü Karbon
MEK-P	Metil etil keton peroksit
MgO	Magnezyum oksit molekülü
MMK	Metal Matrisli Kompozitler
N ₂	Azot molekülü
Na ₂ O	Sodyum oksit molekülü
NBR	Nitril Kauçuk
NH ₃	Amonyak molekülü
NR	Tabi Kauçuk
PA	Poli-Amid
PAI	Poli-Amid-İmid
PAN	Poli Akrilo Nitril
PE	Poli-Etilen
PE	Potansiyel enerji
PEEK	Poli-Eter-Eter-Keton
PEI	Poli-Eter-İmid
PES	Poli-Eter-Sülfon
PMK	Polimer Matrisli Kompozitler

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
PMMA	Poli-Met-Metha-Arkilik
PP	Poli-propilen
PPS	Poli-Phenilen-Sulfid
PS	Poli-Stiren
PTFE	Poli-Tetra-Flor-Etilen (Teflon)
PVC	Poli-Vinil-Klorür
Rm/r	Spesifik Dayanım
RTM	Reçine Transfer Kalıplama
S,R camı	Mukavemet camı
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SiC	Silisyum oksit molekülü
SiO ₂	Silisyumdi oksit molekülü
SMC	Hazır Kalıplama Pestili
SMK	Seramik Matrisli Kompozitler
TGA	Termogravimetri testi
Tip 1	Son işlem sıcaklığı 2000 °C olan karbonlar
Tip 2	Son işlem sıcaklığı 1500 °C olan karbonlar
Tip 3	Son işlem sıcaklığı 1000 °C olan karbonlar
TYK 0 Ç	Tek yönlü karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip çekme testi
TYK 0 D	Tek yönlü karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip düşme testi
TYK 0 E	Tek yönlü karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip üç nokta eğme testi
TYK 0	Tek yönlü karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip
TYK	Tek yönlü karbon
UHM	Ultra Yüksek Modüllü Karbon
UHS	Çok Yüksek Mukavemetli
VMQ	Silikon Kauçuk
XPS	X-ışını fotoelektron spektroskopu

1. GİRİŞ

Günümüzde modern teknolojinin gelişmesiyle birlikte mevcut malzemelerin yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu da yeni tür malzemelerin geliştirilmesine neden olmuştur. Geliştirilen yeni malzemelerden biriside kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler; birbiri içerisinde çözünmeyen kimyasal yapılara sahip en az iki ya da daha çok malzemenin (birinin taşıyıcı (matris) diğ erinin takviye malzemesi olarak kullanılan) üstün özelliklerini alarak makro düzeyde birleştirilmesiyle üretilmiş yeni tür malzeme çeşididir. Kompozit malzemelerin üretim amacı; sertlik, mukavemet, direngelik (rijitlik), ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci ve ısı-elektrik iletkenliği gibi fiziksel ve mekanik özelliklere ulaşmaktır. Kompozit malzemelerin bilinen en eski uygulaması kırsal bölgelerde halen kullanılan kerpiç tuğla (saman ve çamur karışımı) gösterile bilir. Günümüzde göz önünde olan ve insanların kompozit olduğunu bilmediği bir kompozit malzemesi de çimento, kum ve demir çubuklardan oluşan betondur.

Kompozit malzemeler 1930'lu yıllarda "Kondenzasyon Reaksiyonu" nun (Biriside organik molekül olmak üzere iki molekül arasından küçük ve polar bir molekül ayrılarak yeni bir molekül meydana gelmesine kondenzasyon reaksiyonu denir) (https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/7645/mod_resource/content/0/9.Kondenzasyon.pdf) bulunmasıyla birlikte gelişmeye başlamıştır. Yeni malzemelerin bulunmasına öncü olan neden savaştır ve özellikle 2. Dünya Savaşı ile birlikte çok fazla malzeme geliştirilmiştir. Kompozit malzemeler de 2. Dünya Savaşı sırasında askeri araçlarda kullanılan plastik alaşımlı kompozitler ile gelişimine hız katmıştır. İlerleyen yıllarda özel sektörün de kompozit malzemelere önem vermesi ile birlikte 1946 yılından itibaren kullanımı artmıştır. Kompozit malzemelerin ilk üretiminden günümüze kullanılan takviye malzemeleri ve matris malzemelerinde de yeniliklere gidilmesiyle farklı bileşenler kullanılmış ve istenilen üstün özellikli kompozit malzemeler elde edilmeye çalışılmıştır (<http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/05/Kompozitin-Tarihi.pdf>).

Kompozit malzemelerin kullanılmasının en önemli nedeni özellikle araçlarda ağırlıktan kaynaklanan enerji sarfiyatlarının en düşük seviyelere çekilmesidir. Bundan dolayı birçok araçta özellikle hava ve uzay araçlarında kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemelerden önce demir ve alaşımları yerine alüminyum ve alaşımları kullanılarak ağırlıklarda % 20-50 arasında kazanım sağlanmıştır. Kompozit malzemelerin kullanımıyla birlikte bu kazanım demir ve alaşımlarında %60-80 arasında olurken, alüminyum ve alaşımlarının yerine kullanıldığında ise %20-50 arasında mümkün olmuştur (Ersoy, 2005).

Ağırlık kazanımının yanında tercih sebeplerinden biriside kimyasallara karşı reaksiyona girmeyen malzemelerle üretilen kompozitler hem paslanmaz çelikler kadar mukavim hem de plastik malzemeler gibi reaksiyon direnci yüksek bir malzeme elde ediliyor olmasıdır (<http://web.deu.edu.tr/ansys/tezler/3.pdf>, 2006).

Birçok alanda kullanılmasına başlanan polyester-karbon kompozit malzemeler için birçok çalışma yapılmıştır ve halen yapılmaktadır. Yapmış olduğumuz bu çalışmamızda polyester matris içerisine takviye malzemesi olarak farklı katman sayılarına ve lif yönlendirme açlarına sahip CW400 B-KARBON 12 K DÜZEN DOKUMA (Tek Yönlü Karbon Elyaf) ve CX300 E05A-45/45 BİAXİAL KARBON (Çift Eksenli Karbon Elyaf) kullanılarak el yatırma yöntemiyle kompozit malzemeler elde edilmiştir. Hazırlamış olduğumuz kompozit malzemelerin çekme, üç nokta eğme ve düşen ağırlık düşük hızlı çarpma deneyleri yapılarak kompozit malzemelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, en az iki ya da daha çok malzemenin makro düzeyde homojen ve mikro düzeyde heterojen bir şekilde birleşmesiyle meydana gelen yeni tip bir malzeme çeşididir. Kompozit malzemeleri alaşımlardan ayıran farklılık ise kompoziti oluşturan malzemelerin kimyasal olarak birbiriyle etkileşime girmemeleridir. Kompozit malzemelerde iki ana bileşen vardır. Birincisi matris denilen taşıyıcı ikincisi ise takviye malzemesidir. Matris malzemesi takviye malzemesini hacimsel olarak sararak kompozit malzemesini oluştururlar. Kompozit malzemesinin amacı ise kompoziti oluşturan malzemelerin tek başlarına kullanıldıklarında yetersiz gelen dayanım, esneklik, hafiflik vb. gibi özelliklerini iyileştirmektir (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011; Tolun, 2008).

Kompozit malzemelerin genel özelliklerini aşağıdaki gibi sıralaya biliriz (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011):

- *Hafiflik:* Metal kompozitlerin ortalama yoğunluğu $2,5-4,5 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Polimer kompozitlerin yoğunluğu ise genelde $1,5-2 \text{ gr/cm}^3$ aralığındadır. Seramik kompozit yoğunluğu metal ve polimer kompozit yoğunluklarının arasında kalmaktadır. Özel üretim kompozitlerde yoğunluklarda artma ya da azalmalarda büyük değişiklikler olabilir.
- *Boyut kararsızlığı ve Rijitlik:* Boyut kararlılığı büyük olmasının yanında genleşme katsayıları düşük olup sağlam ve sert bir yapıya sahiptirler.
- *Mekanik Özellikleri:* Darbe, çekme, yorulma ve basma dayanımları kendisini oluşturan malzemelere göre çok yüksektir.
- *Kimyasal Direnç:* Asit, alkali ve çözücüler gibi birçok kimyasala karşı yüksek bir dirence sahip olan kompozitler aynı zamanda açık hava şartlarına karşı da çok fazla dayanıma sahiptirler.
- *Isı Dayanımı:* Özellikle plastiklere göre ısı dayanımları yüksektir.
- *Elektriksel Özellikleri:* Üretilen kompozitin özelliğine göre elektriksel özellikler ayarlanabilir. Polyester ve seramik kompozitlerde genellikle elektrik iletkenliği istenmezken metal matrisli kompozitlerde ise elektrik iletkenliği istendiği için üretim buna göre yapılır.

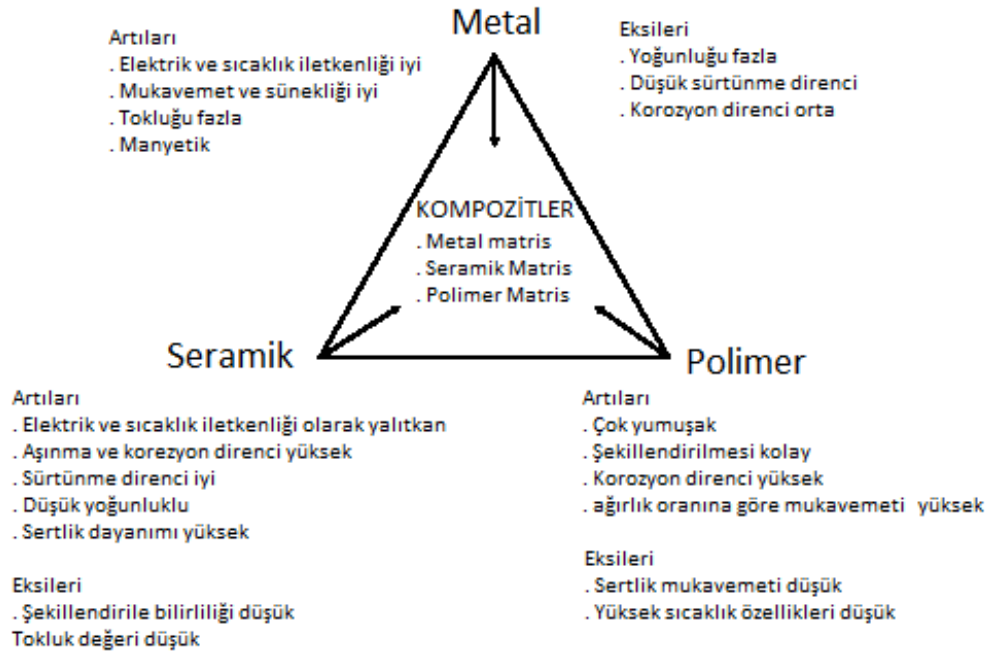
2.1. Kompozit Malzemesini Oluşturan Kısımlar

Kompozit malzemeler matris, takviye (donatı) ve katkı maddesi olarak üç malzemedenden oluşur (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011; Tolun, 2008).

2.1.1. Matris

Takviye elemanını saran, gelen yükleri yapının her yerine aktaran, bünyede bulunan gerilmelerin bir kısmını karşılayarak takviye elemanının liflerinde meydana gelecek kırılma ve kopmaları tolere ederek tokluğu arttıran, takviye elemanını dış etkilerden koruyan ve kompozit malzemesinin nihai şeklini almasını sağlayan elemandır. Bundan dolayı matris malzemesinin seçiminde istenen özellikler; fiber malzemesini sağlam ve iyi bir şekilde sarması için düşük viskoziteli olması ve kolaylıkla katı forma geçebilmesidir (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011; Tolun, 2008).

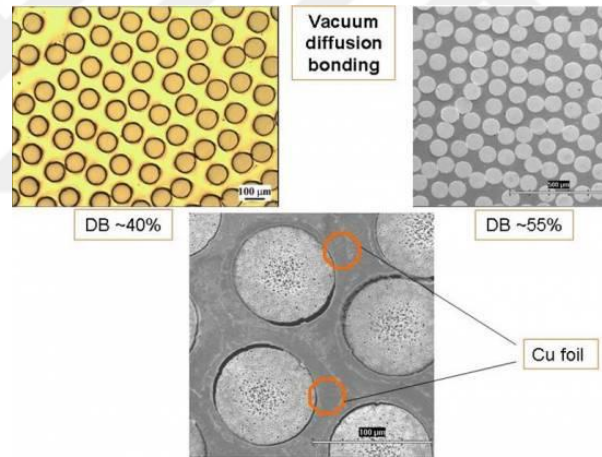
Kompozit malzemeler matris malzeme cinsine göre üç ana gruba ayrılır. Bunlar; metal, seramik ve polimer matrisli kompozitlerdir. Şekil 2.1 de matris malzemelerine göre kompozit çeşitlerinin gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Matris malzemelerine göre kompozit çeşitleri (Zor, 2018).

Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

Matris elamanı olarak metal kullanılırken takviye elemanı olarak ise çoğunlukla seramik malzemeler kullanılır. MMK'ler de çoğunlukla Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn gibi hafif metaller tercih edilir. Yaygın olarak ise Al, Ti ve Mg metalleri ve alaşımları tercih edilir. MMK'in tercih nedenleri organik akışkanlara karşı korozyon ve erozyon dayanımının yüksek olması, yüksek sıcaklıklarda çalışması ve alev almaması, aşınma dayanımının yüksek olması, basma gerilmesinin yüksek olması ve kırılma tokluğunun yüksek olmasıdır. Matris içinde takviye türü olarak parçacıklı, süreksiz veya sürekli fiberler kullanılır. Bu kompozitler havacılık, otomotiv ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. MMK malzemelerinin seçiminde yapılmış çalışmalara bakıldığında çeşitliliğinin çok olduğu ve halende artmakta olduğunu ve literatürler de olumlu olarak yer aldığını görmekteyiz (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Tolun, 2008) Aşağıdaki Şekil 2.2'de metal metrislerin görselleri verilmiştir.



Şekil 2.2. Metal matrisli kompozit (Zor, 2018).

Alüminyum ve alaşımları: Yaygın olarak Al 6061 ve Al 2024 alaşımları ve saf olan Al 1010 kullanılır. 450-550 °C de sıcak presleme ile üretilen alüminyum matrisli kompozit malzemeler 300 °C ye kadar özelliklerini korurlar. Karbon elyafları kullanılarak üretilen kompozitlerde korozyonu önlemek için kullanılan karbon elyaf yüzeyi nikel ya da gümüşle kaplanır. Elektrik iletkenliği istenen yapılarda tercih edilirler. Alüminyum alaşımlarında Mg, Mn, Cu ve Zn alaşımları istenen özelliklere göre tek ya da birlikte kullanılabilirler. Sertleşmeyen ve çökeltme ile sertleşen alaşımlar olarak ikiye ayrılırlar (Zor, 2018).

Sertleşmeyen alaşımlar: Al-Mg ve Al-Mn

Çökeltme ile sertleşen alaşımlar: Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg

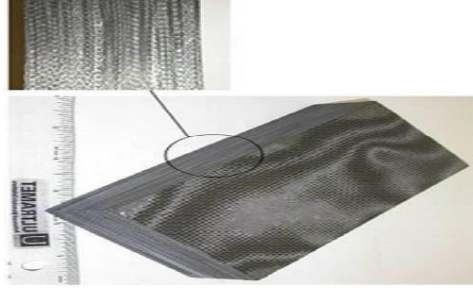
Magnezyum ve alaşımları: Mukavemeti Alüminyumdan daha düşük olan Magnezyumun yoğunluğu Alüminyumdan düşük olduğu için özgül mukavemeti Alüminyumdan daha yüksektir. Korozyon direnci, rijitliği, yorulma mukavemeti düşük olması ve yüksek sıcaklıklarda sünme ve aşınma özelliklerinin kötü olması dezavantajı olarak göze çarpmaktadır. Al ve ZN alaşım elementi olarak kullanılır. Talaşlı işlenmesi diğer metallere göre daha iyidir (Zor, 2018).

Çinko ve alaşımları: Ergime sıcaklıklarının düşük olması döküm malzemesi olarak kullanılmasında tercih sebebidir. Döküm işlemlerinde ince cidarlı 0,5 mm ye kadar delikler açılabilir. Pres döküm ile üretilen çinko alaşımları Zamak adı ile anılırlar. Dökme demir ve çelik üzerine kaplandığında korozyon direncini iyileştirme özelliği vardır (Galvanize çelik adı ile anılmaktadır). Düşük sıcaklıklarda gevrek bir yapıya sahip iken oda sıcaklıklarında yorulma dayanımları iyidir. Ağır yüklemelerde ve düşük devirlerde aşınma dirençleri yüksek değerlerdedir. Otomobil parçaları ve mutfak eşyaları hassas pres dökümle üretilirler (Zor, 2018).

Titanyum ve alaşımları: Isıl genleşme katsayıları metaller içinde en düşük olan titanyumdur. Alüminyuma göre mukavemeti ve rijitliği daha yüksektir. Korozyon direnci iyi olan titanyum Al, Mn, Si ve V ile alaşım yapabilirler. Isı dayanımının fazla olmasından dolayı disk, kompresör pervanesi gibi makine parçalarında kullanılırlar. Kompozit üretimi için Borsic ve SiC elyafları kullanılır. Özgül mukavemet değerleri yüksek olan titanyum ve alaşımları özellikle uzay ve uçak sanayinde tercih edilen bir malzemedir (Zor, 2018).

Seramik matrisli kompozitler (SMK)

Seramikler, metal ve metal dışı malzemelerden meydana gelen inorganik bir malzeme bileşenidir. Metallere göre hafif ve sıcaklık dayanımları yüksek olduğu için tercih sebebidir. Ancak yapı olarak kırılğan oldukları için silisyum nitrür (Si_3N_4), Karbon, Silisyum karbür (SiC), Alüminyum oksit (Al_2O_3) ve SiC- Al_2O_3 karışımı kullanılarak seramik matris kompozitleri elde edilerek negatif özellikleri en aza indirgenmeye çalışılmıştır. SMK'lar yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde, uzay, savunma ve son yıllarda insan vücudunda kullanılan biomalzeme olarak kullanılmaktadır (Zor, 2018). Şekil 2.3'te seramik matrisli kompozitin görünümü verilmiştir.



Şekil 2.3. Seramik matrisli kompozit (Zor, 2018).

Polimer matrisli kompozitler (PMK)

Sürekli takviyeli olarak yaygın bir şekilde kullanılan polimer matrisler elastomerler, termoplastikler ve termosetler olarak üç ana grupta ayrılırlar. Epoksi ve polyeester reçineli olanlar en çok kullanılanlarıdır. Takviye elemanı olarak cam, karbon ve aramid en çok kullanılan malzemelerdir. Cam takviyeli polimer kompozitler özellikle gemi inşaa ve otomotiv sektöründe oldukça fazla kullanılmaktadırlar. Karbon takviyeli polimer kompozitler ise basınç kapları, uçak yapıları, spor aletleri ve roket motorları gibi mukavemet değeri yüksek olan malzeme yapımında kullanılır. Aramid takviyeli polimer kompozitler ise mukavemet, sıcaklık ve sürtünme dayanımı yüksek olan spor aletleri, halat, dış lastik, araç fren sistemleri, conta, zırh ve füze kılıf yapımında kullanılmaktadırlar (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019).

Polimer matrisli kompozitlerin avantaj ve dezavantajları

Avantajları

- Karmaşık geometrilere sahip parçaların ek yöntemlere gerek kalmadan üretilebilmesi
- Ergime noktalarının düşük olmasından dolayı az enerjiye ihtiyaç duyması
- Ham madde maliyetlerinin düşük olması
- Bazı plastiklerin şeffaf olmasından dolayı ışığı yansıtabilmesi
- Korozyon direncinin yüksek olması
- Elektrik iletkenliğinin düşük olması
- Maliyetlerinin MMK ve SMK'lere göre düşük olması

Dezavantajları

- MMK ve SMK lara göre dayanım değerlerinin düşük olması
- İşletme sıcaklıklarının düşük olması
- Elastik modüllerinin düşük olması

- Yükleme şartlarının visko-elastik özelliklerden dolayı sınırlı olması

Polimer matrisleri içyapılarına göre üç grupta inceleyebiliriz

1. Elastomerler
2. Termoplastikler
3. Termosetler

Elastomerler

Çekme kuvveti altında yüksek elastik uzama gösteren, kuvvet kaldırıldığında ilk halini alan düşük çapraz bağ yoğunluğuna sahip polimerlere elastomer denir. En çok bilinen elastomerler kauçuklardır. Elastomerlere uygulanan çekme kuvvetleri bünyesinde bulunan çapraz bağlardan dolayı deformasyonu engeller ya da minimum düzeyde tutarlar. Elastomerler amorf yapıdadırlar ve kristalleşmeye karşı direnç gösterirler. Kauçuğumsu olarak da anılırlar. Doğal ve yapay kauçuk olarak ikiye ayrılırlar. Doğal kauçuklar lateks olarak bilinen tropikal ağaç kabuklarının içinde bulunan süte benzer akışkan sıvının içinde dolaşan katılardan elde edilir. Yapay kauçuklar ise ikinci dünya savaşı öncesinde kimyasal yollarla elde edilmişlerdir. Başlıca kullanılan elastomerler aşağıdaki gibidir (Evcin, 2017; <https://www.pagev.org/elastomerler>).

- NR Tabi Kauçuk
- SBR Stiren Bütadien Kauçuk
- CR Klaropren Kauçuk (Neopren)
- NBR Nitril Kauçuk
- EPDM EPDM Kauçuk
- CSM Hypalon Kauçuk
- VMQ Silikon Kauçuk
- FKM Viton Kauçuk
- CO/ECO ECO Kauçuk

Termoplastikler: Plastik olarak da anılan termoplastikler düşük ergime sıcaklığına sahiptirler. Bu sayede yeniden şekillendirilmeleri kolaydır. Eritildikten sonra özellikle ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplama yöntemleri sayesinde karışık yapılu parçalarda dâhil her türlü kalıplama yapılarak ürün üretilebilir. Oluşan üründeki termoplastiklerin yapı olarak yarı-kristal yapı olan bir kısmı amorf yapı iken bir kısmı da kristal yapıdadır. Bu sayede amorf yapı elastikiyet sağlarken kristal yapı ise mukavemet sağlamış olur. Termoplastik malzemelerde bulunan zincirler birbirlerine zayıf olan Van Der Waals bağlarıyla bağlıdır. Fakat termoplastik zincirlerin bir arada

tutulmasını sağlayan polar etkileşim sayesinde zincir içi ve zincirler arası etkileşimler mevcuttur. Zincir bükülmeleri ve dolaşimleri termoplastiklerin mekanik tepkilerine büyük bir etki sağlamaktadır. Termoplastiklere uygulanan çekme kuvveti elastik uzama sınırını aştıktan sonra deformasyona uğrayarak şekil bozukluğu ya da kopma yaşanır. Termoplastiklerin çekme dayanımları ve elastik modüllü elastomerlere göre fazladır. Termoplastikler tekrar tekrar kullanılabilirler (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011; Tolun, 2008; Evcin, 2017; <https://www.pagev.org/elasticity>; Akdoğan Eker, 2008).

Termoplastiklerin çeşitleri (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011; Tolun, 2008; Evcin, 2017; <https://www.pagev.org/elasticity>; Akdoğan Eker, 2008).

Selüloz Türevleri: Genellikle pamuk ya da ağaçlardan elde edilen doğal bir yapıya sahiptirler. Plastikleştirme için gliserine daldırılır. Paketleme ve kaplama işlerinde kullanılırlar. Selüloz nitrat en yaygın kullanılan vernik şeklindeki kaplama malzemesidir. Paketleme işlemi ile ısı geçirmez bir film tabakası şeklini alır ve selofen adı ile anılır. Yanıcı bir malzeme olduğu için basınçlı ve enjeksiyonla kalıplamaya uygun değildir. Kokusuz ve tatsız ve kaynak edilebilir bir malzemedir. Bundan dolayı mobilya, çocuk oyuncakları, gözlük çerçevesi vb. yerlerde kullanılır.

Polietilen Tereftalat: Kristalsi yapıya sahip doğrusal bir polyesterdir. Erimiş halde iken ani soğutmalar sonucu amorf yapı elde edilir. Ekstrüzyon ile üretilmiş fiberler ve film halinde üretilirler. Fiber malzemeler halat, filtre gibi özel uygulamalarda kullanılırken film şeklinde üretilenleri conta, konveyör bandı, daktilo şeridi, ev eşyası, kablo kılıfları şeklinde kullanılır.

Naylon: Doğrusal poliamid tipi plastiklerdir. Yüksek mekanik dayanıma, aşınma direncine, üst sıcaklık limitine ve düşük sürtünme direncine sahip oldukları için karakteristik özelliklerine göre kullanılırlar. Diğer termoplastiklere göre pahalıdırlar. Aşınma dirençli kablo kılıfları, basınçlı hortumlar, konveyör kayışları ve yağa dirençli şişelerin üretimlerinde kullanılırlar. Naylon malzemesinin içine cam fiber eklenerek ısı dayanım ve mekanik dayanım artırılabilir.

Polikarbonatlar: Bu plastikler polyester grubundadırlar. Darbe dirençleri ve boyutsal kararlılıkları diğer termoplastiklere göre yüksektir. Işık geçirgenlikleri vardır ve açık hava koşullarına dayanıklıdırlar. İçerisine renk pigmentleri katılarak istenilen renkte ürün üretilir. Aydınlatma kapakları, baretler, bebek biberonları gibi ürünlerin üretiminde kullanılır.

Poliasetaller: Toz halinde bulunan bu malzeme ısı plastiklerin üretim yöntemleriyle ürün elde edilir. Yorulma, dielektrik özellikleri iyi ve mükemmel bir yalıtım özelliği vardır. Sürtünme

katsayısı çok düşüktür. Kapı tokmakları, dişli yatakları, dişliler ve yaylar gibi ürünlerin imalatında kullanılır (Evcin, 2017; <https://www.pagev.org/elastomerler>).

Aşağıdaki çizelgelerde yaygın olarak kullanılan termoplastik reçinelerin ergime sıcaklıkları, çalışma sıcaklıkları ve mekanik özellikleri görünmektedir. Çizelge 2.1’de termoplastik reçinelerin ergime ve işlem sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Termoplastik reçinelerin ergime ve işlem sıcaklıkları (Zor, 2018).

Malzeme	Ergime sıcaklık aralığı (C)	Maksimum işlem sıcaklığı (C)
Poli-propilen (PP)	160-190	110
Poli-Amid (PA)	220-270	170
Poli-Eter-Sülfon (PES)	-	180
Poli-Eter-İmid (PEI)	-	170
Poli-Amid-İmid (PAI)	-	230
Poli-Phenilen-Sulfid (PPS)	290-340	240
Poli-Eter-Eter-Keton (PEEK)	390	250

Aşağıdaki Çizelge 2.2’de termoplastik malzemelerin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. 2. Termoplastik malzemelerin teknik özellikleri (Zor, 2018).

Malzeme Adı	Öz Kütle g/cm ³	Çekme Muk. MPa	Elastik Mod. MPa	Sıcaklık Sınırı °C
Poli-Etilen (PE) (Düşük Yoğunluk)	0.92-0.93	7-17	105-280	80
Poli-Etilen (PE) (Yüksek Yoğunluk)	0.95-0.96	20-37	420-1260	100
Poli-Vinil-Klorür (PVC)	1.50-1.58	40-60	2800-4200	110
Poli-Propilen (PP)	0.90-0.91	50-70	1120-1500	105
Poli-Stiren (PS)	1.08-1.10	35-68	2660-3150	85
Akronitril-Butadien-Streyn (ABS)	1.05-1.07	42-50	-	75
Poli-Met-Metha-Arkilik (PMMA)	1.11-1.20	50-90	2450-3150	125
Poli-Tetra-Flor-Etilen (PTFE) (Teflon)	2.10-2.30	17-28	420-560	120
Poli-Amids (PA) Naylon 6.6	1.06-1.15	60-100	2000-3500	82

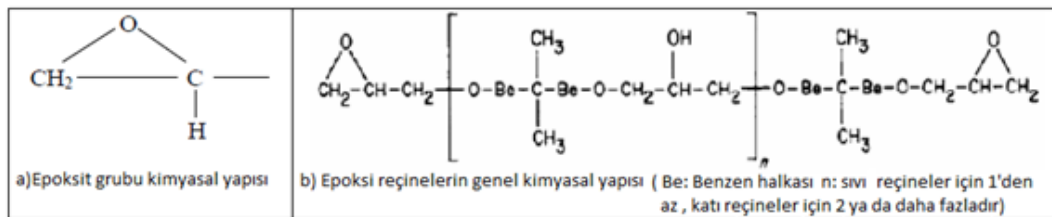
Termosetler: Termosetler kritik bir sıcaklığın üzerinde sertleşen ve tekrar eski halini alamayan polimerler olarak bilinirler. İçerisine katılan katalizör malzemeleriyle reaksiyona

girerek çözüne bilen ve eriye bilen reçine malzemesini çözünemez ve eriyemez hale getiren bir yapıya dönüştüren olay moleküller arasında oluşan kovalent bağlardır. Darbe dirençleri ve boyutsal dayanımları yüksek bir yapıdadırlar. Termosetler polimerize şeklinde üreticiye verilmezler, bunun yerine reçine katalizör malzemeleriyle birlikte verilir ve üretici bu malzemeleri ürün üreteceği zaman karıştırır. Termoset plastikler yüksek sıcaklıklarda yapılarında bozunma yaşarlar. Bundan dolayı termoplastikler gibi tekrar kullanılamazlar, bu da istenmeyen bir özelliktir. Termosetlerin avantajları dezavantajlarından fazla olduğu için özellikle mühendislik tasarımlarında tercih edilirler.

Termoset çeşitleri:

1. Epoksi reçineler
2. Polyester reçineler
3. Fenolik reçineler
4. Amino reçineler
5. Poliüretan reçineler
6. Silikon reçineler

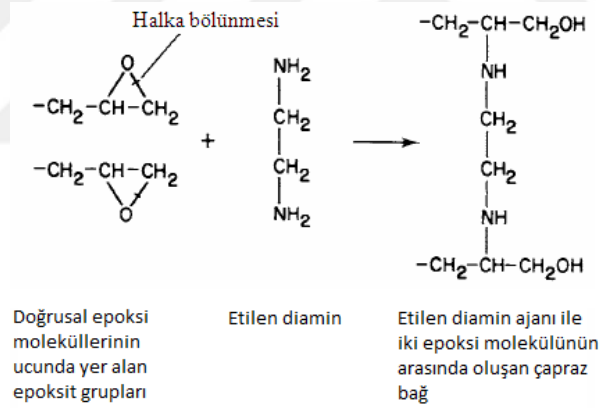
Epoksi Reçineler: Temel olarak polietilerlerdir fakat içlerinde taşıdıkları epoksi grubundan dolayı bu isimle anılırlar. Epoksi reçineler hem sertleşmemiş termoplastik baz reçineleri hem de çapraz bağ oluşturmuş sertleşmiş termoset plastikleri kapsarlar. 1930'lu yıllarda reçine ürünü olarak Bifenol A ve Epiklorhidrinin bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilmişlerdir. 1950 yıllarından sonra yeni tip epoksi reçineler üretilmiştir. Her molekülü iki ya da daha fazla epoksit grubu tarafından karakterize edilerek epoksi reçineler oluşturulur. Tüm polimerler düşük sıcaklıklarda saydam haldeyken yüksek sıcaklıklarda kauçuk bir yapıya sahip olurlar. Geçişin olduğu sıcaklık aralığına "Camsı geçiş sıcaklığı" denir. Camsı geçiş sıcaklığı maksimum çalışma sıcaklığının belirlenmesinde bir ölçüttür. Uygun katalizörlerle 150-250 C aralığında uygulanacak bir işlemle maksimum çalışma sıcaklığı arttırılmış olur. Epoksit grubunun kimyasal yapısı ve epoksi reçinelerin genel kimyasal bileşenleri aşağıdaki Şekil 2.4. de verilmiştir.



Şekil 2.4. Epoksi reçinelerin genel kimyasal bileşenleri (Chung, 1994).

Yüksek mekanik dayanıma, dielektrik direncine, kimyasal dirence, boyutsal karalılığa ve ısı dirence sahip olan epoksi reçineler katı ve sıvı olarak piyasaya verilmektedir. Üreticiye göre özelliklerde değişim olabilmektedir. Epoksi reçineler oda ya da yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girerek son hallerini alır. Bunu da reçinenin içine girmiş katalizör ve/veya çapraz bağlı ajan dediğimiz katkı maddeleri sağlamaktadır. Hidroksil grupları (-OH) ve epoksi reaksiyon merkezidir. Aldehitler, aminler ve anhidritler kondensasyon ürünü olarak kullanılırlar. Oda sıcaklıklarında epoksinin olgunlaşması için gerekli ısıyı aminlerin bir çeşidi olan dietilen triamin ve trietilen tetramin de kullanılır. Reaksiyon sırasında halka bölünmesi de olarak adlandırılan epoksi halkaları açılarak, amin grubundan ya da hidroksil grubundan bir hidrojen alarak epoksit grubunun oksijen atomlarıyla tepkimeye girerek çapraz bağ oluşturur (Chung, 1994).

Epoksi gruplarında çapraz bağ oluşturmak için kullanılan ajanlardan biriside etilen diamindir. Üretim sırasında yan ürün oluşmadığı için fire çok azdır. Epoksi ile etilen diaminin çapraz bağ oluşumu Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Epoksit gruplarında etilen diamin kullanılarak çapraz bağ oluşturma (Chung, 1994).

Olgunlaşmamış sıvı haldeki epoksi reçinelerin molekül ağırlıklarının düşük olması ve akıcılığının iyi olması sonucu takviye elemanını iyi bir şekilde ıslatmasını ve hızlı bir şekilde sarmasına olanak sağlar. Aynı zamanda kaplanacak takviye malzemesine de iyi bir yapışma sağlarlar. Epoksi reçineler birçok fiber çeşidi ile iyi bir bağ oluşturma bilirler ve bu sayede istenen özelliklerde kompozit ürün üretilebilir. Olgunlaşma sırasında aminler ile yüksek sıcaklıklarda girdiği tepkimeler sonucu çok iyi çapraz bağlar kurarak kimyasal direnci, dayanımı ve sertliği yüksek ürün elde edilebilir. Donma ve sertleşme sırasında büzülme değerleri çok azdır. Epoksiler daha kırılğan bir yapıya sahiptirler (Evcin, 2017; Chung, 1994; Şahin, 2006; Arıcasoy, 2006; Ersoy, 2001, Akdoğan Eker, 2008).

Polyesterler reçineler: İlk olarak 1847 yılında Berzelius'un daha sonra 1883 yılında Pelouze ve Gay-Lussac'ın çalışmalarında görülen polyester reçineler günümüzde güçlendirilmiş plastiklerde kullanılmaktadır. Polyester reçineler doymuş ve doymamış diye iki kategoriye ayrılırlar. Doymuş polyesterler, etilen tereftalat gibi molekül yapısında aromatik olmayan doymuş bir reçinedir. Bu reçineler termoplastik reçineler grubuna girmektedir. İplik şeklinde ya da film tabakası şeklinde üretilirler. Doymamış polyesterler ise içerisinde aromatik olmayan doymamış bağ içeren polyester çeşididir. Çapraz bağları oluşturmak için reaktif bağlayıcılar kullanılarak elde edilen termoset plastiklerdir. Ellis'in 1930 yıllarında kombinasyon fikrini kullanarak glikollerin malerik anhidrid ile reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkan doymamış polyester reçinelerin içerisine peroksit bir katalizör eklenmesiyle donmasını tamamlayana kadar bozulmadan kalabileceğini bulmuştur. Ellis yapmış olduğu diğer bir çalışmada ise doymamış polyesterin içerisine vinil asetat, stiren ve alkadi gibi reaktif monomerler ekleyerek katalizöründe ilave edilmesiyle birlikte reçinenin uygulama kolaylığın da faydalı olduğunu görmüştür. Polimerler, birden fazla türe sahip moleküllerden oluşan maddelerdir. Her makro molekül yapısının içerisinde iki monomere ait birimler bulunmaktadır. Bu tür polimerler, kopolimer olarak adlandırılırlar. Yapılan sentezlemeye ise kopolimerizasyon denir. Sertleşmeden önce doymamış polyester molekülleri uzun molekül zincirleri halinde bulunurlar. Polyester matris ve takviye lifi olmak üzere iki ana bileşenden oluşurlar.

Eklene katkı maddeleri ise kompozit maddesinin özelliklerini ve karakteristiklerini belirlemek için kullanılır. Takviye malzemesi olarak en çok cam, karbon ve aramid elyafları kullanılır. Polyester reçineler geleneksel plastikler ile uzman mühendislik plastikleri arasındaki boşluğu doldurur. Polyester reçine sıvı haldeyken takviye malzemesi ve katkı maddeleri eklenerek üretim yapılmaktadır. En çok kullanılan üretim yöntemleri ise el yatırma ve püskürtme yöntemleridir. Diğer yöntemler ise Pultrüzyon, Filament Sarım, Dökme Kalıp (BMC ve DMC) olarak gösterilebilir.

Çoğunlukla kompozit üretimi için kullanılan polyester reçineleri havacılık, ulaştırma ve inşaat sektörlerinde kullanılmaktadırlar. Makineleşmenin ve otomasyonun artması ile polyester reçineler hazırlanan kalıplar sayesinde karışık parça üretimi içinde kullanılmaktadır. Tasarımcıların hayal güçleriyle doğru orantılı olarak çok farklı ürün üretmek mümkündür. Doymamış polyester reçineler kullanılan reçine pazarının yaklaşık olarak %75 ini sağlamaktadır ve yıllık 30 milyar dolarlık bir pazar hacmine sahiptir. (Evcin, 2017; Arıcasoy, 2006; <http://www.turkchem.net/polyester-recinesi-kullanim-alanlari.html>, Dholakiya, 2017; <http://tr.unsaturatedpolyesterresins.com/info/general-characteristics-of-unsaturated-polyest->

23876271.html). Epoksi ve polyester reçinelerin bazı özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Epoksi ve polyester malzemelerinin özellikleri (Zor, 2018).

Özellik	Epoksi	Polyester
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.1 – 1.2	1.1 – 1.4
Çekme Mod. (GPa)	2 – 5	1.2 – 4
Kayma Mod. (GPa)	1.5	1 – 2
Çekme Muk. (MPa)	55 - 120	45 – 95
Basma Muk. (MPa)	-	140 – 90
Poisson Oranı	0.25 – 0.39	0.35 – 0.36
Kopma Uzaması (%)	1.5 – 8.5	2 - 6

Fenolik reçineler: İlk kez 1872 yılında Beekeland tarafından bazik ortamda sentezlenen formaldehit ve fenol reçineler bakalit olarak ta bilinirler. Farklı dolgu maddeleriyle birleştirilen fenolik reçineler ile kalıplama için kompozit bileşenleri oluşturulur. Fenolik reçineler yüksek ateş dayanımına, suya ve birçok aside karşı dayanıma sahip ve düşük maliyetli reçinelerdir. Yaş halde sağlığa zararlı, kırılma derecesi fazla ve yüzey kalitesinin düşük olması dezavantajlarındandır. Gözenek oluşumunu engellemek için yüksek kalıplama basınçlarına ihtiyaç vardır. Toz ve sıvı halde piyasaya sunulmaktadır. Kontrol plaklarının izolasyonunda, tekerleklerin aşınan yerlerinin tamirinde, elektrikli aletlerin tellenmesinde, fren balatalarında bağlayıcı olarak ve telefon nakil sistemlerinde bağlayıcı ve kapayıcı olarak kullanılmaktadırlar (Zor, 2018).

Amino reçineler: Üre ve Melaminin Formaldehidle yapmış olduğu yoğunlaşma sonucu elde edilen reçine en önemli amino reçinesidir. Oda sıcaklığında katı ve sıvı olarak buluna bilirler. Katalizör ve ısı yardımıyla mukavim, sert, aşınma dayanımı yüksek bir malzeme elde edilebilir. Amino reçineler ayrıca yük altında şekil değişimi düşük, elektrik yalıtkanlığı iyi, yiyeceklere koku vermeyen ve ateşe karşı dayanımları fazladır. Ağaç yapıştırıcısı olarak kaplamalarda ve düğme, tabak, elektrik parçalarının üretiminde kullanılırlar (Zor, 2018).

Poliüretan reçineler: Üretan polimerlerin –NHCOO- grubu izosiyanat ve glikol reaksiyonları sonucu oluşurlar. Polimer zincirinde bulunan fazla izosiyanat grupları kaboksilik asitle ya da su ile tepkimeye girerek karbondioksit çıkışına, ortamda oluşan basınç ile de polimerde köpük oluşumuna ve çapraz bağlanma reaksiyonuna etki ederler. Üretan köpüklerin esnek veya rijit bir yapıya sahip olması polimerin ve oluşan çapraz bağın cinsine göre

değişmektedir. Kullanılan polimer ve çapraz bağların oluşumuna müdahale edilerek istenen özelliklerde ürün elde edilebilir (Zor, 2018; Evcin, 2017).

Silikon reçineler: Silanoların yoğuşması sonucu oluşan silikon bazlı polimerlerdir. Silisyum, oksijen ve farklı hidrokarbonlar içeren sentetik polimerlerden birisidir. Çapraz bağlara sahiptirler ancak mekanik özellikleri oldukça düşüktür. Korozyona, suya ve 250 C ye kadar ısıya dayanımı oldukça iyidir. Kayganlaştırıcı sıvı, kalıp ayırma sıvısı cila, yağ ve laminatlarda kullanılmaktadırlar (Zor, 2018; Evcin, 2017).

2.1.2. Takviye elemanı

İstenen özellikleri sağlamak için matris içine yerleştirilen elemandır. Takviye elemanı kompozit malzemenin mekanik dayanımını arttırmakla görevlidir. Takviye elemanının mekanik dayanımı matris elemanından büyük olmak zorundadır. Takviye elemanı olarak çeşitli boylarda elyaflar, kılcal kristaller, parçacıklı seramikler kullanılmaktadır.

Hafiflik, mekanik dayanım gibi özellikleri için birçok yapıda metallerin yerine kullanılmaya başlanan polimer matrisli kompozitler estetik görünüm, canlı dokusuna uyumu gibi özellikleriyle kullanım sektörünü arttırmıştır. Polimer matrisli kompozitleri, parçacık dolgulı kompozitler ve sürekli elyaf dolgulı kompozitler diye iki ana grupta inceleyebiliriz. Özellikle sürekli elyaf takviyeli polimer kompozitler yüksek performans istenen alanlarda kullanımı giderek artmaktadır.

Sürekli elyaf takviyeli kompozitler ince elyaf takviye elemanının matris içerisinde yer almasıyla oluşan bir kompozit çeşididir. Elyafların yerleşimi kompozit malzemesinin mukavemetini doğrudan etkileyen bir unsurdur. Kullanılan elyafların uzunluk/çap oranı büyüdükçe matris tarafından elyafa iletilen yük miktarında artmakta bu da kompozit malzemenin daha mukavim olmasını sağlamaktadır. Elyaflarla aynı doğrultuda uygulanan kuvvetlere karşı yüksek mukavemet değerleri sağlanırken elyaflara dik doğrultularda bu değerler düşmektedir. Katman sayısı arttıkça mukavemet değerlerinde iyileşme görülmektedir. İki yönlü mukavemet değeri istenen yapılarda matris içerisine yerleştirilen elyaflar iki yönlü olarak yerleştirilirler. Böylelikle her iki yönde de istenen mukavemet değerlerine ulaşılmış olunur.

Doğal ve sentetik olmak üzere iki ana grupta incelemek mümkündür. Ancak günümüzde doğal elyaflar istenen özellikleri tam olarak sağlayamadıkları ve yeteri kadar bulunamadıklarından yerlerini sentetik elyaflara bırakmışlardır. Sentetik elyaflar ise kendi aralarında sentetik organik elyaflar ve sentetik inorganik olarak ikiye ayrılmaktadır. Sentetik organik elyaflar düşük yoğunluklu ve güçlü elyaflardır. Naylon ve aramid örnek olarak verilebilir.

Sentetik inorganik elyaflar ise başta cam, karbon, kevlar ve boron gibi elyaflardır. Bunların dışında kullanımı olan diğer elyaf türleri ise Oksit elyaflar, yüksek yoğunluklu polietilen elyaflar, poliamid elyaflar, polipropilen elyaflardır.

Elyaf takviyeli polimer kompozitlerde en çok kullanılan takviye elemanları, cam lifi, karbon lifi ve kevlar tipi elyaflardır. Cam elyaflar kullanılan en eski elyaf türüdür. Karbon, bor, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise istenilen özellikleri elde etmek için sonradan kullanılmaya başlanmış elyaf türleridir. Bu elyafların da kullanımı giderek artmaktadır (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2008).

Cam elyaflar

Cam elyaflar silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyaflar genel olarak özellikleri, yüksek çekme mukavemetine sahip (birim ağırlık başına düşen mukavemet çeliğinkinden daha yüksektir), ısı direnci düşük, kimyasallara karşı dirençli, nem absorbe özelliği yoktur (matris ile elyaf arasında boşluk var ise oluşacak nem ile ayrışma olabilir, özel kapla yöntemiyle bu etki yok edilebilir) ve elektrik iletkenliği yoktur. Cam elyafları kompozit üretiminde en çok kullanılan takviye elemanıdır. Cam elyafları üretildikten sonra suyla çözüle bilen polimer bir malzemeyle kaplanarak yıpranmaya karşı dayanımı artırılır (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2008).

Cam elyaf tiplerini dört ana grupta inceleyebiliriz (Akdoğan Eker, 2008).

1. Alkali (A) Camı: Yüksek oranda alkali içerdiklerinden elektriksel yalıtkanlığı kötü, kimyasal direnci yüksek ve en yaygın cam tipidir.
2. Korozyon (C) Camı: Kimyasal çözülmelere direnci çok yüksektir.
3. Elektrik (E) Camı: Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer camlara oranla çok daha iyidir. Mukavemeti yüksek ve suya karşı direnci de iyidir. Nemli ortamlarda kullanılan kompozitlerde kullanılan cam elyaf tipidir.
4. Mukavemet (S, R) Camı: Yüksek mukavemetli bir camdır. Yüksek sıcaklıklarda yorulma direnci oldukça iyidir.

Cam elyaflar genellikle plastik ve epoksi reçineler ile birlikte kullanılırlar. Cam elyaflarının bazı özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Cam elyafların özellikleri (Akdoğan Eker, 2008).

Özellik	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.5	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme Muk. (MPa)	3030.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl Genleşme Katsayısı (m/m/Cx10 ⁻⁶)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katkı malzemeleri				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ ,Fe ₂ O ₃	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na ₂ O,K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3

Bor elyaflar

Çekirdek denilen bir flamanın üzerine bor kaplanarak üretilirler. Çekirdek olarak çoğunlukla Tungsten ve Wolfram elementleri kullanılır. Yakın zamanlarda çekirdek olarak karbon da kullanılmaya başlanmıştır. Bor elyaflar iki malzemenin birleşiminden oluştuğundan kendi başına kompozit bir malzemedir. Bor elyaflar yüksek elastik modüle ve mukavemete sahiptirler. Elastik modülü S Camının elastik modülünden beş kat daha fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olmalarından özellikle uçak yapılarında kullanımı fazladır. Ancak üretim maliyetlerinden dolayı yerini karbon elyaflara bırakmışlardır. Yüksek sıcaklıklara dayanımı arttırmak için bor elyafları silisyum karbür (SiC) veya bor karbür (B₄C) ile kaplanarak erime sıcaklıkları 2040 °C kadar çıkar. Çekme mukavemetini artırmak için ise özellikle bor karbür kaplaması yapılır (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2008). Çizelge 2.5. de farklı bor elyafların mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Çeşitli bor elyaflarının mekanik özellikleri (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2008).

Özellik	Bor	Bor + B ₄ C	SiC
Yoğunluk r (g/cm ³)	2,6	2,6	3
Çap (mm)	100-150	100-150	100-150
Elastiklik Modülü E (GPa)	430	430	410
Spesifik Modül E/r (MNm/kg)	165	165	140
Çekme Dayanım R _m (MPa)	3800	4000	3900
Spesifik Dayanım R _m /r (kNm/kg)	1460	1540	1300

Silisyum karbür elyaflar

Silisyum karbürün tungsten çekirdeğinin üzerine kaplanması ile elde edilirler. Yüksek sıcaklıklardaki dayanımı bor elyaflarına göre daha iyidir. Silisyum karbür elyafların yoğunlukları bor elyaflarına göre daha yüksektir. Silisyum karbür elyaflar genellikle titanyum matrislerinde kullanılırlar. Çekirdek malzemesi olarak karbon kullanıldığında Silisyum karbür elyafların yoğunluğundan daha düşük olur. Jet motoru parçaları gibi özel parçalarda ise titanyum, alüminyum ve vanadyum alaşımlı matrislerde kullanılırlar (Akdoğan Eker, 2008).

Alümina elyaflar

Silisyum dioksit (SiO_2)'in 0,02 mm çapındaki alümina flamasını kaplanmasıyla elde edilirler. Alümina oksitlerin basma dayanımları çekme dayanımlarına göre oldukça fazladır. Aynı zamanda sıcaklık dayanımlarının yüksek olması bu elyafların uçak motorlarında kullanılmalarında tercih sebeplerinden biridir (Akdoğan Eker, 2008).

Aramid elyaflar

Aromatik polyamidler, daha çok Aramid olarak bilinirler. Bu tür polyamidler uzun zincirlere sahip polimerlerdir. Kevlar 29 ve Kevlar 49 en çok kullanılan aramid çeşididir. Grafit elyaflar gibi elyaf eksenini yönünde mekanik özellikleri iyi olmasına karşın elyaf eksenine dik yönlerde oldukça düşüktür. Bu tür elyaflar ucuz olmasının yanında yüksek çekme mukavemetine, yüksek darbe direncine, yüksek aşınma direncine ve en çok istenen düşük yoğunluğa da sahiptirler. Aramid elyaflı kompozitler cam elyaflı kompozitlere göre yaklaşık %35 daha hafiftirler. Grafit elyaflarına göre daha iyi şekil verilebilir bunun nedeni de gevrekliğinin daha düşük olmasıdır. Asit ve alkali kimyasallara direnci düşük olmasına karşın doğal kimyasallara karşı dirençlidir. Bazı aramid elyaf türleri ultraviyole ışınlarına karşı duyarlı olduklarından karanlık ortamlarda muhafaza edilmelidirler. Matris malzemesi ile birleşimi sırasında tam ıslanma olmaya bilir bu da malzemede mikro çatlaklara neden olarak su emilimine neden olabilir. Koruyucu giysiler, yelken direkleri, uçak gövde parçaları, tekne gövdesi, otomotiv sektörü, fren sistemlerinde ve yüksek ısı ve basınçlı kaplarda conta vb. gibi ürünlerde kullanılmaktadırlar. Aşağıdaki tabloda aramid filamaların çeşitleri ve epoksi matris ile oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri verilmiştir (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2008). Epoksi matrisli Aramid elyaf takviyeli kompozit malzemelerinin mekanik özellikleri Çizelge 2.6 da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Epoksi matrisli Aramid elyafli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri (Akdoğan Eker, 2008).

Özellik	Kevlar 29	Kevlar 49	Kevlar 149	Twaron	Technora
Yoğunluk, ρ (g/cm ³)	1,44	1,45	1,47	1,44	1,39
Çap, (mm)	12	12	12	12	12
Elastiklik Modülü, E (GPa)	60	120	160	60	90
Spesifik Modül, Ef/r (MNm/kg)	42	82	110	42	65
Çekme Dayanımı, Rm (MPa)	3000	3000	2400	2600	2800
Spesifik Dayanım, Rm/r (kNm/kg)	2080	2070	1630	1800	2010
Maksimum Uzama, %	3,6	1,9	1,5	3	4

Polietilen elyaflar

Kimyasal olarak kararlı bir yapıya sahip olan polietilen elyafları film ve tabaka halinde üretilirler. Kolay şekil alabilir. Yüksek sıcaklıklarda kimyasal direncin düşmesi ve yumuşaması bir dezavantajdır (Turhan, 2011; Tanoğlu ve Toğulga, 2003).

Polipropilen elyaflar

Tabaka halinde üretilip kullanılan elyaf çeşididir. Dayanımları yüksek ve ucuz olmasından dolayı takviye malzemesi olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Güneş ışınlarından, alkalilerden ve hava koşullarından etkilenmezler. Özellikle inşaat sektöründe beton ve harç takviyesi olarak kullanılırlar (Turhan, 2011; Tanoğlu ve Toğulga, 2003).

Karbon- grafit elyaflar

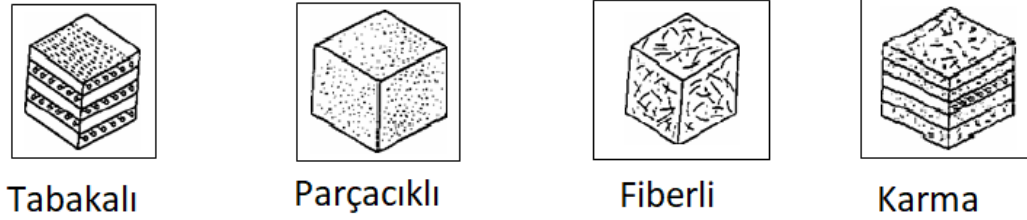
Ayrı bir bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

2.1.3. Katkı maddeleri

Katkı malzemelerinin ilk amacı matris ve takviye malzemelerinin iyi bir şekilde birleşmesini sağlamaktır. Matris malzemesi ve takviye malzemesi arasında herhangi bir kimyasal ve fiziksel bağ olmadığından katkı maddeleri bu bağı oluşturmak için kompozit malzemelerine katılmaktadırlar. Matris malzemesinin taşıyıcı malzemesini sarması ve mevcut durumunu koruması için matris malzemesinin içine dondurucu ve hızlandırıcı adı verilen katkı maddeleri ilave edilir.

2.2. Kompozit Malzemelerin Yapısal Olarak Sınıflandırılması

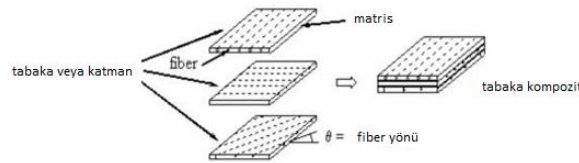
Kompozit malzemeleri takviye elemanına göre dört farklı grupta yapısal olarak inceleyebiliriz. Bunlar tabakalı, parçacıklı, fiberli ve karma kompozitlerdir. Şekil 2.6'da kompozit malzemelerin yapısal olarak gruplandırılmasının görselleri mevcuttur.



Şekil 2.6. Kompozit malzemelerin yapısal olarak gruplandırılması (Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011).

2.2.1. Tabakalı kompozitler

Her bir tabakadaki fiberlerin farklı yönde olması ve daha sonra bu tabakaların birleştirilmesiyle oluşan bir kompozit çeşididir. Tabakalı kompozitlerin mukavemeti yüksek ve neme dayanımı fazladır. Hafif olmaları ve mukavim olmaları metallere göre tercih sebebidir. Özellikle sürekli tabakalı kompozitler uçak yapılarının kanat ve kuyruk bölümlerinin yüzey kaplamalarında kullanılırlar. Uçakların ızalasyon gerektiren yük taşımayacak bölümlerinde kullanılan sandviç yapılarında da tabakalı kompozitler kullanılır (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Tolun, 2008). Şekil 2.7. de tabakalı kompozit örneği verilmiştir.

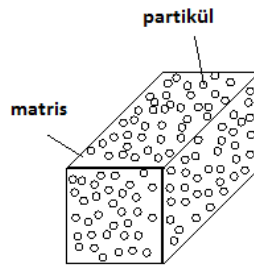


Şekil 2.7. Tabakalı kompozitler (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019).

2.2.2. Parçacıklı kompozitler

Takviye malzemesinin matris içinde küçük parçacıklar halinde bulunmasıyla üretilen bir kompozit çeşididir. Parçacıkların dağılım şekline bağlı olarak tüm yönlerde aynı malzeme davranışını sergilerler. Matris içinde bulunan parçacıkların sertliği kompozitin mukavemetini doğrudan etkilemektedir. Motor parçalarında kullanılan metal matris içine yerleştirilmiş seramik

takviyesiyle üretilen parçacıklı kompozitlerin hem sıcak dayanımı hem de sertliği yüksektir. Bir diğer yaygın kullanımı ise polimer matris içine yerleştirilen metal takviyesidir. Metal takviyesi elektrik ve ısı iletkenliğini sağlar. Kullanılan parçacık boyutunun büyüklüğüne göre farklı isimler alabilirler. Parçacıkların boyutu nanometre büyüklüğünde ise kompozitin ismi nanokompozit olarak anılmaktadır (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Tolun, 2008). Parçacıklı kompozitlerin görünümü Şekil 2.8’de verilmiştir.

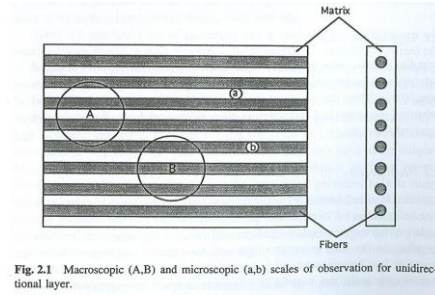


Şekil 2.8. Parçacıklı kompozitler (Zor, 2018).

2.2.3. Fiber kompozitler

Matris içine fiber takviyesinin yerleştirilmesiyle elde edilen kompozit çeşididir. Matris içine yerleştirilen fiberlerin yerleştirme şekilleri kompozit malzemenin mukavemetini etkileyen en önemli etkidir. Matris malzemesi içerisine paralel ve uzun bir şekilde yerleştirilmiş fiberler ile fiberlerle aynı doğrultuda yapılan testlerde yüksek mukavemet değerlerine ulaşılırken, fiberlere dik doğrultuda yapılan testlerde oldukça düşük mukavemetler elde edilmiştir. Fiber kompozit malzemesinin kullanım amacına ve istenilen yöndeki mukavemet değerine göre takviye fiberi matris içerisine yerleştirilir. Her iki yönde de yüksek mukavemet değeri isteniyorsa takviye fiberi iki yönlü olarak matris içine yerleştirilir. Takviye fiberlerinin kısa ve iki yönlü yerleştirilmesiyle izotrop bir yapı oluşturularak istenilen özelliklerdeki kompozit malzeme üretilir. Fiber takviyeli kompozitler günümüzde en yaygın ve en çok kullanılan kompozit çeşitlerindedir. Fiber kompozitler de takviye malzemesinin cinsi, yerleştirme şekli ve matris reçine özellikleri ile oluşan yeni malzemenin ısıl, kimyasal ve mekanik özelliklerinin gelişmesi ile birlikte çok fazla sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Fiber kompozit malzemelerin uzun ömürlü olması, bakım-onarımının kolay ve ucuz olması farklı sektörlerde kullanılmasının nedenlerinden birisidir. Ayrıca fiber kompozit ürün imalatı sırasında malzemeye şekil verilirken aynı zamanda istenen üründe elde edilir. Diğer üretim yöntemlerinin çoğunda malzemeye şekil verildikten sonra ürün elde etmek için başka aşamalardan geçirilmesi gerekmektedir. Bu da fiber

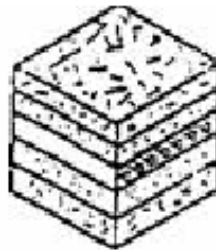
kompozit malzemelerin talep edilme nedenlerinden birisidir. Kompozit malzemelere olan talebin artması ile üretimi de artmış bu da üretim maliyetlerini düşürmüştür (<http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/05/Kompozitin-Tarihi.pdf>; Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Tolun, 2008). Fiber kompozitlerin görünümü ve içeriği Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Fiber kompozitler (Zor, 2018).

2.2.4. Karma kompozitler

İstenilen özelliklerin tam anlamıyla sağlanması için matris içerisinde kullanılan takviye fiber malzemenin iki ya da daha fazla kullanılmasıyla elde edilen kompozitlerdir. Yeni tip kompozit olarak da bilinen karma kompozitler günümüzde giderek yaygınlaşan kompozit çeşididir. Karma kompozitlerin kullanılmasının en önemli nedenlerinden biriside maliyeti düşürmektir. Örneğin, grafit pahalı, yüksek basma dayanımına ve düşük tokluğa sahip bir fiber malzemedir. Kevlar ise basma dayanımı düşük, yüksek tokluğa sahip fakat ucuz bir malzemedir. Bu iki fiber malzemesinin matrisin içinde takviye elemanı olarak kullanılmasıyla elde edilen karma kompozit grafit ve kevlar fiberli kompozitin iyi özelliklerini alarak basma dayanımı daha iyi, tok bir malzeme ve maliyeti düşük bir kompozit elde edilmiş olur (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Tolun, 2008). Aşağıdaki Şekil 2.10'da karma kompozit görünümü verilmiştir.



Şekil 2.10. Karma kompozitler (Zor, 2018).

2.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

2.3.1. Kompozit malzemelerin avantajları

Ağırlık: Metaller ve takviyesiz plastiklere göre birim alan ağırlıklarına göre yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler.

Mukavemet: Kompoziti oluşturan malzemelere göre yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler.

Beton yüzeylere uygulama imkânı: Kompozitin içinde bulunan polyester reçinesi betonun gözeneklerinden içeri girip donup sertleşmesi ile betona çok iyi bir yapışma sağlar.

Ahşap yüzeylere uygulama imkânı: Kompozit malzemenin ahşap yüzeyine iyi bir şekilde yapışması için ahşap yüzeyinin kuru olması gereklidir. Özellikle stiren içeren polyester reçine ahşap yüzeye iyi bir şekilde uygulanıp yüzeye emdirilmesi gereklidir.

Demir yüzeylere uygulama imkânı: Demir ve alaşımlarının kompozit ile kaplanması için malzeme üzerinde bulunan oksitlenmelerin ve yağ tabakalarının çok iyi temizlenmesi gereklidir. Kompozit tabakayla kaplanmış demir ve alaşımlarının korozyon dirençleri oldukça yüksektir.

Yanmazlık özelliği: Kullanılan polyesterin özelliğine göre kompozit malzemelerin alev dayanımları arttırıla bilir.

Sıcaklık dayanımı: Termoset plastik grubunda yer alan polyester reçine cinsine göre yapılan kompozitler sıcaklık etkisiyle yumuşamaz ve şekil değişikliğine uğramazlar. Kullanılan polyester reçinesine göre de ısı dayanım değerleri değişmektedir.

Tamir edilebilirlik: Kompozit malzemeler ahşap malzemeler gibi kolayca delme, kesme ve zımparalama gibi şekillendirme işlemleri yapıla bilir. Bu işlemleri yaparken kullanılan aletlerin sert çelik ya da elmas uçlu olması daha iyi sonuçlar verir. Kompozit malzemelerde meydana gelen hasarlar bölgesel olarak tamir edile bilir. İyi bir işçilik ile birlikte hasarlı bölge görünmeye bilir.

Tasarım esnekliği: Bir tasarımcının aklına gelebilecek her şeyi kompozit ile üretmek mümkündür.

Dielektrik direnci: Kullanılan kompozit bileşenlerine göre elektrik yalıtım özellikleri oldukça iyidir bundan dolayı tercih sebebidir.

Kalıplama kolaylığı: Özellikle metaller ve alaşımlarına göre karmaşık ve birçok elemandan oluşan parçaları kalıplama yöntemi kullanılarak tek seferde üretiler.

Renklendirme: Kullanım yeri ve amacına göre özellikle dekoratif amaçlı kullanılan kompozitlerde polyester reçinelerinin içine karıştırılan renk pigmentleri ile üretim aşamasında istenilen renklerde kompozit elde edilebilir. Şeffaf polyesterler kullanıldığı zaman oluşan kompozitin cam kadar ışık geçirgenliği olur. Şeffaf kompozitler özellikle güneş kolektörleri ve seralarda kullanılır.

Yorulma: kompozit malzemeler üzerinde yapılmış olan deneyler sonucu yorulma ömürlerinin uzun olduğu görülmüştür (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011; Tolun, 2008).

2.3.2. Kompozitlerin dezavantajları

1. Kompozit malzemeyi oluşturan hammaddelerin pahalı olması. Kullanılan hammadde çeşitliliği, üretim miktarı ve üretim yapan firma sayısı arttıkça maliyetlerde azalma olmaya başlamıştır.
2. Metal ve seramik matrisli kompozitlerde üretim aşamaları karışık ve zordur.
3. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen kompozitlerde yapı içinde boşluklar oluşabilmektedir. İnfiltrasyon tekniği ile bu boşluklar doldurula bilmektedir ancak buda ek maliyetler getirmektedir.
4. Özellikle plastik matrisli kompozit üretiminde meydana gelen duman ve oksitlenme sonucunda çalışanlarda cilt hastalıklarına ve zamanla iç hastalıklara neden olabilmektedir. Bundan dolayı üretim yapılan yerlerde çok iyi havalandırma ve çalışanların iş güvenliği ekipmanlarını kullanmalarına dikkat edilmesi gereklidir.
5. Büyük kapasiteli ve seri üretim yapacak işletmeler için ekipman fiyatları pahalı olabilir.
6. Üretilen kompozit malzemenin her doğrultusundaki mekanik özellikleri farklılık gösterebilir.
7. Kompozit malzeme için standart bir kaliteden söz etmek mümkün değildir. Bunun nedeni üretim yöntemlerindeki farklılıklardır.
8. Kompozit malzemelerin geri dönüşümü metal, plastik ve seramik malzemeler gibi çok fazla değildir. Genelde de kompozit malzemelerin birçoğu geri dönüştürülemez (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011; Tolun, 2008).

2.4. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemedен istenen özellik, kullanım yeri ve amacına göre üretim yöntemleri farklılıklar göstermektedir.

Başlıca üretim yöntemlerini termoplastik ve termoset kompozit üretimi olarak iki grupta toplaya biliriz. Bunun dışında kalıp özelliğine göre de açık kalıplama ve kapalı kalıplama yöntemi olarak da iki grupta toplaya biliriz (Zor, 2018; Akdoğan Eker, 2019; Turhan, 2011).

2.4.1. Termoplastik kompozit üretimi

Termoplastik sürekli fiber kompozit üretim yöntemleri

- Şerit salgı
- Hazır kalıplama
- Oktavlav

Termoplastik kısa fiber kompozit üretimi

- Enjeksiyon kalıplama

2.4.2. Termoset kompozit üretimi

Termoset Sürekli fiber kompozit üretim yöntemleri

- El yatırma
- Reçine transfer kalıplama
- Profil çekme
- Oktavlav
- Elyaf sarma
- Rulo sargı

Termoset kısa fiber kompozit üretimi

- Püskürtme
- Enjeksiyon kalıplama
- Hazır kalıplama pestili
- Hazır kalıplama hamuru

2.4.3. Kalıplama yöntemlerine göre üretim yöntemleri

Açık kalıplama yöntemleri

- El yatırma yöntemi
- Püskürtme yöntemi
- Elyaf sarma yöntemi

- Vakum torbası yöntemi
- Otoklav yöntemi

Kapalı kalıplama yöntemi

- Reçine transfer yöntemi (RTM)
- Profil çekme yöntemi
- Ekstrüzyonla kalıplama yöntemi
- Hazır kalıplama yöntemi

. BMC

. SMC

- Enjeksiyonla kalıplama yöntemi
- Savurma kalıplama yöntemi

Yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

2.4.4. El yatırma yöntemi (Hand lay-Up)

El yatırma yönteminde izlenmesi gereken adımları sıralarsak:

1. Mevcut kalıbın üzerinde bulunan hatalar var ise tamiratının yapılması. Yapılan tamirat kalıp malzemesinin cinsine göre seçilmelidir. Tamirat sonrası kalıpta herhangi bir kırık, çatlak ve hava kabarcığına neden olacak bir yükseltinin olup olmadığı kontrol edilir. (Şekil 2.11a.)
2. Hazır olan kalıbın uygulama yüzeyi temizlenir. Öncelikle kuru sonra nemli daha sonra tekrar kuru bir bezle silinir. Daha sonra aseton ile ıslatılmış bir bez yardımıyla son bir temizleme işlemi yapılır. (Şekil 2.11b.)
3. Hazır hale gelen kalıp üretilecek malzemedan kolay ayrılması için SV6 katı ayırıcı (Katı vaks) sürülür. Katı vaks uygulaması bir süngerle ya da bez ile kalıba tortu kalmayacak şekilde uygulanmalıdır. Daha sonra PVA sıvı ayırıcı (Sıvı vaks) aynı şekilde ince bir tabaka olarak uygulanır. Katı ayırıcılar genelde kalıp ilk kez kullanıldığında, kalıp uzun süre kullanılmadıysa ya da seri üretim için kullanılan kalıplarda belli ürün sayısından sonra sürülür. Sıvı ayırıcı ise her üretimden önce kullanılır. (Şekil 2.11c.)
4. Reçine (Jelkot) hazırlığı yapılır. El yatırma yönteminde fırça tipi reçine kullanılır. Kullanılan reçine yoğunluğu fazla olmasına karşın tek başına donup sertleşmez.

Reçine malzemesinin içerisine Metil Etil Keton Peroksit (MEK-P) ilave ederek donması, donma işleminin hızlı olması için katalizör bir malzeme olan Kobalt kullanılır. El yatırma yöntemlerinde Reçine / MEK-P oranı %0,3-1, Reçine / Kobalt oranı %0,3-1 arasındadır.

5. Hazırlanan reçine (jelkot) kalıp yüzeyine rulo ve/veya fırça yardımıyla uygulanır. Çıkacak üründe elyafların görünmesi istenmiyorsa renkli reçine ya da şeffaf reçine içerisine renk pigmentleri eklenerek uygulama yapılır. (Şekil 2.11d.)
6. Kalıba ilk olarak uygun kesilmiş tül elyaf serilir. Daha sonra ürünün istenen özelliklerine göre keçe, kumaş veya elyaf malzemesi uygulanır. İlk olarak tül elyafların uygulanma nedeni çıkan ürünün yüzeyinin pürüzsüz olmasıdır. (Şekil 2.11e.)
7. İlk reçine katmanının üzerine serilen elyaftan sonra tekrar reçine uygulaması fırça ve rulo yardımıyla yapılır. Reçine uygulandıktan sonra elyafta boşluk oluşmaması ve reçinenin elyafı iyi ıslatıp sarması için çırçır rulo ile tüm kalıp yüzeyinin üzeri taranır. Özellikle girintili çıkıntılı, köşe noktalar çırçır rulo ile yapılmıyorsa fırça yardımıyla bastırılarak reçine elyaf malzemeye yedirilir. Bu işlem her bir elyaf katmanında tekrarlanır. Maliyeti azaltmak için ara yüzeylerde şeffaf reçine kullanılır.
8. İstenilen ürün kalınlığına ulaşıldıktan sonra ürünün kuruması beklenir. Ürünün kuruma ömrü reçine malzemesine eklenen dondurucu ve hızlandırıcı katkı maddelerinin katılma oranına göre ve ortam koşullarına göre değişmektedir. (Şekil 2.11f.)
9. Kalıp üzerinde donup sertleşen ürün mukavim hale geldikten sonra kalıptan çıkartılır. Çıkarılan üründe imalat hatası olup olmadığına bakılarak kontrol edilir. Ürün tek kalıpla üretiliyor ise kullanıma hazırdır. İki ya da daha fazla kalıp ile üretiliyor ise kalıplardan çıkarılan ürünler birleştirilerek kullanıma hazır hale getirilir. (Şekil 2.11g.-h.)

El yatırma yöntemi diğer yöntemlere göre basit ve makine yatırımı olmadığı için ucuzdur. Fakat el işçiliği olduğu için üretilen parça sayısı az ve işçinin hatalı ürün yapma olasılığı vardır. Bunun dışında özellikle reçine için kullanılan katkı madde oranlarının yanlış seçilmesi ile reçinenin elyafa uygulanmadan donması sonucu reçine sarfiyatına ya da reçinenin geç donmasından dolayı zaman kaybına neden olabilir. El yatırma yönteminde kullanılan reçineler çoğunlukla polyester ve epoksi reçinelerdir. Kalıp için kesilmiş elyaf parçalarının yanlış ya da fazla kesilmiş olması elyaf sarfiyatına neden olur.



a) Kalıp tamiri



b) Kalıp temizliği



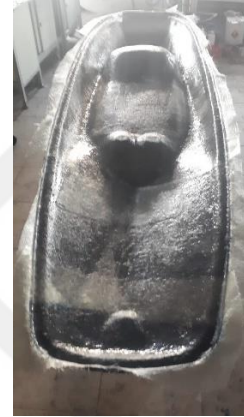
c) Kalıp ayırıcı



d) Reçine uygulaması



e) Elyaf uygulanması



f) Kalıbın donması için bekletilmesi



g) Ürünün kalıptan çıkarılması



h) Parçaların birleştirilmesi

Şekil 2.11. El yatırma yöntemi ile kompozit üretim aşamaları.

2.4.5. Püskürtme yöntemi (Spray-Up)

Püskürtme yöntemi genel olarak el yatırma yöntemine benzemektedir. Bu yöntemde reçine karışımı ve uygulaması el ile değil makine ile yapılmaktadır. Püskürtme yönteminde kullanılan makineler iki çeşittir. Birincisi sadece reçine püskürtmek için kullanılır ikincisi ise hem reçine hem de aynı anda elyafı kırıp püskürtür.

Reçine püskürtme makinesi yönteminde izlenmesi gereken adımları sıralarsak:

1. Kullanılacak kalıba el yatırma yönteminde olduğu gibi gerekli kontroller yapılarak kalıp üretime hazır hale getirilir.
2. Katı ve sıvı ayırıcılar sırasıyla uygulanır.
3. Reçine püskürtme makinesi hazırlanır.
 - a. Reçine püskürme makineleri genel olarak hava ile çalıştığı için (hava tüketimi 400-600 lt/dk, çalışma basıncı 15-30 psi) kompresör bağlantıları yapıp kontrol edilir.
 - b. Makinanın üzerinde bulunan reçine dondurucu ve temizleme için aseton hazneleri kimyasallarla doldurulur.
 - c. Makine için üretilmiş reçinelerin içinde hızlandırıcı mevcuttur. Kullanılan reçine hızlandırıcılı değil ise içine hızlandırıcı eklenerek iyice karıştırılır. Reçine kabı makinaya yerleştirilir.
 - d. Makine hava bağlantı vanası açılır. Önce elle makine çalıştırılarak reçinenin ve katkı maddelerinin püskürtme tabancasına sorunsuz bir şekilde gelmesi sağlanır. Reçine ve katkı maddelerinin karışımı tabancada püskürtme sırasında olur. Daha sonra makine çalıştırılır.
 - e. Püskürtülen reçine ve katkı maddelerinin istenilen özelliklerde olduğunu görmek için kalıp dışında bir yere uygulama yapılır. Reçinenin donma miktarına bakılarak dondurucu miktarı makine üzerinde ayarlanır. Katkı maddelerinin katılma oranı el yatırma yöntemine göre daha fazladır. Nedeni ise karışımın püskürtme sırasında olması ve reçinenin donma riskinin olmaması.
 - f. Tabancanın içinde reçine karışımının donmaması için her uygulamadan sonra tabanca üzerinde bulunan düğmeye basılarak aseton ile tabanca temizlenir.
4. Bundan sonraki adımlar el yatırma yöntemindeki 5. adımdan itibaren aynıdır.

Aşağıdaki Şekil 2.12'de polyester püskürtme makinesi ile kalıplama işlem görselleri mevcuttur.



a) Reçine püskürtme makinesi

b) Jelkot uygulaması

c) Elyaf uygulaması

Şekil 2.12. Reçine püskürtme makinesi ile kompozit üretim aşamaları.

2.4.6. Kırpma ve püskürtme makinesi yöntemi

Bu yöntemde el yatırma ve reçine püskürtme yöntemiyle aynı basamakları içermektedir. Bu makinedeki farklılık ise kullanılan elyaf malzemesinin ip şeklinde sürekli fiber olmasıdır. Makinaya gelen ip şeklindeki elyaf tabancada bulunan jiletli mekanizma yardımıyla kırılarak kalıba püskürtülmektedir. Diğer yöntemlerde reçine kalıba sürüldükten sonra elyaf el ile uygulanırken bu yöntemde tabancada bulunan tetiğin ikinci kademesine basılarak aynı anda reçine ve elyaf kalıbın üzerine püskürtülür. Bu yöntemde en sakıncalı durum makineyi kullanan operatörün elyaf püskürtülürken el ayarını tam yapamaması ve elyafın kalıp üzerinde eşit bir şekilde dağılmamasıdır.

Püskürtme yönteminde el yatırma yönteminde olduğu gibi polyester ve epoksi reçineler çoğunlukta kullanılmaktadır. Kullanılan reçineler hızlandırıcı katkıdır, hızlandırıcı reçine kullanılmıyorsa reçine makineye konmadan önce hızlandırıcı eklenmelidir. Püskürtme yöntemiyle seri üretim yapılabildiğinden elde edilen ürün sayısı daha fazladır. Püskürtme yönteminde en sık karşılaşılan sıkıntı ise üretim sırasında kullanılan tabancanın içinde reçinenin donması sonucu tıkanma olmasıdır. Diğer bir sıkıntı ise kırpma ve püskürtme makinesinde ip şeklinde gelen elyafın dolanması ya da kopmasıdır. Püskürtme makineleri kullanılırken makine üzerinde bulunan dondurucu haznesi ve temizleme hazneleri kontrol edilmelidir. Özellikle dondurucu tükendiği zaman ve fark edilmez ise kalıba uygulanan reçine karışımı donmayacağı için üründe akma olabilir bu da sarfiyata neden olur. Kalıplama işi bittikten sonra ve makine 1 haftadan daha fazla kullanılmayacak ise makine üzerinde bulunan düzenek el ile çalıştırılarak makine aseton ile temizlenir. Şekil 2.13'te Elyaf kırpma ve polyester püskürtme makinesi ile kompozit malzeme üretim aşamaları verilmektedir.



a) Elyaf kırma ve reçine makinası



b) Uygulama örneği



c) Uygulama

Şekil 2.13. Elyaf kırma ve püskürtme makinesi ile kompozit üretim aşamaları.

2.4.7. Reçine transfer kalıplama (RTM)/reçine enjeksiyonu

Bu yöntemde kullanılan kalıp birbirini tam kapatacak şekilde iki tanedir. Üretilecek ürünün iki yüzeyi de pürüzsüz isteniyorsa renkli reçine (jelkot) kullanılır. Kalıp kontrolleri yapıldıktan sonra kalıp ayrıştırıcı sürülerek kalıbın içerisine kumaş ya da keçe şeklinde üretilmiş elyaf yerleştirilir. İstenen özelliği sağlamak için ikisi birden de kullanılabilir. Kalıp kapatılır ve reçine RTM makinasından basınçla kalıba gönderilir. (RTM makinasının hazırlığı da püskürtme makinası ile aynıdır.) Reçinenin elyafı iyi sarması ve ıslatması için kalıbın bir noktasından vakumla içerideki hava çekilebilir bu da reçinenin elyafı daha iyi sarmasını sağlar. Kullanılacak reçinenin elyafı kalıp içerisinde hareket ettirmemesi için dondurucu ve hızlandırıcının ayarının iyi yapılması gereklidir. Yapılan işlemde kullanılan kalıplar soğuk, oda sıcaklığı ya da 80 °C'ye kadar ısıtılmış olarak kullanılabilir. Kalıbın sıcaklık değeri kullanılacak reçineye eklenen dondurucu ve hızlandırıcının miktarını belirlemede önemlidir. RTM yönteminde kapalı kalıp kullanıldığı için el yatırma ve püskürtme yönteminde olduğu gibi zararlı gazlar çok fazla çıkmaz.

bu da hem üretim yapan işçinin etkilenmesini engeller hem de çıkan ürünün daha pürüzsüz çıkmasını sağlar. Bu yöntemin el yatırma ve püskürtme yöntemine göre en önemli özelliği karmaşık parçaların hazırlanan kalıp sayesinde üretiminin yapılabildiğidir.

Bu yöntemde karşılaşılan sorunların başında RTM makinesinin tabancasının donmasıdır. Diğer bir sorun ise kalıpta bulunan hava deliğinin tıkanması sonucu havanın kalıp içerisinden çıkamamasıdır. Havanın kalıp içerisinden atılamaması reçinenin elyafı tam kaplayamamasına ya da ürün üzerinde hava baloncuklarının oluşmasına neden olur. Kalıbın tam kapatılmaması uygulanan reçinenin kalıp arasından çıkmasına bu da ürün bozukluğuna neden olur. RTM makinesi ile kompozit üretim aşamaları aşağıdaki Şekil 2.14'te verilmiştir.



a) RTM Makinesi

b) RTM Tabancası

c) Elyaf yerleştirme



d) Kalıp Birleştirme

e) Reçine Uygulama

c) Ürün

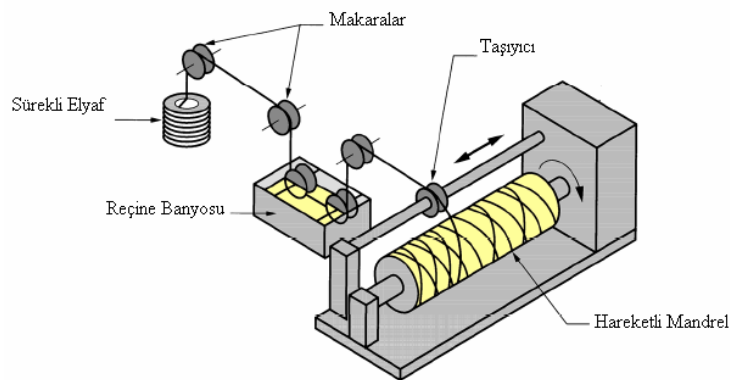
Şekil 2.14. RTM makinesi ile kompozit üretim aşamaları.

2.4.8. Elyaf sarma yöntemi (Filament winding)

Elyaf sarma yönteminde kullanılan makineler üretilecek parçanın özelliğine göre özel otomasyonlara sahiptirler. Bu yöntemde kullanılan kalıp iki ucundan sabitlenerek döndürülür. Kalıba üretime başlanmadan kalıp ayırıcı sürülür. Kullanılacak elyaf tipi ip şeklinde sürekli elyaftır. Elyaf sarma işleminde iki yöntem vardır. Birincisi kuru sarma ikincisi ise yaş sarmadır. Elyaf dönen kalıba istenen özellikleri sağlayacak geometride makine yardımıyla sarılır. Kuru sarma yapılıyor ise elyaf kalıba kuru bir şekilde sarılır. Sarma işlemi bittikten sonra kalıp reçine banyosuna daldırılarak elyafa uygulanır. Yaş sarma işlemi yapılıyor ise elyaf önce reçine içerisinden geçirilip daha sonra kalıba sarılır. Her iki işlemde ısı yardımıyla reçine elyaf karışımının donması sağlanır ve mukavim duruma geldikten sonra ürün kalıptan ayrılır (Turhan, 2011; Akdoğan Eker, 2008; Tanoğlu ve Toğulga, 2003; Kılıç, 2006; [http://bs.gsu.edu.tr/akademik/ctolga/Bilesik%20\(kompozit\)%20malzemeler.pdf](http://bs.gsu.edu.tr/akademik/ctolga/Bilesik%20(kompozit)%20malzemeler.pdf)).

Elyaf sarma yöntemiyle üretilen kompozitlerin iç yüzeyleri pürüzsüzdür. Üretilen ürünlerin içi boş olduğu için yüksek basınç boruları, yelkenli direkleri, araba şaftları, roket gövdeleri gibi ürünlerin imalatında kullanılır.

Elyaf sarma yönteminde kullanılan makinenin otomasyonu iyi yapılmaz ise kalıba sarılan elyaf istenen özellikleri sağlayamayacaktır. Kullanılan reçine ve katkı maddelerinin oranı iyi ayarlanmaz ise özellikle yaş sarma işleminde elyaf kalıba sarılmadan dona bilir. Buda ürün bozukluğuna neden olur. Şekil 2.15'te elyaf sarma yönteminin görseli mevcuttur.

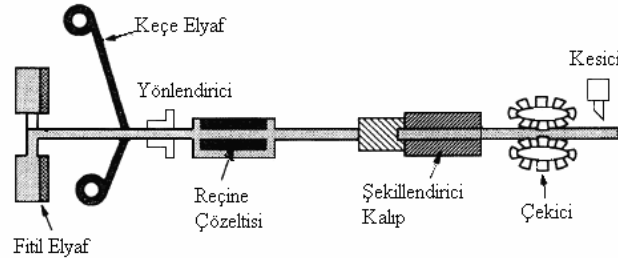


Şekil 2.15. Elyaf sarma yöntemi (Akdoğan Eker, 2008).

2.4.9. Profil çekme yöntemi (Pultruzyon, pultrusion)

Makaralara sarılmış sürekli fiber malzemeler reçine banyosundan geçirilerek şekillendirme kalıplarına yerleştirilir. Krom kaplanmış parlak çelik kalıplar önceden 120-150 C ye kadar ısıtılırlar. Kalıplara yerleştirilmiş reçineli fiberler preslenir. İstenen boyut ölçülerine kavuşan ve soğuyup sertleşen kompozit parça başka bir işleme gerek kalmadan ürün olarak kalıptan alınır. Kompozit de kullanılan reçine çoğunlukla vinil ester, epoksi ve polyesterdir. Sürekli elyaf kullanılması sonucu takviye yönünde mekanik mukavemet değerleri çok yüksek çıkmaktadır. Diğer yönlerde mukavemet sağlamak için özel dokuma elyaflar kullanmak gereklidir. Bu yöntem düşük maliyetli ve seri üretime uygun bir yöntemdir. Ayrıca oluşan atık oranı da oldukça düşüktür (Arıcasoy, 2006; Akdoğan Eker, 2008; Tanoğlu ve Toğulga, 2003; http://www.kimyamuhendisi.com/dokumanlar/doc_download/220-kompozit-malzemeler.html).

Bu yöntemde reçinenin elyafı sarma ve ıslatma oranı, kalıp sıcaklığı, ürün çekme hızı ve yapı içinde bulunan elyaf oranı üretilen kompozitin kalitesini etkilemektedir. Bu yöntem ile profil, dolu çubuk, boru, kapı ve pencere üretimi yapılmaktadır (Arıcasoy, 2006; Akdoğan Eker, 2008; Tanoğlu ve Toğulga, 2003; http://www.kimyamuhendisi.com/dokumanlar/doc_download/220-kompozit-malzemeler.html). Şekil 2.16. da profil çekme yöntemi görünmektedir.



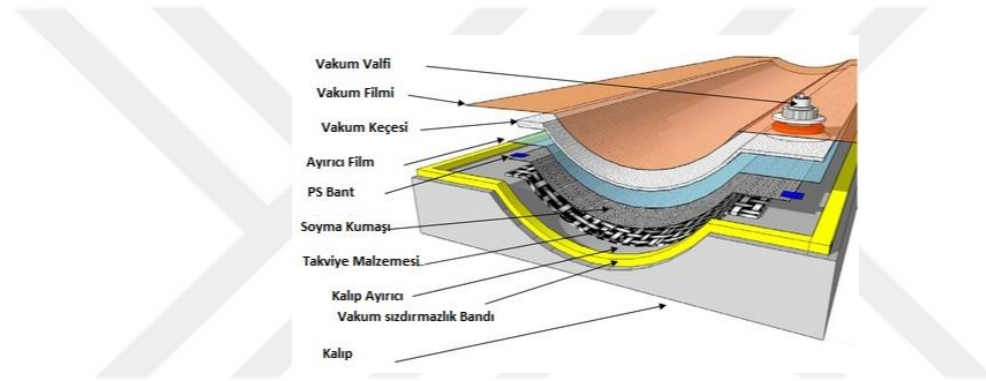
Şekil 2.16. Profil çekme yöntemi (Akdoğan Eker, 2008).

2.4.10. Vakum torbası yöntemi/Vakum bagging

Elyaf öncelikle kalıba yerleştirilir ve ardından kalıp naylon ya da selefon malzemesinden yapılmış vakum torbası ile hava almayacak biçimde kaplanır. Vakumun yapılacağı kanallar ve reçinenin akacağı kanallar yerleştirilir. Vakuma başlandıktan sonra içerdeki hava boşaltılırken reçine elyaf malzemeyi sarıp ıslatır ve vakum torbası da basınç oluşturarak malzemenin kalıba yapışmasını sağlar (<http://www.maskim.com.tr/tr/sayfa/urun-detay/93/vakum-torbalari/0>).

Bu yöntem el yatırma, püskürtme ve elyaf sarma yöntemlerine benzemektedir. Malzemeye basınç uygulandığı için kalitesi daha iyidir (<http://www.maskim.com.tr/tr/sayfa/urun-detay/93/vakum-torbalari/0>).

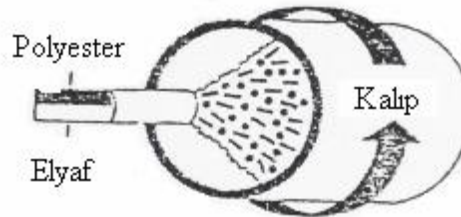
Vakum sisteminde yapılan hata ise vakum torbasının tam olarak kalıba bağlanmaması sonucu istenen basınç değerlerinin oluşmaması ya da hiç vakum oluşturamamak. Diğer bir hata ise reçine ve vakum kanallarının iyi hesaplanıp doğru yere ya da sayıda konmamasıdır. Bu sorun ise reçinenin kalıpta bulunan elyafın tümünü ıslatamamasına neden olacaktır (<http://www.maskim.com.tr/tr/sayfa/urun-detay/93/vakum-torbalari/0>). Vakum torbalama yöntemi Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17. Vakum torbası yöntemi (<http://www.maskim.com.tr/tr/sayfa/urun-detay/93/vakum-torbalari/0>).

2.4.11. Savurma yöntemiyle kalıplama (Santrifüj yöntemi)

Kullanılan kalıp bir makineye bağlanarak döndürülür ve dönme hızıyla meydana gelen merkez kaç kuvvetiyle ürün kalıp çeperlerine homojen bir şekilde yapışır. Kalıp içerisine sıcak hava gönderilerek malzemenin kuruması sağlanır. Kullanılan elyaflar kırılmış ve dondurucu hızlandırıcı karıştırılmış reçine ile ıslatılmış şekilde kalıba püskürtülür (Turhan, 2011; Akdoğan Eker, 2008; Kılıç, 2006). Savurma yöntemi Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Savurma yöntemi (Akdoğan Eker, 2008).

2.4.12. Otoklav yöntemi/Autoclave bonding

Basıncın, ısının ve emiş hızının kontrol edildiği kapalı bir kap olan otoklav ile yapılan kompozit üretim yöntemi vakum torbalama yöntemine benzemektedir. Yüksek kaliteli kompozit üretimi için tercih edilmektedir. Bu yöntemde kullanılan otoklav kabı ile elyaf ve reçine karışımının iyi bir kür sağlaması için sıcaklık, basınç ve reçine emişi kontrol edilebilir ve istenilen özelliklerde yüksek kaliteli kompozit üretimi yapılır. Otoklav yöntemi diğer yöntemlere göre daha uzun sürelerle sahiptir ve daha maliyetlidir (<http://turkish.aac-autoclave.com/sale-991318-textile-chemical-concrete-autoclave-block-to-steam-sand-lime-brick-high-pressure.html>). Otoklav yönteminde kullanılan makine Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19. Otoklav yöntemi (<http://turkish.aac-autoclave.com/sale-991318-textile-chemical-concrete-autoclave-block-to-steam-sand-lime-brick-high-pressure.html>).

2.4.13. Hazır kalıplama yöntemi/Basınçlı kalıplama yöntemi/Compression molding (SMC, BMC)

Elyaf, reçine ve katkı malzemelerinin karıştırılarak dolgu malzemesi haline getirilmiş ürünün sıcak kalıplarda presleme yoluyla kompozite dönüştürüldüğü bir yöntemdir. Kullanılan kalıp sayesinde diğer üretim yöntemlerinde ek işlemlere neden olan delik gibi özellikler sağlanabilir. Erkek dişi kalıp kullanıldığı için çıkan ürünün iki yüzünde de pürüzsüzlük elde edilir. Bunun dışında kompozit malzemesinin içine metal ve seramik parçaların eklenebilmesi ile üründe istenen cidar kalınlığı ve kolay montaj kolaylığı elde edilir. Kullanılan kalıplar uzun ömürlü olması için genelde çelik malzemesinden üretilir. Kalıpların çelik olması ve kalıplama bileşenlerinin buzdolaplarında saklanma gereksinimlerinden dolayı maliyetleri fazladır. Boyutları büyük olan ürün üretmek için kullanılacak preslerin de büyük olması gereklidir bu da maliyeti arttırmaktadır (Akdoğan Eker, 2008).

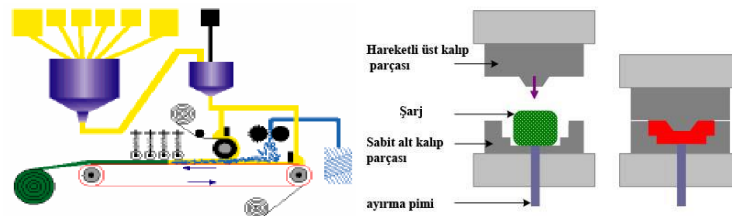
Hazır kalıplama için kullanılan dolgu malzeme bileşenleri istenen özelliğe göre farklılık göstermektedir. Üretim için kullanılan dolgu malzemelerinde iki tür malzeme bileşeni en çok kullanılır. Bunlar hazır kalıplama pestili (SMC) (Sheet Moulding Composites) ve hazır kalıplama hamurudur. (BMC) (Bulk Moulding Composites).

Hazır kalıplama pestili / SMC (Sheet moulding composites)

Takviye malzemesi olarak sürekli liften elde edilen 25-50 mm boyutlarında kırılmış lifler ve reçinenin karıştırılması sonucu 3 mm kalınlığında ve 1 m genişliğinde kumaş şeklinde üretilirler. Kullanılan lif miktarı kompozit ürününün ağırlığının %25-30 oranındadır. SMC ürünleri daha çok otomotiv sektöründe kullanılmaktadır (Akdoğan Eker, 2008).

Hazır kalıplama hamuru / BMC (Bulk moulding composites)

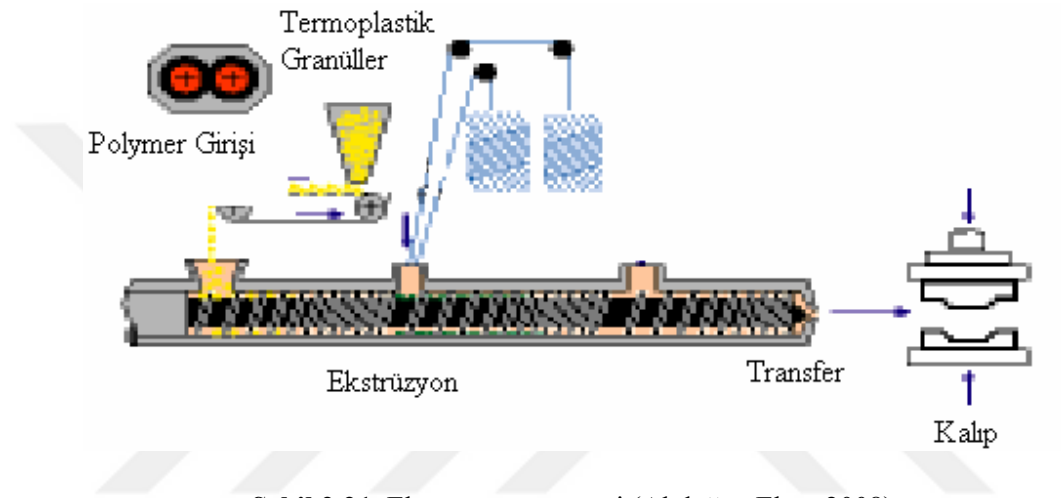
SMC yönteminde olduğu gibi kırılmış lifler ve dolgu malzemesi reçine ile karıştırılarak üretilir. SMC den farkı ise hamur şeklinde üretilmesidir. Hamur şeklinde üretilmesi tasarım olarak çok geniş alanda kullanılmasını sağlamaktadır. Kalıp içinde yüzeyin iyi kaplanabilmesi, kolayca laklanabilmesi özelliği ve geri dönüştürülebilmesi avantajlarının başında gelmektedir. Metal ve seramik parçaların ürün içine yerleştirilebilmesiyle montaj kolaylığı ve istenen ürün özellikleri sağlanabilmektedir. Sıcak soğuk dayanımının fazla olması ve aleve karşı dayanımının yüksek olması tercih nedenlerinden birisidir. Reçine elyaf karışımının dışarıda karıştırılarak kalıp içerisine eritilerek basınçla gönderilmesi ile ürün elde edilir. Hamurun kalıba gönderilmesi için reçine özelliğinin düşük viskoziteye sahip olması gereklidir. Çoğunlukla termoset reçineler kullanılır. Diğer üretim yöntemlerine göre ürün elde etme hızı daha fazladır. BMC ile üretilen ürünlere uçak parçaları, çocuk oyuncakları, test kalıpları ve elektrik parçaları örnek olarak verilebilir (Arıcasoy, 2006; Akdoğan Eker, 2008; Yıldızhan, 2008). Hazır kalıplama yöntemi aşağıdaki Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20. Hazır kalıplama yöntemi (Akdoğan Eker, 2008).

2.4.14. Ekstrüzyon yöntemi

Termoplastiklerin üretiminde büyük ölçüde kullanılan bir yöntemdir. Bazı durumlarda ise takviyeli termoplastik üretimi içinde kullanılmaktadır. İlk kurulum maliyeti fazladır bundan dolayı sürekli üretim için kullanmak daha ekonomiktir. Karmaşık şekilli profil, boru ve tüp üretimi yapmak mümkündür (Akdoğan Eker, 2008). Ekstrüzyon yönteminin görseli Şekil 2.21 de verilmiştir.



Şekil 2.21. Ekstrüzyon yöntemi (Akdoğan Eker, 2008).

3. KARBON ELYAFLAR

Karbon elyaf liflerinin bilinen en eski kullanımı, Edison tarafından ampullerde keten, pamuk ve bambu liflerinin karbonizasyonu sonucu elde edilen akkorun filemen olarak 19. yüzyılın sonların da kullanılmasıdır. Karbon liflerin ilk kullanıma nedeni iyi bir elektrik iletkenliğine sahip olmasıdır. İkinci dünya savaşıyla birlikte kompozitlere olan ilgilinin artması ve istenen özelliklerde ürün elde etme isteği karbon elyafların önemini arttırmıştır. 1950' li yıllar da roket parçalarında kompozit olarak kullanımına başlanan karbon fiberler ticari bir malzeme olarak sektöre giriş yapmıştır. Karbon elyafların kullanımının en önemli nedeni düşük yoğunlukta olmasına karşın çekme, basma dayanımının, elastikiyet değerlerinin çok yüksek ve yorulma değerlerinin iyi olması özellikle mühendislik malzemesi olarak kullanımını arttırmıştır. Karbon elyaf liflerin en büyük dezavantajı üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Karbon elyaf üretimi günümüzde en çok zift tabanlı ve Poli Akrilo Nitril (PAN)'dan üretilirken diğer üretim malzemeleri ise bitkisel selüloz, Polivinil alkol, Poliimit, Poliamit ve polivinildenklorür gibi liflerdir (Zor, 2018; Turhan, 2011; Akdoğan Eker, 2008; Sundaram, 2010; Seventekin vd., 2006; Fourné, 1998).

Karbon elementleri, başlangıç hammaddesinin üretim şartları ve uygulama sıcaklıklarına göre amorf ve kristal yapıdadırlar. Karbon elyaflarına uygulanan yüksek ısı işlem sonucu karbonlaşma olur ve grafit elyaflar elde edilir. Karbon elyaflar amorf grafitler ise kristal yapıya sahiptirler. Yüksek dayanım istenen kompozitlerde genellikle kristal yapıya sahip grafit elyaflar kullanılır. Yapılan araştırmalar ipliksi grafit kristallerinin en sağlam malzeme olduğunu göstermiştir. (Turhan, 2011, Worasuvannarak vd., 2003) Çizelge 3.1. de karbon ve grafit elyafların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Karbon ve grafit elyafların özellikleri (Turhan, 2011; Worasuvannarak vd., 2003).

Özellik	Karbon (Amorf yapı)	Grafit (Kristal yapı)
Safılık (%)	93-95	99
İşlem Sıcaklığı (°C)	< 1700	> 1700
Elastike Modülü (GPa)	< 345	> 345

Karbon lifler, uygulama aşamasında elde edilen 6-15 µm çaplar ve 500-2000 adet arasında değişen filamentten oluşan demetlerdir. Bu demetler kendi başlarına kullanılacağı gibi dokuma işlemi uygulanarak kumaş olarak da kullanılırlar. Karbon liflerinin reçine ile iyi bir

yapışma sağlaması için yüzeylerinde işlem yapılır. Bu işlem gaz ve sıvı yükseltgenme işlemi ile yüzeyinde çukur açılması ya da yüzeylerinde silikon nitrür kristallerinin oluşturulması ile ipliksi bir yapı elde edilmesidir (Seventekin vd., 2007).

3.1. Karbon Elyaf Liflerinin Özellikleri

Karbon liflerin özellikle mühendislik ve özel tasarım malzemesi olarak kullanılmasının nedeni (Ersoy, 2005; Turhan, 2011; Akdoğan Eker, 2008);

- Modül/ağırlık oranının yüksek
- Mukavemet/ağırlık oranının yüksek
- Yorulma mukavemetinin yüksek
- Ergime noktasının yüksek
- Yoğunluğunun düşük
- Korozyon dayanımının yüksek
- Sıcaklık dayanımının yüksek
- Darbe dayanımının yüksek
- Sürtünme direncinin yüksek
- Sönümlemenin iyi
- Rijit bir yapıda olmasıdır.
- Tüm reçine çeşitleriyle kompozit oluşturabilmesi

Karbon lifleri ergimiş metal ve oksidasyon ortamları harici kimyasal olarak etkileşime girmezler. Yukarıda saymış olduğumuz özellikler sayesinde karbon lifleri diğer malzemelere göre daha avantajlı durumdadır.

Karbon liflerinin dezavantajları ise üretiminin pahalı olması, gevrek bir malzeme olması ve genleşme katsayısının düşük olmasıdır.

Karbon liflerini barındırdıkları filament sayılarına göre dar ve geniş lifler olarak ayırabiliriz. Dar lifler 12000'e kadar filament içerirken geniş lifler ise 80000'e kadar filament içerirler. Genel olarak da dar lifler 3K, 6K, 12K şeklinde üretilirken geniş lifler 24K, 48K, 57K ve 80K şeklinde üretilirler (1K= 1000) (Turhan, 2001; Sundaram, 2010).

Karbon elyafları sürekli elyaf ve kırılmış elyaf olarak piyasaya sunulmuştur. Sürekli elyaflar örgü, dokuma ve bobine sarılmış iplik, bant ve prepreglerde kullanılırlar. Kırılmış elyaflar ise basınçlı kaplarda, enjeksiyon kalıplamada, makine imalatında ve kimyasal ortamlar için kullanılırlar (Ersoy, 2005; Akdoğan Eker, 2008; Sundaram, 2010).

3.2. Karbon Liflerinin Üretimi

Karbon elyafları genel olarak doğal selüloz (Rayon), ziftten (Pitch) ve poliakrilonitril (PAN) üretilirler. Doğal hammaddelerden üretilen karbon fiberlerin maliyetinin fazla olması ve düşük karbon içeriğine sahip olduklarından düşük özellikli ürün verirler bundan dolayı ticari olarak kullanılmazlar. Ticari olarak polimer lifler içeren poliimit, poliamit, polivinil kullanılırken akrilik ürünlerde kullanılan poliakrilonitril ve petrol yan ürünü olan zift ve ziftli lifler kullanılır. Karbon lif üretiminde en çok kullanılan hammadde ise poliakrilonitril (PAN) ve zifttir (Pitch). PAN hammaddesi karbon üretiminin %80-90 karşılarken ziftler ise %10-20 arasında değişmektedir (Sundaram, 2010).

3.2.1. Bitkisel esaslı hammaddelerden karbon lif üretimi

Bitkisel hammaddelerden üretilen karbon fiberler için genel olarak iki tip üretim yöntemi vardır. Rejenere selülozdan ve ligninden üretilen karbon fiberler.

Rejenere selülozdan karbon fiber üretimi

Rejenere elyaf, doğal kaynaklardan polimer bileşiklerin fiziksel ve kimyasal yöntemlerle ayrıştırılarak elde edilen elyaflara denir (<https://tekstilbilgi.net/rejenere-recycle-iplik.html>). Lifli selüloz içeren hammaddeye 25-150 °C aralığında ısı uygulanarak barındırdığı suyu bırakması sağlanır. Daha sonra 150-240 °C arasında glukoz yapısında bulunan su ayrıştırılır. Sıcaklık 240-400 °C çıkarılarak C-O ve C-C arasında bulunan bağların koparılmasıyla aromatisasyon işlemi yapılır. Rejenere selüloz lifleri argon ya da azot gazlarının bulunduğu ortamda 400 °C den 1000 °C'ye ısıtılarak karbonizasyon işlemi gerçekleştirilir. Karbonize olmuş selülozik liflere 3000 °C sıcaklıkla çekme işlemi yapılarak grafitleştirme işlemi yapılır. Bu işlem ile oluşan karbon fiberler yüksek mukavemet değeri gibi mekanik özelliklere kavuşmuş olur (Turhan, 2001; Seventekin vd., 2006; Fourné, 1998).

Ligninden karbon elyaf üretimi

Lignin, içerisinde selüloz bulunduran bitkilerin kök ve gövdesini oluşturan maddedir (<http://www.biyolojiegitim.yyu.edu.tr/k/Lig/>). Organik bir yapı olan ligninin içerisinden selülozu çıkarmak için ekstraksiyon işlemi uygulanır. Elde edilen ekstraksiyon 180-210 °C sıcaklıkta azot ortamında saflık oranına göre 1-12 saat arasında ısıtılma ya da insan sağlığına zararlı olan X ve β ışınlarına tabi tutulur. İşlemler sonunda selüloz ekstraksiyonu istenen viskozite değerlerine geldiğinde lif çekimi yapılır. Çekilen lifler 1500-1800 °C arasında yine azot gazı ortamında

karbonizasyon işlemine tabi tutulur. Karbonizasyon işlemi sırasında liflere çekme kuvveti uygulanarak grafitleştirme ve böylelikle mukavemetlik verilir (Turhan, 2001; Seventekin, 2001).

3.2.2. Ziftten (Pitch) karbon elyaf üretimi

Linyit, taş kömürü, odun ve ham petrolün ısıtılarak damıtılması ile elde edilirler. Ziftlerden üretilen karbon liflerinin maliyeti poliakrilonitril (PAN) 'dan daha düşüktür. Bunun nedenini kısaca açıklarsak;

- Ziftin fiyatı PAN'dan daha ucuzdur.
- Ziftte bulunan karbon liflerinin yapısı grafit yapısına daha yakın olduğu için karbonizasyon sırasında kullanılan enerji daha düşüktür.
- Ziftin içinde daha az miktarda hidrojen, azot gibi yabancı elementler olduğu için karbonizasyonda elde edilen karbon lif oranı PAN'a göre %50-75 arasında daha fazladır. PAN'da elde edilen karbon lif oranı %40-45 iken ziftten elde edilen karbon lif oranı %75 i bulmaktadır (Edie ve Diefendorf, 1993; Yaman vd., 2006).

Ziftten elde edilen hammaddeler izotropik ve anizotropik yapıda olabilirler. Petrol ürünü olan ziftten elde edilen mezofaz yapı alifatik zincir barındırdığı için daha açık bir yapıdayken taş kömürü ziftten (katran) elde edilen mezofaz ise daha aromatik bir yapıdadır. İzotropik yapıda bulunan ziftten üretilen karbon fiber liflerinin grafitazyon işlemi sırasında uygulanan germe işlemi zor olduğu için elde edilen liflerin özellikleri daha düşük değerlerdedir. Mezofaz yapısına sahip ziftlerde germe işlemi daha kolay yapılabilmektedir. Bundan dolayı mezofaz yapıya sahip ziftlerden üretilen karbon fiber lif üretimi daha yaygındır (Edie ve Diefendorf, 1993; Yaman vd., 2006).

Ziftin, lif çekim işlemini kolaylaştırmak amacıyla içerisine polipropilen, polietilen, polistiren gibi termoplastik veya fenolformol reçineleri katkı maddeleri olarak ilave edilir. Aşağıda zift hammaddesinden üretilen karbon fiber prosesi anlatım olarak ve görsel olarak Şekil 3.1'de verilmiştir (Akdoğan Eker, 2008; Edie ve Diefendorf, 1993; Yaman vd., 2006).

1. Katkı maddesi eklenmiş zift karışımı 400 °C ye kadar ısıtılarak içerisinde bulunan düşük molekül ağırlığındaki bileşiklerin uzaklaştırılması sağlanır. Bu işlem sırasında hammadde ile aditifler arasında bağ köprüleri oluşmaktadır. Uygulanan sıcaklık değeri fazla olursa yapı anizotrop mezofaz şeklini alır ve lif çekimi oldukça zor olur.

2. Lif eksenine paralel bir şekilde yerleşen mezofaz molekülleri istikrarlı bir termodinamik yapıya sahiptirler. Karbonizasyon boyunca bu yapı kısmen korunmaktadır.

3. Zift hammaddesinden karbon lifi çekimi gaz üfleme ve pnömatik olarak yapılmaktadır.

- Gaz üfleme ile lif çekiminde sıvı halde bulunan zift 30⁰ lik düz yarıktan ilerlerken uç kısmında bulunan 200-300 m/s hızında ve sıcak havayla karşılaşır ve life dönüştürülür.
- Pnömatik yöntemiyle lif çekiminde, zift bir ekstrudere gönderilerek hem içerisindeki gazların dışarı çıkması hem de istenen viskozite ulaşması sağlanır. Daha sonra 0,6 mm çapa sahip 32 delikli düzdenekten geçirilerek germe ve soğuma işlemi yapılan huni şeklindeki silindire gönderilerek lifler elde edilir.

4. Elde edilen lifler sülfirikasit anhidriti ile sülfonlama işlemi yapılarak erime özelliği giderilir ve 250-300 ⁰C de oksidasyon işlemi yapılır. Oksidasyon işlemi sırasında lif ağırlığında artış olmaktadır.

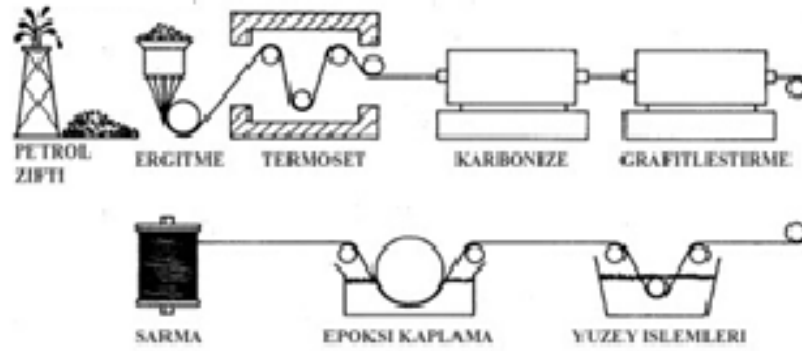
5. 1000 ⁰C de inört gaz ortamında karbonizasyona tabi tutulan okside olan liflerin içerisinde bulunan CH₄ ve H₂ gibi gazlar açığa çıkar. Hidrojen gazının çıkışı 900-1000 ⁰C de yapılan birkaç dakikalık ön karbonizasyonda olur. Karbonizasyon işleri azot atmosferinde yapılarak oluşan is ve katran ortamdan uzaklaştırılır ve lif ağırlığında azalma olur. Karbonizasyon işlemi sırasında ortam da oksijen olmamalıdır.

6. Ziftten elde edilen karbon fiber liflerinin grafitizasyon işlemlerinde ek gerdirme işlemlerine gerek yoktur.

7. Karbonizasyon ve grafitizasyonu yapılan liflerin yüzey işleme işlemleri yapılır. Bu işlem poliakrilonitril yüzey işleme ortamından farklı olmak zorundadır. Çünkü ziftten elde edilen liflerin yüzey oksidasyonu daha az reaktiftir.

8. Yüzey işleme bittikten sonra oluşan lifler reçineler ile daha iyi bir yapışma sağlaması için epoksi ile kaplanır.

9. Epoksi kaplanmış karbon fiber lifler makaraya sarılarak kullanım şekline göre üretim yapılır.



Şekil 3.1. Ziftten karbon elyaf üretim prosesinin şematik gösterimi (Akdoğan Eker, 2008).

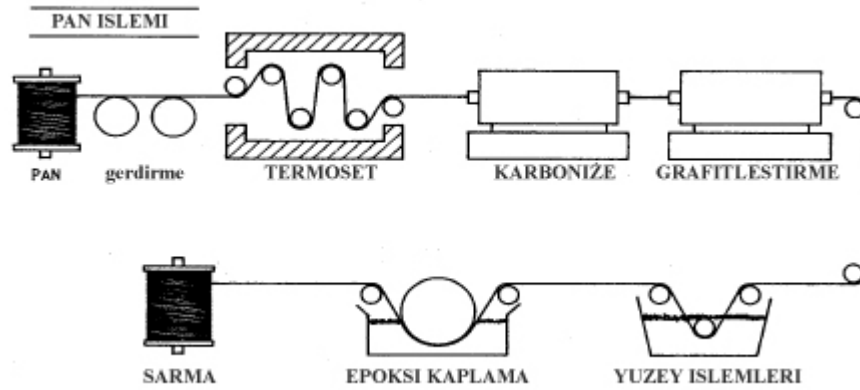
Aşağıdaki Çizelge 3.2. de zift esaslı karbon fiber liflerinin özellikleri görünmektedir.

Çizelge 3.2. Zift esaslı karbon elyaf liflerinin özellikleri (Seventekin vd., 2007; Walsh, 2001).

Özellik	Birim	Düşük Modül	Yüksek Modül	Ultra-Yüksek Modül
Germe Modülü	GPa	170-241	380-620	690-965
Germe Dayanımı	MPa	1380-3100	1900-2750	2410
Kopma uzaması	%	0,9	0,5	0,4-0,27
Elektriksel öz direnç	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	1300	900	220-130
Isıl iletkenliği	$\text{W/m} \cdot \text{K}$	-	-	-
Eksen yönünde elektriksel uzama katsayısı	$10^{-6} \cdot \text{K}$	-	-	-
Yoğunluk	g/cm^3	1,9	2,0	2,2
Karbon içeriği	%	97	99	99
Lif çapı	μm	11	11	10

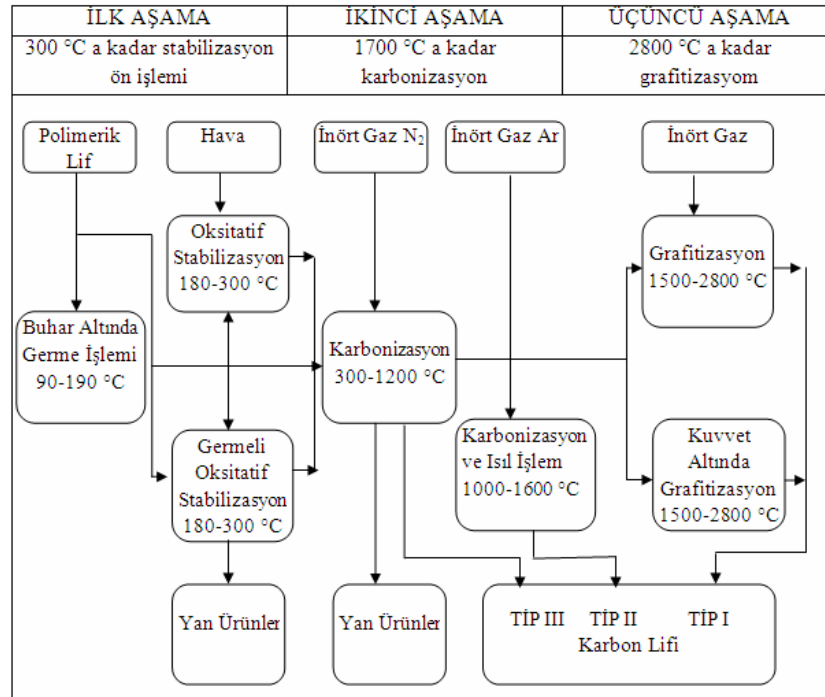
3.2.3. Poliakrilonitril (PAN)'den karbon elyaf üretimi

Karbon elyaf lif üretiminde PAN esaslı lifler büyük bir önem taşımaktadır. Genel olarak ıslak ve kuru eğirme metotları kullanılan PAN esaslı liflerde yüksek dayanımlı karbon lifler isteniyorsa ıslak eğirme yöntemi kullanılır. Islak eğirme yönteminde hazırlanan çözelti koyulaşmış bir sıvı içerisinde sıkıştırma işlemine ve gerilmeye maruz bırakılır. Kuru eğirme işleminde ise hamurumsu preparat sıcak gaz odasında sıkıştırma ve gerilme işlemine tabi tutulur. PAN esaslı liflerden karbon lif üretim prosesi ziftten karbon lif üretim prosesi ile aynıdır (Yaman vd., 2006; Hearle, 2001). Şekil 3.2'de PAN esaslı karbon fiber üretim prosesi verilmiştir.



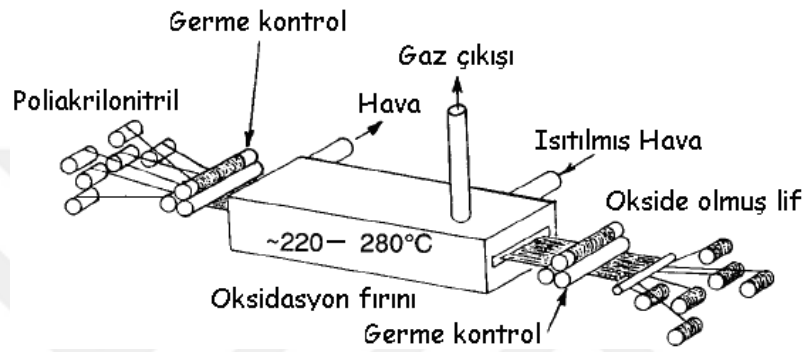
Şekil 3.2. PAN'dan karbon fiber üretim prosesi (Akdoğan Eker, 2008).

PAN lifleri bünyesinde %54 oranında karbon atomu içermesine rağmen karbon lif üretimi verimi %40-45 arasında olmaktadır. PAN esaslı lifler 180-300 °C de oksidatif dengeye ulaşırlar daha sonra 1000 -1500 °C de karbonizasyona uğrayarak 1500-3000 °C de grafitizasyon işleminin gerçekleşmesiyle karbon fibere dönüşürler. PAN esaslı liflere uygulanan aşamalar farklı özelliklerde karbon lif üretimine neden olur. Aşağıdaki Şekil 3.4'de PAN'dan karbon fiber üretim aşamalar verilmiştir (Yaman vd., 2006).



Şekil 3.4. PAN'dan karbon lif üretim aşamaları (Seventekin, 2001; Yaman vd., 2006; Hearle, 2001; Burland, Parsons, 1956).

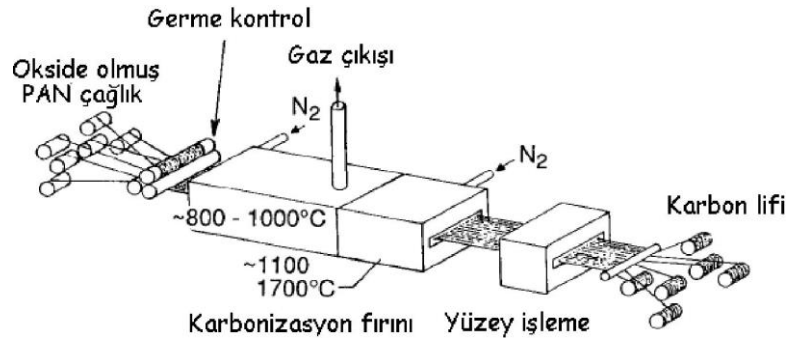
İlk aşamada PAN liflerinde bulunan nitril gruplarının intermoleküler katılma reaksiyonu vermesi için 180 °C de termik işleme maruz bırakılır. Oksijenin life bağlanması için 225-300 °C arasındaki sıcaklıklarda ortamda bulunan hava oksidasyon işlemine maruz bırakılarak %15 oranında oksijen life bağlanır. Bu işlemin amaçlarından biri diğer aşamalarda liflerin maruz kalacağı yüksek sıcaklıklara dayanımını arttırmaktır. Oksidasyon işlemi aşağıdaki Şekil 3.5. de verilmiştir (Edie ve Diefendorf, 1993; Yaman vd., 2006; Hearle, 2001; Pandey ve Kumar, 2002).



Şekil 3.5. PAN esaslı liflerin oksidasyona uğratılması (Chung, 1994; Edie ve Diefendorf, 1993; Yaman vd., 2006).

Oksidasyon işlemi ile birlikte, siyanür gruplarının kristalizasyonu ile merdiven tipi yapının oluşması, hidrojen uzaklaştırılmasıyla konjuge çift bağ oluşumuna ve gevrek bağlanmış hidrojenler ile karboksil asit gruplarının yer değiştirilmesi sağlanmış olur. PAN molekülleri bu işlemin dengede olmasıyla sertliklerini arttırarak bir arada dururlar. Ayrıca işlem sırasında CO₂, HCN gibi gazlar ve su çıkışı olacağından liflerde ağırlık kaybı ve büzölmeler meydana gelir. Oksidasyon işlemi sırasında PAN lif rengi sırasıyla sarı, kahverengi ve en son siyaha dönmektedir (Edie ve Diefendorf, 1993; Yaman vd., 2006; Hearle, 2001; Pandey ve Kumar, 2002).

Oksidasyon işleminden geçirilen PAN lifleri ikinci aşama olan karbonizasyon işlemine tabi tutulur. Karbonizasyonun amacı karbon olmayan elementlerin yapıdan uzaklaştırılmasıyla liflerin %100 karbonlaştırılmasıdır. Karbonizasyon işlemi inert gaz, H₂, CO ya da azot gazı ortamında gerçekleştirilir. İşlem sıcaklığı 1100-1600 °C arasında yapılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.6 da karbonizasyon işlemi görünmektedir (Yaman vd., 2006).



Şekil 3.6. Karbonizasyon işlemi (Edie ve Diefendorf, 1993; Chung, 1994).

Genellikle azot gazı ortamında gerçekleştirilen karbonizasyon işleminde ortamda bulunan oksijen yavaş bir şekilde ısınmayı sağlarken lif parçalanmalarını engeller ve açığa çıkan H_2O , NH_3 , N_2 , CH_4 , CO_2 ve CO gazlarının hızlı hareket etmesi sonucu karbonizasyonun gerçekleştirildiği fırınların zarar görmesini engellemektedir. Karbonizasyon işlemi $1100\text{ }^{\circ}C$ de ön karbonizasyon ve $1600-1800\text{ }^{\circ}C$ de karbonizasyon olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Ön karbonizasyon işlemi sırasında farklı miktarlarda H_2O , CO ve CO_2 gazları açığa çıkarılırken düşük miktarlarda da H_2 ve CH_4 gazları da serbest kalmaktadır. Bu uçucu gazların büyük bir kısmının ortaya çıkarılma sıcaklıkları $1000\text{ }^{\circ}C$ altında olmaktadır. Bu gazların yapıdan uzaklaşması sonucu; $400\text{ }^{\circ}C$ de PAN liflerinde bulunan %60-72 karbon, %20-24 azot, %5-10 oksijen ve %2-4 hidrojen oranları karbonizasyon sonucunda %98 karbon, %1-2 azot ve %0,5 hidrojen oranlarına dönüşmektedir (Seventekin, 2001; Hearle, 2001).

Karbonizasyon işleminden sonra diğer bir aşama olan grafitizasyon işlemine geçilir. Grafitizasyon işlemi de aslında yine bir karbonizasyon işlemidir. Bu işlemin amacı yapıda bulunan yabancı elementlerin uzaklaştırılmasıyla yapıda sadece karbon elementinin mümkün olduğunca saf olarak bulundurulmasıdır. İşlem sırasında uygulanan son sıcaklık değerine göre liflerde %80-99 arasında karbon kalması sağlanmış olur. Karbon oranı ne kadar fazla olursa elde edilen liflerin mekanik özellikleri o kadar iyi olmaktadır. Grafitizasyon işlemi $3000\text{ }^{\circ}C$ ye varan sıcaklıklarda yapılmaktadır. Bu işlemle lif yapısında tekrar kristalizasyon meydana gelir.

PAN'dan üretilen karbon liflerine grafitizasyon işleminden sonra yüzey işlemleri uygulanarak matris malzemesiyle iyi bir bağlanma yapabilmesi sağlanır. Yüzey işlemiyle lif yüzeylerinin pürüzlülüğü artırılırken yüzeyin oksijenlenmiş grup konsantrasyonu da artırılmış olur.

Yüzey işlemeden sonra lif yüzeyine az miktarlarda düşük yoğunluklu epoksi malzemesi yedirilmesi ile karbon liflerinin ıslanabilirliği arttırılır. Bu işlemle birlikte PAN'dan karbon lif üretimi son aşamasına gelmiş olur (Seventekin, 2001; Edie ve Diefendorf, 1993; Balcı, 2006).

PAN esaslı liflerden karbon fiber liflerin üretimini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- PAN'nın uygun bir komonomer ile tepkimesi sonucu kopolimerleşmenin sağlanması
- Eğirme işlemi ile PAN başlangıç liflerinin elde edilmesi
- 200-300 °C 'lik Hava atmosferinde, yüksek sıcaklık değerlerine sahip fırından PAN liflerinin geçirilmesiyle oksidasyon işleminin gerçekleştirilmesi.
- 1100-1600 °C'ler de soygaz ortamında oksitlenmiş liflere karbonizasyon işlemi ve gerilme uygulanması.
- 2000-3000 °C 'ler de soygaz ortamında karbonizasyona uğramış liflere germe ve grafitizasyon işleminin uygulanması.
- Lif yapışma özelliğini arttırmak için, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey oksitlenme grup konsantrasyonunun arttırılması.
- Lif yüzeyinin reçine malzemelerle iyi birleşim sağlaması için lif yüzeylerinin epoksi ile kaplanması.
- Elde edilen lif demetlerinin ip halin de elde edilmesi.

Aşağıdaki Çizelge 3.3. de PAN esaslı karbon liflerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. PAN Esaslı karbon elyaf liflerinin özellikleri (Seventekin vd., 2007; Walsh, 2001).

Özellik	Birim	Ticari	Uzay Endüstrisi		
		Standart Modül	Standart Modül	Orta Modül	Yüksek Modül
Germe Modülü	GPa	228	220-241	290-297	345-448
Germe Dayanımı	MPa	380	3450-4830	3450-6200	3450-5520
Kopma uzaması	%	1,6	1,5-2,2	1,3-2,0	0,7-1,0
Elektriksel özdirenç	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	1650	1650	1450	900
Isıl iletkenliği	W/m*K	20	20	20	50-80
Eksen yönünde elektriksel uzama katsayısı	$10^{-6} \cdot \text{K}$	-0,4	-0,4	-0,55	-0,75
Yoğunluk	g/cm ³	1,8	1,8	1,8	1,9
Karbon içeriği	%	95	95	95	99
Lif çapı	μm	6-8	6-8	5-6	5-8

Aşağıdaki Çizelge 3.4. de karbon liflerinin sınıflandırması mevcuttur.

Çizelge 3.4. PAN Esaslı karbon elyaf liflerinin sınıflandırılması (Seventekin vd., 2007).

Modüllerine Göre	Ultra Yüksek Modüllü (UHM)	Modülleri 820 GPa civarındadır. Örn: Thornel-Type P-120
	Yüksek Modüllü (HM)	Modülleri 300-500 GPa ve mukavemet/modül değeri $5-7 \cdot 10^{-3}$ 'dür. Örn: Toray firmasının ürettiği M50
	Orta Modüllü (IO)	Modülleri 300 Gpa'a kadar ve mukavemet/modül oranı $5-7 \cdot 10^{-2}$ 'dir. Örn: Poliakrilnitril esaslı olan M30
	Düşük Modüllü (LM)	Modül değeri 100 Gpa civarında ve izotropik yapıdadır.
Mukavemet Değerlerine Göre	Çok Yüksek Mukavemetli (UHS)	Mukavemetleri 5 Gpa ve Mukavemet/sertlik değeri $2-3 \cdot 10^{-2}$ 'dir. Örn: Poliakrilonitril esaslı T1000 lifi
	Yüksek Mukavemetli (HS)	Mukavemetleri 3 Gpa ve Mukavemet/sertlik değeri $1,5-2 \cdot 10^{-2}$ 'dir.
Son İşlem Sıcaklığına Göre	Tip 1	Son işlem sıcaklığı 2000 °C'dır. Yüksek modüllü liflerdir.
	Tip 2	Son işlem sıcaklığı 1500 °C'dır. Yüksek mukavemetli liflerdir.
	Tip 3	Son işlem sıcaklığı 1000 °C'dır. Düşük modül ve mukavemetli liflerdir.

Bitkisel, zift ve PAN esaslı liflerden üretilen karbon fiber liflerin karşılaştırılmasını yaparsak;

- Bitkisel esaslı karbon lif üretimi uzun süreli ve maliyetlidir.
- Bitkisel esaslı karbon liflerinin mekanik özellikleri daha düşüktür.
- Zift esaslı karbon liflerinin maliyeti daha düşüktür
- Zift esaslı karbon liflerinin mekanik özellikleri istenen özelliklerde üretilebilir ama PAN'a göre daha düşüktür.
- Zift esaslı karbon liflerinde karbonizasyon işlemi daha kolaydır
- PAN esaslı karbon liflerinin mekanik özellikleri daha iyidir.
- PAN esaslı karbon liflerinin üretimi daha kolaydır.

Karbon elyaf üretimi için kullanılan hammaddelerin yoğunluğu 1,14-1,19 g/cm³ arasında değişirken elde edilen karbon elyafların yoğunluğu özellikle grafitizasyon işlem sıcaklığı sonucu olarak 1,6-2,2 g/cm³ arasında değişmektedir (Seventekin vd., 2007).

Karbon elyaflar ile yapılmış kompozitlerin 1020 çelik yapılarından ağırlıkça %80 daha az ve 5 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca 6061 alüminyum yapılarına göre ise 2 kat daha sert, 7 kat daha dayanıklı ve 1,5 kat daha hafiftirler. Karbon elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan matris malzemesine göre yorulma değerleri ve korozyon direnci de metal malzemelerine göre büyük bir üstünlük göstermektedir. Ziftten üretilen karbon fiber liflerinin elektrik iletkenliği bakıra göre 3 kat daha iyidir. Yukarıda saydığımız başlıca özelliklerden dolayı karbon fiber takviyeli kompozitler birçok sektörde kullanılmaktadır (Seventekin vd., 2007; Walsh, 2001).

Günümüzde en büyük karbon fiber üretimini %30 ile ilk sırada A.B.D. ve Kuzey Amerika, %24 ile Avrupa ülkeleri ve %20 ile Japonya karşılamaktadır. En büyük tüketim ise özellikle uzay ve havacılık sektöründe büyük yatırımları olan A.B.D ve Kuzey Amerika ülkeleri gelmektedir (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2015).

3.3. Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Kullanıldığı Sektörler

Karbon elyaflar pahalı olmasına karşın üstün mekanik ve kimyasal özelliklerinden dolayı özellikle uzay endüstrisi başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Karbon elyaf tüketimine sektörel olarak baktığımızda aşağıdaki oranlar çıkmaktadır.

- Havacılık ve Savunma %30
- Rüzgâr türbinleri %14
- Spor ve eğlence %14
- Endüstriyel uygulamalar %12
- Otomotiv sanayi %11
- Elektronik %9
- Basınçlı kaplar %5
- İnşaat Sektörü %5
- Denizcilik sektörü %2
- Diğer %7

Yukarıda verilen oranlar ortalama değerlerdir. Teknolojik gelişimlerle birlikte azda olsa değişimler olmaktadır (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2015; Wilson, 2009).

3.3.1. Havacılık ve savunma

ABD ve Avrupa da ticari havacılık sektörünün istekleri doğrultusunda da havacılık sektörüne verilen karbon elyafların %60'ı büyük yolcu ve kargo uçaklarının imalatında kullanılmaktadır. Askeri savaş ve nakliye uçakları ise ikinci sırada yer almaktadır. Bunları özel uçaklar, helikopterler, uzay havacılığı ve spor uygulamaları takip etmektedir (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2015).

Karbon elyaf kompozitlerin havacılık ve savunma sektöründe kullanıldığı parçalar genel olarak aşağıdaki gibidir (Balcı, 2006; Er, 2003).

- Uzay roket motorlarında
- Uydularda ve füzelerde
- Kanat panelleri
- Ön gövde
- Kontrol yüzeyleri
- Flaplar
- Kuyruk takımlarında
- Motor kılıflarında

3.3.2. Rüzgâr türbinleri

Karbon elyaf kompozitlerinin en çok tüketildiği ikinci pazar rüzgâr türbinleridir. Özellikle 2005 yılından sonra sürekli büyüme halinde olan sektörde üreticiler daha hafif ve daha uzun rotor kanatları yapmak için dayanımın değerleri yüksek olan karbon elyaf kompozitleri tercih etmektedirler. Bu sektörde en büyük pay %30 ile Çin Halk Cumhuriyeti'ne aittir. Çin'i %19 ile ABD ve %11 ile Almanya takip etmektedir (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2015).

3.3.3. Spor ve eğlence

Karbon elyaf kompozit kullanan ve geliştiren bir sektör haline gelmiştir. Karbon elyaf kompozitler sadece yüksek performans gerektiren sporların haricinde kendine büyük bir yelpazede diğer spor dallarında da kullanılmaya başlanmıştır. Başlıca yapılan ürünler (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2015);

- Golf ve beyzbol sopaları
- Tenis ve badminton raketleri
- Bisiklet gövdeleri

- Kayak, kayak çubukları ve snowboard
- Su sporlarında kullanılan kürek, sörf direkleri, kano ve olta kamışları

3.3.4. Otomotiv sanayi

Otomotiv sanayinde özellikle hafiflik sağlanarak yakıt miktarını, CO₂ emisyon oranlarının düşmesini sağlamak için karbon elyaf takviyeli kompozitler kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak 1980 yıllarında spor araçlarında eksantrik mil olarak otomotiv sanayine giren karbon elyaf kompozitler ilerleyen zamanlarda seri üretim olan araçlarda da kullanılmaya başlanmıştır.

Karbon elyaf kompozitlerle üretilen parçalara bakarsak (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2015);

- Karbon elyaf takviyeli seramik frenler
- Çarpma elemanları ve monobloklar
- Yolcu bölümleri
- Yakıt hücrelerinde
- Pist spor araçlarının kaportası

3.3.5. Basınçlı kaplar

Karbon elyaflar, iç kısmı termoplastik polimerlerden oluşan üstü ise karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme ile sarılmış olan yüksek basınç kapları ile hidrojen gazının depolanmasında kullanılmaktadır (Alınak vd., 2008).

Sıkıştırılmış doğal gaz tankları içinde yine karbon elyaf takviyeli kompozitler kullanılmaktadır. Bu kaplar 200 bar basınca dayanmakla birlikte çelikten yapılan tankların ağırlıklarının %20-35'i arasında kalmaktadır (Wilson, 2009).

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerle yapılan borular özellikle okyanusların derinliklerinde bulunan offshore oil yağlarının çıkarılması için kullanılır. Karbon elyaf takviyeli kompozitler ile 3000 m derinliğe kadar uygulama yapılabılır. Kullanılmasının diğer bir nedeni ise açık sularda oluşan dalgalar ve kötü hava koşullarında platformlarda oluşan titreşim frekanslarını minimize ederek yapının zarar görmesini engellemesidir (Wilson, 2009).

3.3.6. İnşaat sektörü

Karbon elyaflar inşaat sektöründe en çok yapısal güçlendirme takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Karbon elyafli kompozitler sargı, eğilme, darbe dayanımı ve sehim amaçlı

olarak yeni mimari yapılarda, köprülerde ve eskiyen yapıların tamirinde kullanılmaktadır. Karbon beton maliyetinin fazla olmasına karşın ömrünün uzun olması, daha hızlı ve düşük maliyetle kurulum, daha hafif nakliye masraflarından dolayı uzun vadede kendini dengelemektedir (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2015; Can, 2008).

3.3.7. Denizcilik sektörü

Gemi ana yapı malzemesi olan çeliğin yerini yavaş yavaş alan karbon elyaf kompozitlerin en büyük avantajı ağırlığın düşmesiyle yakıt sarfiyatının azaltarak seyir mesafesini uzatması ve taşıma kapasitesini arttırmasıdır. Ancak karbon elyaf kompozit maliyetlerinin fazla olması büyük grostonluk gemilerde dış kaplama elamanı olarak değil yaşam mahalleri ve makine dairelerinde kullanılmaktadır. Özel yatlar, tekneler, yelkenliler ve deniz botlarında daha çok kullanılmaktadır. Karbon elyaf ile yapılan parçalara örnek olarak aşağıdakileri verebiliriz (Wilson, 2009; Sivri, 2008);

- Zincir plakaları
- Dümen
- Rulman
- Yelken direkleri
- Sandviç paneller
- Şasi
- Elektronik komponentler
- Dişli kutusu

3.3.8. Diğer kullanım alanları

- Sağlık sektöründe; karbon lifleri biyo uyumluluğa sahip olduğu için kemik kayıplarını azaltmak için kemik yapısına yerleştirilir. Yapay eklem, tendon ve karaciğer yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca X-Ray cihazlarında da kullanılmaktadır (Seventekin vd., 2007; Balcı, 2006; Wilson, 2009).
- Elektronik; dizüstü bilgisayarlar ve dijital kameraların iskeletinde ve bazı elektronik parçalarda kullanılmaktadır (Seventekin vd., 2007; Balcı, 2006; Wilson, 2009).
- Karbon lifleri enerji depolama bataryalarında da kullanılmaktadır (Seventekin vd., 2007).
- İtfaiyeci başlıklarında yüksek sıcaklıklara ve darbelere dayanımından dolayı karbon elyaf kumaşlar kullanılır (<http://www.ilerisavunma.com/tr/yangin/baslik>).

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin ilk kullanımından itibaren sürekli bir araştırma içerisinde olduğu görünmüştür. Literatür araştırmamızda son 25 yıl içerisinde ki karbon elyaf, mekanik deneyler ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Altay yapmış olduğu tez çalışmasında, doğu kayınından hazırlanan lamine ürüne, epoksi ve poliüretan birleştiriciler kullanarak karbon fiber takviye etmesiyle değişen mukavemet değerlerini araştırmıştır. Yapmış olduğu eğilme, yapışma, yanma ve boyutsal testlerde en iyi sonuçları epoksi yapıştırıcılı karbon elyaf kullanılan lamine parçalarının verdiğini bulmuştur (Altay, 2014).

Arslan vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerinin içerisine metal tel örgü ekleyerek katı partikül erozyonunu incelemişlerdir. Bu incelemede katı partikül erozyonlarını karakterize ederek yüzeyde oluşan aşınma miktarını analiz etmişlerdir. Testlerini ASTM G 76 standardına göre hazırlamış oldukları test düzeneğinde yapmışlardır. Yapılan testler sonucu 75° çarpma açısı ile oluşan korozyon değerinin minimum değerde olduğu, 45° çarpma açısı ile ise daha çok aşınma yaşandığını tespit etmişlerdir (Arslan vd., 2018).

Atıl ve Evcin yapmış oldukları çalışmada karbon fiber takviyeli silikon matrisli üretilen kompozit malzemelerde matris malzemesinin içerisine katkı malzemeleri ekleyerek matrisin viskosite değerini düşürerek daha iyi bir akış sağlamak ve böylece takviye malzemesini sarmasını amaçlamışlardır. Üretilen kompozit malzemelerin ara yüzey kayma mukavemet değerlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak matris malzemelerine katılan katkı malzemelerinde en iyi sonucu diklorometan ilavesiyle olduğunu bulmuşlardır. Diğer katkı maddeleri matris malzemesini incelttiğini ancak çok iyi bir yayılma ve yapışma yapamadığı göstermiştir (Atıl ve Evcin, 2017).

Baral vd. lerinin yapmış olduğu çalışmada, tekyönlü karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin enine gerilim değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda karbon lif modüllerinin 380-640 GPa arasında değiştiğini görmüşlerdir. Poliakrilonitril (PAN) esaslı karbon lifli kompozitlerin modül değeri arttıkça delaminasyon dirençlerinde ve enine hata zorlanmalarının düştüğü belirlenmiştir. Zift esaslı karbon elyaf lifli kompozitlerin PAN esaslı karbon elyaf lifli kompozitlere göre enine kata zorlanmasının daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir (Baral vd., 2008).

Bergmann vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, farklı takviye ve farklı matris malzemeleri kullanarak elde ettikleri kompozitlerin çekme deneyi sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Takviye malzemesi olarak cam, aramid ve karbon elyaf kumaşlar kullanırken matris malzemesi olarak ise epoksi, sertleştirilmiş epoksi ve polieter eter keton kullanmışlardır. Karbon elyaf kumaş takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemesinden elde edilen numunelerle çekme testi yapılmış ve çıkan sonuçları referans olarak kullanmışlardır. Sertleştirilmiş epoksi matris ile üretilen karbon elyaf takviyeli kompozitlerin, referans numunesine göre esneklik katsayısı ve çekme gerilme değerinden %4 daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Cam elyaf kumaş takviyeli kompozitlerin referans numunesi ile karşılaştırıldığında esneklik kat sayısında %14, çekme gerilmesinde ise %22,5' lik bir düşüşün olduğu aramid elyaf kumaş takviyeli kompozitlerde ise cam elyafa göre çekme gerilmesinde az da olsa artış olurken esneklik katsayısında büyük bir düşüş olduğunu tespit etmişlerdir (Bergmann vd., 2015).

Botelho vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, karbon fiber takviyeli poliamid 6 (PA6) ve poliamid 66 (PA66) matrisli kompozitlerinin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Elde etmiş oldukları kompozit malzemelerinde %40-50-60 oranlarında karbon elyaf takviyesi kullanmışlardır. Yapılan çekme deneyleri sonucunda elyaf miktarının artmasıyla çekme mukavemeti ve elastiklik modül değerlerinin arttıklarını görmüşlerdir. Değerlerin yüksek çıkmasını takviye elemanı ile matris arasında oluşan bağların ve adhezyon değerinin artması sonucu olduğunu öngörmüşlerdir (Botelho vd., 2003).

Botelho ve Rezende'nin yapmış oldukları çalışmada, örülmüş karbon elyaf takviyeli poliamid 6 (PA6) ve poliamid 66 (PA66) matrisli kompozitlerin sıcak basınç kalıplama yöntemiyle üretilmeleri esnasındaki süreç şartlarını optimize etmeye çalışılmışlardır. Bunun için ısı ve reolojik analizler yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda PA66 için 290 oC, PA6 için ise 250 oC süre sıcaklığı belirlemişlerdir. Karbon elyaf miktarının artmasıyla kayıp modül değerinin de arttığını tespit ederken camsı geçiş sıcaklığının değişmediğini görmüşlerdir (Botelho ve Rezende, 2006).

Can yapmış olduğu çalışmada polimer matrisli karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerinin kenar budama işlemlerinin yüzey kalitesini ve işlenebilirliğini araştırmıştır. Çalışmada frezeleme tipi, ilerleme hızı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne ve deformasyon davranışına nasıl etki yaptığını bakılmıştır. Yapılan deneyler sonucu yanıl frezeleme ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin dik frezelemeye göre daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuştur. Kesme hızı ve kesici ağız sayısı artarken ilerleme hızı azaltıldığında deformasyonun da azaldığını görmüştür (Can, 2017).

Choi ve Chang yapmış oldukları çalışmada, bir cismin düşük hızla grafit elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemesine nokta vuruşla oluşacak deformasyonları incelemişlerdir. Nokta vuruşla oluşacak olan matris çatlakları ve katmanlar arasındaki delaminasyonları belirlemede kullanılan kütlenin bir fonksiyonu olduğunu belirlemek için bir model geliştirmişlerdir. Yapmış oldukları modelleme ile hasar başlangıcını ve son hasarın derecesini belirlemeye çalışmışlardır. Nokta şeklindeki darbe sırasında kompozit malzeme içerisinde oluşan iç gerilmeleri hesaplamak için dinamik sonlu elemanlar analizi kullanmışlardır. İlk darbe ile oluşan matris çatlağını ve katmanlar arasında oluşan delaminasyonların boyutunu belirlemek için kriterler belirlemişlerdir. Yapmış oldukları model ve simülasyonların doğruluğunu belirlemek için deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak yapmış oldukları model ile deney sonuçları bir birlerine yakın çıkmıştır (Choi ve Chang, 1992).

Çağlarer yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, karbon elyafın tork kontrollü ön gerilme sistemindeki hasarları tespit etmek için DC direnç ölçüm yöntemi kullanmışlardır. Bu yöntem ile tahribatsız hasar analizi yaparak hasar noktasının belirleyen ve bu verileri ekran üzerine aktaran cihaz üzerinde çalışmışlardır (Çağlarer, 2012).

Çatak yapmış olduğu tez çalışmasında, silanlanmış ve fonksiyonlanmış karbon elyaf malzemenin poliamit matris ile farklı oranlarda hazırlanmış kompozit malzemelerin cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerle mekanik olarak karşılaştırılmasını yapmıştır. Deney sonuçlarında ise karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin daha yüksek değerlere sahip olduğunu bulmuştur (Çatak, 2016).

Çelikçi yapmış olduğu tez çalışmasında, kesikli karbon elyaf takviye malzemesini polietilen matris içerisine farklı ağırlık oranlarına göre yerleştirerek ekstrüzyon ile karıştırıp enjeksiyon yöntemiyle kompozit malzemeler elde ederek mekanik ve ısıl özelliklerini incelemiştir. Çalışmada çekme, darbe ve sertlik testleri yapılmıştır. Testler sonucu elyaf miktarındaki artış ile doğru orantılı olarak çekme, darbe ve elastik modülünde artış olurken kopma uzamasında ise azalma olduğunu tespit etmiştir (Çelikçi, 2013).

De Moura ve Marques yapmış oldukları çalışmada, karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelere düşük hız etkisi ile darbe yapılması sonucu oluşacak hasarı belirlemek için sayısal ve deneysel analizler yapmışlardır. Deney cihazında kullanmak için iki farklı laminat çeşidi ve damla ağırlık kullanılmıştır. Derin teknik ve X ışınları radyografi yöntemleri kullanılarak ürün hasar karakterizasyonunu belirlemişlerdir. Geliştirmiş oldukları model katmanlar arasındaki interlaminar kayma gerilmelerini belirlemek için sonlu elemanlar analizlerine dayandırılmıştır. Delaminasyonları tahmin etmek için daha önce kullanılmış ve

deneysel gözlemler sonucunda elde edilen kriterler kullanılmıştır. Yapmış oldukları deneyler ile sayısal analiz karşılaştırmaları sonucunda delaminasyon şekilleri ve yönlendirmelerinde uyum yakalamışlardır (De Moura ve Marques, 2002).

Demir vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerin kuru kayma koşullarındaki abrasiv aşınma değerlerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada 5,10 ve 15 N yük altında 0,4; 0,6; ve 0,8 kayma hızlarında ve 250, 500 ve 750 m kayma mesafelerindeki kompozitlerin tribolojik özelliklerine etkisine bakmışlardır. Deney sonucunda cam elyaf kompozitlerin sürtünme katsayısının ve kütle kaybının daha düşük değerlerde olduğunu bulmuşlardır. En büyük kütle kaybının 15 N yük altında, 750 m kayma mesafesinde ve 0,8 m/s kayma hızında olduğunu tespit etmişlerdir (Demir vd., 2018).

Demirel yapmış olduğu tez çalışmasında, epoksi matrisli karbon elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda elyaf liflerinin yerleştirilme şeklinin mekanik etkiler de büyük oranda etkisi olduğunu bulmuştur. Aynı tabaka sayısına sahip karbon elyaf kompozitlerde en iyi çekme test sonuçlarını 0^0 dereceli numuneler de olduğunu bulmuştur. Test sonucunda çekme dayanımını 1713,48 MPa, çekme modülünü ise 127,12 GPa olarak bulmuştur. Düzlem içi kayma testlerinde ise yerleştirme açısı $\pm 45^\circ$ olan ve katman sayısı 10 olan numunelerin kayma dayanımını 75,20 MPa olarak bulmuştur. Ayrıca taşıma testlerinde 0^0 li yerleştirme oranı arttıkça taşıma dayanımının arttığını bulmuştur (Demirel, 2007).

Deng ve Ye yapmış oldukları çalışmalarında grafit takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde takviye elemanı ile matris malzemesi arasındaki yapışma oranlarının etkisini araştırmışlardır. Bunun için çekme, bükülme ve yorulma testlerini iki farklı lif yüzeyine sahip grafit elyaf ve epoksi matris kullanarak elde etmiş oldukları kompozitleri kullanmışlardır. Uzunlamasına yapmış oldukları çekme ve bükülme test sonuçlarında mukavemet değerlerinde çok az bir artış olduğunu tespit ederken uzunlamasına çekme ve bükülme modüllerinde ise çok fark olmadığını tespit etmişlerdir. Enine yapmış oldukları test sonucunda çekme ve bükülme modüllerinde ise yapışma oranlarından bağımsız olduğu halde takviye elemanı-matris yapışma oranlarının iyileştirilmesi ile önemli bir artış olduğunu görmüşlerdir (Deng ve Ye, 1999).

Dilsiz ve Wightman'ın yapmış oldukları çalışmada elyafların yüzey enerjilerini ve asit-baz karakterlerini incelemek için dinamik temas açısı yöntemini kullanarak yüzeyi kaplanmamış karbon elyaf ile yüzeyi poliüretan ve poliimid ile kaplanmış karbon elyaflar kullanmışlardır. Ayrıca kaplama malzemesinin karbon elyaf yüzeyi üzerine etkisini de araştırmışlardır. Sonuç olarak kaplamanın karbon elyaf yüzey enerjisini azaltırken asit-baz bölgelerini ise kaplayarak

kapattığını bulmuşlardır. X-ışını fotoelektron spektroskopu (XPS) analizini kullanarak yüzeyi kaplanmış ve kaplanmamış karbon elyafın yüzey kimyasını incelemişlerdir. Poliimid ve poliüretan kaplama kullanıldığı durumda elyaf yüzeyinde bulunan hidroksil grup sayılarında azalma olduğunu görmüşlerdir. Ara yüzey yapışmasını değerlendirmek amacıyla, kaplanmamış ve kaplanmış elyaf ile epoksi matris kullanılarak hazırlanan kompozitlere tek lif çekme testi yapmış ve lif yüzeyinde oluşan kimyasal değişikliklerin elyaf-matris yapışması üzerinde doğrudan etkisi olduğunu bulmuşlardır (Dilsiz ve Wightman, 2000).

Djordjevic vd. lerinin yapmış olduğu çalışmada, tekyönlü karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin farklı sıcaklık değerlerinde basınç yöntemiyle üretilen kompozitlerin makro-mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Elde etmiş oldukları numunelere gerilim, bükülme, kayma testleri uygulayarak elde ettikleri sonuçları literatür verileriyle karşılaştırmışlardır (Djordjevic vd., 2007).

Donadan vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, darbe yükü altındaki kompozit malzemelerin dinamik malzeme tepkisini belirlemek için üç boyutlu bir model geliştirmişlerdir. Modellemede kullanmış oldukları formülasyon Süreklilik Hasar Mekanikliği dayandırılarak kırılma düzlemi ve örgü şeklinden bağımsız olarak oluşabilecek her bir arıza modülü ile oluşan enerji dağılımının kontrolü sağlanır. Oluşan enerjinin azalmasını belirlemek için termodinamik olarak geri dönüşümsüz hasar değişiklikleri belirlenmiştir. Yapmış oldukları model katı elementler içerisinde LS-DYNA açık kesin element koduna uygulanarak statik-dinamik tepkiler, emilim enerjisi ve hasarların içeriği olarak deneysel sonuçlar ile iyi bir benzerlik sağlanmış ve yeniden üretilen bileceğini kanıtlamışlardır (Donadan vd., 2008).

Dong vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, karbon elyaf takviyeli poliimide matrisli kompozit malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda karbon elyaf miktarının artmasıyla paralel olarak yüksek sıcaklıklarda (180-260 C) karbon elyafların yağlayıcılık özelliklerinin arttığını ve transfer film tabakasının tribolojik özelliklerini geliştirerek aşınma direncini arttırdığını belirlemişlerdir (Dong vd., 2016).

Elarabı ve Weidong yapmış oldukları çalışmada karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerde enine dizilmiş liflerin aksel çekme mukavemet değerlerini karşılaştırmışlardır. Karbon elyaf olarak tek yönlü filamentler ve çift yönlü örme kumaş kullanmışlardır. Deneyler sonucunda çift yönlü örme kumaşlardan yapılan kompozit malzemelerin değerlerinin daha yüksek çıktığını belirlemişlerdir. Epoksi matris eklenmesiyle her iki karbon elyaflı kompozit malzemelerin modül değerlerinin yükseldiğini görmüşlerdir. Tek yönlü karbon fiber ile üretilen kompozitlerde çekme yükü ve uzama azalırken çift yönlü kumaştan

üretilen kompozit malzemesinde ise bu değerlerin arttığını belirlemişlerdir (Elarabı ve Weidong, 2005).

Fu vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, ekstrüzyon yöntemini kullanarak kısa cam elyaf takviye ve kısa karbon elyaf takviye malzemeleriyle polipropilen martis malzemesini karıştırarak, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle kompozit malzemeleri hazırlamışlardır. Hazırlamış oldukları kompozitlerin çekme deneyi sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sonuçlara bakıldığında, ortalama elyaf uzunluğunun elyafların ağırlıkça karışım oranlarının artması ile her iki elyaf için azaldığını bulmuşlardır. Kompozitlerin çekme geriliminin, ağırlıkça elyaf oranından daha çok ortalama elyaf uzunluğu veya elyaf en-boy oranına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Elastik modülün de belirleyici etkenin ise ağırlıkça elyaf oranı olduğu görünmüştür. Elyaf etkinlik faktörü için kompozitlerin çekme gerilimi ve elastik modülleri, kısa cam elyaf için ağırlıkça elyaf oranı arttıkça elyaf etkinlik faktörünün azaldığını ancak kısa karbon elyaflara göre daha yüksek olduğunu görmüşlerdir (Fu vd., 2000).

Genç yapmış olduğu tez çalışmasında karbon elyaf kullanarak elyaf sarma yöntemiyle ürettiği kompozitlerin mukavemeti ile ön gerilme değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda elyaf sarma makinelerin de bulunan makaralar ile elyaf arasında ki dinamik sürtünme oranını $\mu_d=0,417$ (S.S. $\pm 0,003$) olarak bulmuştur. Ayrıca bu sürtünmeden kaynaklanan çekme dayanım düşümünün %10-43 aralığında olduğu ve bu özelliklerin üretilen kompozit malzeme özelliklerine etkisini azaltmak amacıyla istatistiksel bir model önerisinde bulunmuştur (Genç, 2008).

Jang ve Lee yapmış oldukları çalışmada, polifenilensülfür (PPS) matrisli karbon elyaf takviyeli kompozitlerde ara yüzey yapışma oranını arttırmayı amaçlamışlardır. Bunun için karbon elyaf lif yüzeylerini, “silan bağlayıcı” ve “düşük sıcaklık plazma” yöntemleriyle işlemişlerdir. Yüzey işleme şartlarını mekanik özellik değerleri ve SEM sonuçlarının yardımıyla karar verilmişlerdir. Deney sonuçlarında düşük sıcaklık plazma ve silan bağlayıcı işlemlerinin PPS ve karbon elyaf arasındaki ara yüzey yapışmasını ayrı ayrı arttırdığını ancak en iyi yapışma oranının iki yöntemin bir arada kullanılması ile olduğunu tespit etmişlerdir (Jang ve Lee, 1994).

Kara ve Akbulut yapmış oldukları çalışmada titreşim sönmüleyicilerde kullanılan çelik yaylar yerine karbon nanatüp katkılı ve karbon elyaf takviyeli kompozitleri kullanarak helisel yaylar elde ederek bu yayların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Farklı yüzde oranları ile epoksi matris içerisine ilave edilen karbon nanatüpler daha sonra karbon elyaf takviyesi ile birlikte kompozit ürünler üretmişlerdir. Üretmiş oldukları kompozit malzemelerin mikromekanik ve tasarım parametreleri üzerinde etkisi olan yay tel çapı ve yay rijitliğini incelemişlerdir. Kompozit yayların nümerik analizlerinde deformasyon değerleri ve kayma gerilme dağılımlarını bulmak

için ANSYS yazılımını kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda karbon nanatüp katkılı karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit yayların çelik yaylara göre daha iyi deformasyon ve kayma gerilmesi özelliklerini gösterdiklerini bulmuşlardır (Kara ve Akbulut, 2017).

Karslı ve Aytaç yapmış oldukları çalışmada karbon fiber takviye malzemesini eriyik karıştırma yöntemi kullanarak güçlendirilmiş poliamid 6 kompozitleri üretmişlerdir. Karbon fiber oranının kompozit malzemesinin mekanik, termal ve morfolojik özellikler üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Kullanılan karbon miktarının artması ile modül, sertlik ve çekme dayanımını artırır iken kopma değerlerinde gerilim düşümü olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca artan karbon fiber oranıyla birlikte füzyon ısı ve göreceli kristallik değerlerinde azalmalar görülmüştür. bir diğer tespit ise karbon fiber miktarıyla birlikte kompozitlerin depolama modülü ve kayıp modüllerinin de arttığını tespit etmişlerdir (Karslı ve Aytaç, 2013).

Karslı ve Aytaç yapmış oldukları çalışmada, eriyik karıştırma yöntemini kullanarak karbon elyaf takviyeli poliamid 6 matrisli kompozit malzeme elde ederek mekanik, termal ve morfolojik değerlerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda karbon elyaf miktarının artmasıyla çekme, sertlik ve modül değerlerinin arttığını fakat kopma uzama oranının düştüğünü tespit etmişlerdir. Buldukları diğer bir sonuç ise karbon elyaf miktarındaki artış ile kompozit malzemenin erime entalpisinin ve bağıl kristalinite değerinin düştüğünü görmüşlerdir (Karslı ve Aytaç, 2013).

Karslı Yılmaz yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, farklı özelliklerdeki karbon elyaflar ve farklı matrislerle üretilen kompozitlerde mekanik, termomekanik ve morfolojik özelliklerini inceleyerek yapışma özelliklerini iyileştirilmeye çalışmıştır. Ayrıca yerli ve yabancı üretimi yapılan karbon elyaflardan üretilen kompozitleride karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda poliamit ve poliüretan ön kaplanmış elyaf türlerinin poliamit 6,6 matris ile kullanıldığında en yüksek mekanik ve termomekanik değerlere sahip olduğunu bulurken fenoksi ve poliüretan ile ön kaplaması yapılmış elyafların polibütilentereftalat matris ile kullanıldığında yine en yüksek mekanik ve temomekanik değerleri verdiği görülmüştür. Kullanılan kaplama malzemelerin kompozit değerlerini çok değiştirmedeği görülmüştür. Kullanılan karbon elyafların poliamit 6,6 matrisi ile üretilen kompozitlerin diğer ticari ürünlere göre daha iyi bir takviye malzemesi olduğu görülmüştür. Polibütilentereftalat matrisli malzemelerin ise performansının daha düşük olduğu görülmüştür (Karslı Yılmaz, 2014).

Karslı Yılmaz yapmış olduğu tez çalışmasında, farklı termoplastik matris malzemesi ve yüzey kimyasalı içeren ve normal olan farklı boylarda kısa karbon elyaf takviyesi kullanarak ekstrüzyon yöntemiyle karıştırıp enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kompozit malzemeler elde

etmiş ve özelliklerini incelemiştir. Hazırlanmış olduğu matris içerisine karbon elyafı % 2-4-6-8-20 oranlarında eklemiştir. Yapmış olduğu testler sonucunda karbon elyaf miktarındaki artışla paralel olarak kopma dayanımının, modül ve sertlik değerlerinin arttığını görmüştür. Ayrıca kopma uzamasının ve kristalinite değerlerinin ise aynı oranda azaldığını tespit etmiştir. Kullanmış olduğu karbon elyaf türlerinin morfolojik ve mekanik özellikleri çok fazla etkilemediğini bulmuştur. Bunun sonucunda normal karbon elyafın kullanılması önerisinde bulunmuştur (Karlı Yılmaz, 2011).

Kıyak vd. lerinin yaptıkları çalışmada, karbon fiber kompozit malzemeden çekirdek yapısı ve yüzey kapakları oluşturulan sandviç panel imalatı yaparak yanal yüzeylerine çekme-basma testleri uygulayarak kuvvet-yer değiştirme değerlerine bakmışlardır. Uygulanan kuvvet ile oluşan hasarları incelemiş ve ANSYS programında burkulma yüklerini hesaplayarak sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır (Kıyak vd., 2018).

Kıyak yapmış olduğu tez çalışmasında farklı hücre yapılarına sahip karbon elyaf çekirdek yapısına sahip sandviç yapı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Bu amaçla 10 farklı çekirdek yapısına sahip numuneler elde etmiş ve bunların basma ve eğme deneylerini yapmıştır. ANSYS programı ile sonlu elemanlar metodunu kullanarak sayısal veriler elde etmiştir. Sonuç olarak hücre yapısının değişiminin basma dayanımını fazla etkilemediğini belirlemiştir. Kare ve üçgen kesitlere göre dikdörtgen kesitli numunelerin eğme dayanımlarının %100 oranda arttığını bulmuştur. Hücre yüksekliğinin artmasıyla basma dayanımında azalma yaşanırken, eğme dayanımında bunun aksine yüksek oranlarda arttığını tespit etmiştir (Kıyak, 2017).

Migliaresi vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, karbon elyaf takviyeli kompozit kullanarak sabitleyici üretimi üzerine çalışmışlardır. Sabitleyicilerin farklı koşullarda ve farklı sarım açılarında da göstermiş oldukları performans değerlerini inceleyerek elde ettikleri değerleri metalik sabitleyiciler ile karşılaştırarak aralarındaki farkları belirlemişlerdir (Migliaresi vd., 2004).

Molnár vd. lerinin yaptıkları çalışmada, kısa karbon elyaf takviyeli PA 6 matrisli kompozitleri elde etmek için malzemeleri ekstrüzyon yöntemi ile karıştırdıktan sonra enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle hazırlanmıştır. Karışımın içeriğinde hacimce %0 ile %16 arasında karbon elyafı kullanmışlardır. Kalıplama aşamasında enjeksiyon hızını 2,0 cm/s ile 22,6 cm/s arasında yapmışlardır. Karbon elyaf uzunluğunu ve yönlenmesini ölçerek oluşan yapının ortalama karakterize değerlerini elde etmişlerdir. Sonuç olarak, karbon elyaf uzunluğunun kalıplama hızıyla ve artan elyaf miktarı ile azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca kompozitin kalıplama makinesi

ile temas eden en üst bölgesindeki liflerin rastgele yönlendikleri, ortasındaki liflerin ise akış yönünde yönlendikleri görülmüştür. Tüm karışımların benzer şekilde gevrek kırılmaya uğradıklarını darbe testi sonuçlarından tespit etmişlerdir. En düşük kırılma tokluğu ve darbe direncini en düşük elyaf miktarında elde edildiğini tespit edilmişlerdir. Bundan dolayı malzemenin rijitliğinin ve tokluğunun elyaf miktarı ve enjeksiyon hızına bağlı olarak arttırdığı sonucuna varılmışlardır (Molnár vd., 1999).

Murugan vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, karbon ve cam elyaf takviyelerini kullanarak farklı dizilimli dört katmanlı kompozit malzemeler elde etmiş ve bu kompozit malzemelerin çekme, eğilme ve darbe testlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda sadece karbon elyaf tabakalardan (K/K/K/K) oluşan kompozit malzemelerin çekme ve eğilme değerlerinin en yüksek olduğunu, darbe dayanımlarının ise daha düşük değerlerde olduğunu bulmuşlardır. (C/C/C/C) tabakalarından oluşan kompozit malzemenin ise sadece darbe dayanımlarının daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Karışık tabakalara sahip olan hibrit kompozitlerin ise benzer değerlere sahip olduğunu ama (K/C/C/K) tabakalarından oluşan hibrit kompozit malzemesinin eğilme mukavemet değerinin (C/K/K/C) tabakalarından oluşan hibrit kompozite göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır (Murugan vd., 2014).

Okabe ve Takeda yapmış oldukları çalışmada, tek yönlü karbon elyaf takviyeli kompozitlere uygulanan gerilmelerin etkilerini analitik ve deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmanın amacı mikro-mekanik model oluşturarak kompozit malzemelerin içyapılarında oluşan hasarı tespit etmektir. Deney sonuçlarıyla oluşturulan modelleme istatistiksel sonuçların örtüşerek karbon elyaflarındaki hasarların örtüşüğünü görmüşlerdir (Okabe ve Takeda, 2002).

Öndürücü ve Karacan yapmış oldukları çalışmada, 8 ve 12 katman sayılarına sahip cam elyaf-epoksi kompozit malzemesinden üretmiş oldukları 4 ayrı numune grubuna 10 J, 20 J, 30 J'lük artan enerjiler ile darbe testi yapmışlardır. Yapmış oldukları test ile fiber yönelme açılarının ve tabaka kalınlıklarının darbe davranışlarını incelemişlerdir. Darbe enerjisindeki artış ile çökme miktarının da arttığını tespit etmişlerdir. Deneyler sonucunda 8 tabakadan oluşan numunelerin yük taşıma ve darbe dayanımlarının 12 tabakadan oluşan numunelere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Darbe test sonuçlarında numune yüzeylerinde ezilme, fiber uzaması ve matris kırılmaları görülürken alt yüzeyde fiber ayrılmaları, fiber kopmaları ve delinme hasarları tespit edilmiştir. Enerjideki artış sonucunda numunelerin hem üst hem de alt yüzeylerinde hasar bölgelerinin arttığı görülmüştür (Öndürücü ve Karacan, 2018).

Öztürk yapmış olduğu tez çalışmasında, cam elyaf, aramid (kevlar) ve karbon elyaf kumaşların poliüre matris içerisine yerleştirilmesi sonucu elde edilen kompozit malzemelerin

mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapmış olduğu çekme test sonuçlarında en iyi çekme dayanımı ve kopma uzamasının kevlar elyaf takviyeli kompozitlere ait olduğunu bulurken en iyi elastiklik değerinin ise karbon elyaf takviyeli kompozitlere ait olduğunu belirlemiştir (Öztürk, 2015).

Rezaei vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, karbon elyaf takviyeli PP matrisli kompozitler hazırlamışlardır. Kompozit malzemelerin elyaf uzunluklarını dikkate alarak ısı kararlılığını ve termomekanik özelliklerini belirlemek için TGA ile incelemiştir. Dinamik mekanik analiz ile kompozit malzemelerin sönümlenme özelliklerini incelemiştir. Elde etmiş oldukları değerler sonucunda elyaf uzunluğundaki artış ısı kararlılığı ve sönümlenme değerlerindeki özellikleri arttırdığını bulmuşlardır (Rezaei vd., 2009).

Rezaei vd., lerinin yapmış olduğu çalışmada, kısa karbon elyaf takviyeli PP matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Elyaf ağırlık oranı ve ortalama elyaf uzunluğu dikkate alınarak çekme ve sertlik özellikleri ile kırılma işlemini incelemiştir. İzod darbe enerjisini ölçmek için çentiksiz numuneler kullanmışlardır. Deneyler sonucunda karbon elyaf miktarındaki artış ile dayanımın, rijitliğinin, sertliğinin ve izod darbe değerlerinin arttığını görmüşlerdir (Rezaei vd., 2007).

Shi vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, kompozit malzemelerinde oluşabilecek iç ve dış çatlak formlarındaki hasarı belirlemek için kırılma mekaniği tekniklerini kullanarak etki hasarı, hasar başlangıcı için strese dayalı kriterler ve evrimini tespit etmeye çalışmışlardır. Kompozitlerde oluşan doğrusal olmayan kayma davranışlarını belirlemek için Soutis kayma gerilimi-yarı gerinim- ampirik formüllerini kullanmışlardır. Düşük hız etkisi altındaki kompozit davranışlarını simüle etmek için yarı element yöntemini kullanmışlardır. Yapmış oldukları deneysel sonuçlardan elde ettikleri darbe kuvveti eğrileri ve zaman-enerji eğrileri ile sayısal sonuçlar birbirleriyle benzerlik göstermiştir. Deney sonun da yapılan X-ışını radyografisi ile hasar mekanizmaları incelenmiş ve önerdikleri hasar modeli ile örtüştüğünü belirlemiştir (Shi vd., 2012).

Song tarafından yapılan çalışmada, farklı takviye malzemelerine sahip hibrid kompozit malzemeler üreterek bu kompozitlere uygulanan çekme yükleri altındaki davranışlarını incelemiştir. Oluşturduğu hibrid kompozitlerde takviye elemanı olarak Karbon-cam elyaf kumaşlar, Karbon-aramid elyaf kumaşlar kullanmıştır. Deneyler sonucunda karbon elyafların baskın özelliklerinden dolayı karbon-cam elyaf ve karbon-aramid elyaf kumaşlardan oluşan hibrid kompozitlerin benzer mekanik özellikler gösterdiğini belirlemiştir. Ayrıca üç katmandan oluşan Aramid-karbon-aramid ve Cam-karbon-cam elyaf kumaşlarından üretilen hibrid kompozitlerin mukavemet ve rijitlik değerlerinin Karbon-aramid-karbon ve Karbon-cam-karbon

elyaf kumaşlı hibrit kompozit malzemelere göre daha üstün özelliklerde olduğunu tespit etmiştir (Song, 2015).

Taşkıran yapmış olduğu tez çalışmasında, karbon elyafların farklı ağırlık oranlarında poliamid (PA6) matrisiyle ve yine farklı oranlarda Poli-Tetra-Flor-Etilen (PTFE) ve vaks kullanarak kompozit malzemeler elde ederek mekanik özelliklerini tespit etmiştir. Yapmış olduğu deneyler sonucunda yük miktarının ve kayma hızının artışıyla, aşınma oranının ve sürtünme oranının arttığını bulmuştur. PTFE ve vaks katkılı %20 karbon takviyeli PA6 matrisli kompozitlerin aşınma oranının ve sürtünme direncinin daha düşük değerlerde olduğunu bulmuştur. Karbon elyaf miktarının artmasıyla birlikte çekme, basma, elastiklik modülü ve izod darbe dayanımlarının arttığını tespit ederken kopma uzamasının aynı oranlarda azaldığını görmüştür (Taşkıran, 2018).

Tekalur vd. lerinin yaptıkları çalışmada, E-cam ve karbon fiber takviyeli vinil ester matrisli kompozit malzemelerin, yüksek hızlı ve yarı statik gerilmelerdeki davranışlarını incelemişlerdir. Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin yarı statik yüklemelerde E-camı takviyeli kompozitlere göre çekme ve basma mukavemetlerinin daha yüksek değerlerde olduğunu görmüşlerdir. Bunun yanında E-cam takviyeli kompozitlerde katmanlar arasında ki içi içe geçmenin daha iyi ve kesme dayanımlarının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir (Tekalur vd., 2007).

Topbaş yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, hazırladıkları deney düzeneğiyle sürekli karbon elyafların elyaf sarma yöntemi ile üretimi yapılırken meydana gelen lif kırılmalarından dolayı mukavemet düşüm oranlarını araştırmıştır. Oluşan kayıpların çeşitli parametrelere göre çekme deneyler sonucunda %25 civarında azaldığını bulmuştur. Oluşan lif kırılmalarının tespiti için ön gerilme deney düzeneğine gerçek zamanlı elektriksel düzenek yerleştirmiştir. Düzenek sayesinde tüp etrafına sarılan karbon elyafların da oluşan hasar miktarı bulunarak, kompozit ürününün yüksek basınç testleri ile doğruluğunu ortaya çıkarmıştır (Topbaş, 2015).

Tsotra vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada, karbon elyaf takviyelerinin kademeli olarak epoksi matris içerisine yerleştirmek için santrifüj yöntemi kullanılarak kompozit malzemeler üretilmişlerdir. Lif içeriği, lif boyu ve değiştirilebilir dönme hızları oranı kontrol altında tutulabilir. Oluşturulan kompozit malzemelerin iki-nokta (two-point probe) yöntemiyle elektrik iletimleri belirlenmiştir. Deneyler sonucunda elektrik iletimi ve hacim içeriğinin merkezkaç kuvveti yönünde ilişkili olduğunu bulmuşlardır (Tsotra vd., 2003).

Turhan yapmış olduğu tez çalışmasında, farklı sıklıkta örülmüş iki karbon kumaştan üretilmiş kompozit plakaların mekanik testlerini yapmıştır. Testler sonucunu istatistiksel olarak karşılaştırılmış ve değerlendirmiştir. En büyük kopma dayanımının düşük sıklıkla örülmüş kompozitlerde çubuk yönünde 2519,87 N olduğunu ve en düşük kopma dayanımının ise 1388,45 N ile yüksek sıklıkla örülmüş kompozitlerde sıra yönünde olduğunu bulmuştur (Turhan, 2011).

Wonderly vd. lerinin yaptıkları çalışmada, karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli ve vinil ester matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Kompozit malzemeleri infüzyon yöntemi kullanarak elde etmişlerdir. Karşılaştırma için çekme, sıkıştırma, çentik ve balistik çarpma deneyleri uygulamışlardır. Çekme deneyleri sonucunda karbon elyaf takviyeli vinil ester matrisli kompozit malzemelerin daha yüksek değerleri sahip olduğunu görmüşlerdir. Aynı kalınlıkta olan karbon elyaf kompozitlerde hasar genellikle belirli bir bölgede meydana gelirken cam elyaf kompozitlere göre daha fazla dağıldığını belirlemişlerdir (Wonderly vd., 2005).

Yağmur vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin CNC parmak freze makinesinde polikristal takımlarla işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü incelemiş ve matematiksel bir yöntem geliştirmişlerdir. Kullanmış oldukları parmak frezeleme makinesini üç farklı geometride tasarlayıp üretimini yapmışlardır. Kesme parametreleri olarak farklı kesme hızları kullanmışlar ve sabit ilerleme hızı olarak 1270 mm/dk değerlerini kullanmışlardır. Kesme hızındaki artışla birlikte yüzey pürüzlülüğünün iyileştiğini tespit etmişlerdir. Bunun yanında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametreleri belirlemek için ANOVA istatistiklerini kullanarak regresyon analizi yapmışlardır (Yağmur vd., 2018).

Yetgin vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada poli-fital-amid polimeri ile %30 karbon fiber takviyeli poli-fital-amid kompozit malzemelerinin paslanmaz çelik disk malzemesine karşı kuru kayma şartları altında tribolojik performanslarını incelemişlerdir. Aşınma testlerini farklı kayma hızlarında ve 40 N yük altında gerçekleştirmişlerdir. Testler sonucunda karbon fiber takviyeli üretilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarının katkısız üretilen kompozit malzemeye göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir (Yetgin vd., 2016).

Zang vd. lerinin yapmış oldukları çalışmada fiber matris arayüzey özelliklerini geliştirmek için karbon fiber yüzeylerini grafen oksit tabakaları ile kaplamışlardır. Kaplamanın tek katmandan olduğunu görmek için atomik kuvvet mikroskobu ile kontrol edilmiştir. Grafen oksit kabakalarının arayüzey dağılımını görmek için taramalı elektron mikroskobu ile bakmışlardır. Elde edilen kompozitin arayüzey özelliklerini belirlemek için mikro bağlama testi ve üç nokta kısa kiriş kayma testleri yapılmıştır. Testler sonucunda grafen kaplamalı karbon fiber

kompozitlerde arayüzey özelliklerinde ve çekme özelliklerinde gelişme olduğunu tespit etmişlerdir (Zang vd., 2012).

Yukarıda yapmış olduğumuz literatür araştırmamızın da bize göstermiş olduğu gibi karbon elyaf takviyesi ve farklı matrisler ile üretilen kompozit malzemeler mevcuttur. Yapılan çalışmalarda üretilen karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik, yapısal ve ısı özellikleri incelenmiştir.

Yapmış olduğum çalışmada ise farklı dokuma tipine sahip tek yönlü ve çift eksenli karbon elyaftan oluşan ve farklı katman sayılarına sahip takviye malzemeleri ile polyeester reçine matris kullanılarak el yatırma yöntemiyle üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.



5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kompozit malzemeler, takviye elamanı ve matris bileşenlerinin sağlamış olduğu mukavemet değerlerindeki üstün özellikleri günümüz malzeme arayışları için vazgeçilmez bir ürün haline gelmiştir. İstenilen özelliklerde ürün elde etmek için kullanılan takviye elamanının yapısı, matris özelliği, dokuma şekli ve sıklığı, tabaka sayısı ve yerleştirilme şekli doğrudan etkilidir.

Deneyisel çalışmalarda iki farklı örme karbon elyaf kumaşın polyester matris ile birleştirilerek bir, iki ve üç katlı tabakalardan oluşan kompozitlerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemelerin Tanım ve Özellikleri

Çalışmalarda takviye elemanı olarak iki farklı dokumaya sahip karbon elyaf kumaş, matris malzemesi olarak polyester, katkı malzemesi olarak dondurucu ve hızlandırıcı ve katı ve sıvı ayırıcılar kullanılmıştır.

5.1.1. Karbon elyaf kumaşlar

Kullanmış olduğumuz karbon elyaf kumaşlar Telateks firmasından tek yönlü dokuma CW400 B-Karbon 12K Düz Dokuma Kumaş ve çift eksenli dokuma CX300 E05A-45/45 Biaxial karbon kumaş olarak hazır temin edilmiştir. Şekil 5.1’de karbon elyaf kumaşların görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.1. Karbon elyaf kumaşlar.

Tek yönlü karbon elyaf kumaş

CW400 B-Karbon 12K Düz Dokuma Kumaş tek yönde mukavemet ve rijitlik istenen uygulamalarda sıkça kullanılan elyaflardır. İnşaat, gemicilik, otomotiv ve rüzgar kanadı sektör uygulamalarında kullanılmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 5.1’de hazır almış olduğumuz tek yönlü karbon elyaf kumaşın özellikleri verilmiştir. Şekil 5.2’de tek yönlü karbon elyaf kumaşın görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tek yönlü karbon elyaf kumaşın özellikleri (<http://www.metyx.com/cok-yonlu-multiaxial-orguler/>).

Özellik	Değer
Yoğunluk g/ cm ³	1,8
Isıl iletkenlik W/m*K (standart modül için)	20
Elastisite Modülü GPa	220-240
Çekme Dayanımı MPa	3450-4850
Flament çapı µm	5-8
Kopma Uzaması %	1,6-2,2
Elektriksel Öz Direnç µΩ	1650
Korozyon Direnci	İnorganik, asit ve bazlardan etkilenmez



Şekil 5.2. Tek yönlü karbon elyaf kumaş.

Çift eksenli karbon elyaf kumaş

CX300 E05A-45/45 Biaxial karbon kumaş çok yönlü takviyelerin gerekli olduğu durumlarda çok kullanışlıdır. Karbon elyaf liflerinin -45/+45 yönlenmesiyle çapraz doğrultularda yapılacak takviye işlemlerini çok kolaylaştırır. Aşağıdaki Çizelge 5.2’de hazır almış olduğumuz

çift eksenli karbon elyaf kumaşın özellikleri verilmiştir. Şekil 5.3’de çift eksenli karbon elyaf kumaşın görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çift eksenli karbon elyaf kumaşın özellikleri (<https://www.fibermaxcomposites.com/shop/carbon-fabrics-c-36.html>).

Özellik	Birim	Değer
Çekme dayanımı	MPa	4550-4900
Elastisite Modülü	GPa	230-240
Kopma Uzaması	%	2,1
Yoğunluk	g/cm ³	1,8
Lif filament sayısı	adet	800
Özgül Isı	cal/g. C	0,77
Özgül Direnç	X10 ⁻³ Ω.cm	1,6
Isıl Genleşme Katsayısı	X10 ⁻⁶ /K	-0,38
Termal İletkenlik	cal/cm.s.C	9,8
Kesit Alanı	mm ²	0,44
Filament çapı	µm	6,9



Şekil 5.3. Çift eksenli karbon elyaf kumaş.

5.1.2. Matris malzemesi

Kullandığımız matris malzemesi Yücel Kompozit A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Matris malzemesi olarak CAMELYAF marka CE 92 N8 genel amaçlı polyester reçinesi kullanılmıştır. El yatırma yöntemlerinde en çok tercih edilen polyester çeşitlerinden birisidir. Aşağıdaki Çizelge 5.3a-b-c de polyester reçinenin sıvı ve katı fazdaki özellikleri ile tavsiye ve uyarıları verilmiştir.

Çizelge 5.3. Polyester reçine özellikleri (<http://yucelkompozit.com.tr/urun-recine.html>).

a) Sıvı CE 92 N8 Özellikleri		
Özellikler	Birim	Spesifikasyon Değerleri
Görünüm		Berrak
Viskozite	cps	400±60
Asit Sayısı	mgKOH/g	Max.25
Katı Madde Miktarı	%	Min.58
Jelleşme Süresi (25°C)*	dak.	8±2
Egzoterm Pik (25°C)	°C	180±20
b) Sertleşmiş CE 92 N8 Özellikleri		
Özellikler	Birim	Spesifikasyon Değerleri
Sertlik	Barcol	Min.42
Eğilme Dayanımı	kgf/cm ²	Min.900
Çekme Dayanımı	kgf/cm ²	Min.500
c) Tavsiye ve uyarılar		
Güvenlik Tavsiyesi		Risk Uyarıları
S 16: Tutuşturucu kaynaktan uzak tutun.		R 10: Alevlenebilir
S 23: Ürün buharını solumayın		R 20: Solunması halinde sağlığa zararlıdır.
Xi : Tahriş Edici		R 36 / R 38: Gözleri ve cildi tahriş edicidir.
Xn : Zararlı		
F : Yanıcı. Stiren içerir		

5.1.3. Katkı malzemeleri

Matris malzemesinin donmasını için katkı maddeleri Metil etil keton peroksit (MEK-P) ve donmanın hızlı olması için kobalt kullanılmıştır. Sertleştiriciler hızlandırıcılar ya da ısıyla aktif hale gelerek poliester ve vinilester reçinelerin jelleşmesi ve kürlenmesini sağlayan kimyasallardır. MEK-P oda sıcaklığı için aktif haldedirler. Aşağıdaki Çizelge 5.4'de MEK-P dondurucunun özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.4. MEK-P dondurucunun özellikleri (<http://yucelkompozit.com.tr/urun-recine.html>).

Özellikler	Birim	Değer
Görünüm	-	Berrak sıvı
Renk	-	Renksiz
Aktif Oksijen içeriği	%	9,9
Peroksit içeriği	%	35
Plastikleştirici içeriği	%	>55
Kaynama noktası/aralık	C	100 C bozunmalar
Parlama noktası (kapalı kap)	C	Uygun değil
Yanıcılık ASTM D-4206-96	-	Tutuşmaya dayanamaz
Kendiliğinden hızlandırılmış bozunma sıcaklığı	C	>60 C
Relatif yoğunluk UNI EN ISO 12185-00	D 20/20	1.050
Viskozite 20 C ISO UNI EN 3104	mPA.s	19

Aşağıdaki Çizelge 5.5 de Kobalt hızlandırıcısının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kobalt hızlandırıcısının özellikleri (<http://yucelkompozit.com.tr/urun-recine.html>).

Özellik	Açıklama
Görünüş	Şeffaf mavi sıvı
Çözgen	White spirit, Toluene
25 C de yoğunluk	0,92 gr/cm ³
20 C de akıcılık	6,5-7,5 mPA.s
Metal ihtivasi	% 6± 0,05
Renk	Koyu mavi
Alevlenme sıcaklığı	39 C (COC)
Kendi kendine yanma sıcaklığı	Tespit edilemedi
Suda çözünürlük	Çözünmez
Genel Kullanım oranı	% 0,3-2

5.1.4. Ayırıcılar

Ürünün kalıptan kolay çıkarılması için iki çeşit ayırıcı kullanılmaktadır. Birinci olarak katı ayırıcı Polivaks SV-6 daha sonra sıvı ayırıcı Polivaks PVA kullanılır. Çizelge 5.6'da Polivaks katı SV-6 ve Çizelge 5.7'de Polivaks sıvı PVA ayırıcıların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.6. Polivaks katı SV-6 ayırıcı özellikleri (<https://www.poliya.com/tr/kalip-ayirici-vakslar>).

Özellik	Açıklama
Vaks Bazı	Karnauba, Balmumu, Mineral Vakslar
Solvent Bazı	Alifatik Hidrokarbonlar
Görünüm	Krem renkli pasta kıvamında
Kullanım şekli	Yüzeyi temiz kalıba ince film tabakası şeklinde 3-5 kez uygulanır. Her tabaka arasında 15 dakika beklenir ve son tabakadan sonra 20 dakika beklenerek polyester uygulanır.

Çizelge 5.7. Polivaks sıvı PVA ayırıcı özellikleri (<https://www.poliya.com/tr/kalip-ayirici-vakslar>).

Özellik	Açıklama
Vaks Bazı	Polivinilalkol
Solvent Bazı	Etanol
Görünüm	Mavi renkli sıvı
Kullanım şekli	Yüzeyi temiz kalıba ince film tabakası şeklinde önce Polivaks N uygulanır ve 20 dakika beklenir. Daha sonra Polivaks sıvı PVA uygulanır ve son tabakadan sonra 20-40 dakika beklenerek polyester uygulanır.

5.2. Kompozit Malzeme Üretimi

Kompozit malzemesi Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Bandırma Meslek Yüksek Okulu Gemi İnşaat Programının Atölyesinde el yatırma yöntemi kullanılarak oda sıcaklığında üretilmiştir. Üretim aşamaları aşağıda maddeler halinde anlatılmıştır.

- Tek yönlü ve çift eksenli karbon elyaf kumaşlar makasla kesilmiştir (Şekil 5.4a).
- Kalıp olarak kullanılan masanın üzeri temizlenmiştir.
- Masanın üzeri önce Polivaks SV-6 katı kalıp ayırıcı sürülerek 15-20 dakika beklenmiş daha sonra Polivaks sıvı PVA ayırıcı sürülerek yine kuruyana kadar 25-30 dakika beklenmiştir.
- Polyester reçinenin içerisine ölçekler kullanılarak %0,3 oranlarında dondurucu ve hızlandırıcı eklenerek hazır hale getirilmiştir. (Şekil 5.4b.-c.-d)
- Ayırıcıların kurumasından sonra genel amaçlı polyester reçine rulo yardımıyla sürülmüştür.
- Reçinenin sürülmesinden sonra karbon elyaf yerleştirilmiş ve üzerine tekrar reçine sürülmüştür.
- Daha sonra alüminyum circır rulo yardımıyla elyaf yüzeyi taranarak ıslanmanın tam olması ve hava boşluklarının kalmaması sağlanmıştır.
- Ürettiğimiz kompozit malzemeler farklı tabaka sayısına sahip olduğu için her tabaka için reçine uygulaması ve circır rulo ile işlem yapılmıştır. (Şekil 5.4e).
- Karbon fiber malzemelere polyester reçine uygulaması bittikten sonra oda sıcaklığında kuruması için bırakılmıştır. (Şekil 5.4f)
- Kuruyan kompozit malzeme kalıptan çıkarılarak köşe bölgeleri kesilerek temizlenmiştir.
- Elde ettiğimiz kompozit malzemelerden çekme, basma ve düşük hızlı çarpma deneyleri için numuneler metal aparat yardımıyla elde testere yardımıyla kesilip son ölçüleri için zımparalanmıştır. (Şekil 5.4g-h-ı-i).



a) Kumaş kesimi

b) Ölçekler

c) Ölçümler

d) Matris hazırlama



e) Katman İşlemi



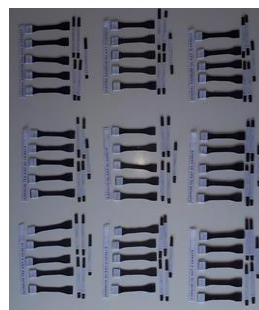
f) Kompozit Plaka



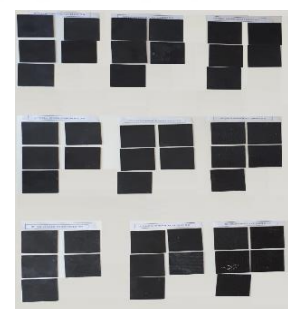
g) Numune Hazırlama Aparatları



h) Numune Hazırlama



ı) Çekme ve Basma Numuneleri



i) Düşük Hızlı Darbe Test Numuneleri

Şekil 5.4. Karbon elyaf kompozit hazırlık aşamaları ve hazırlanan numuneler.

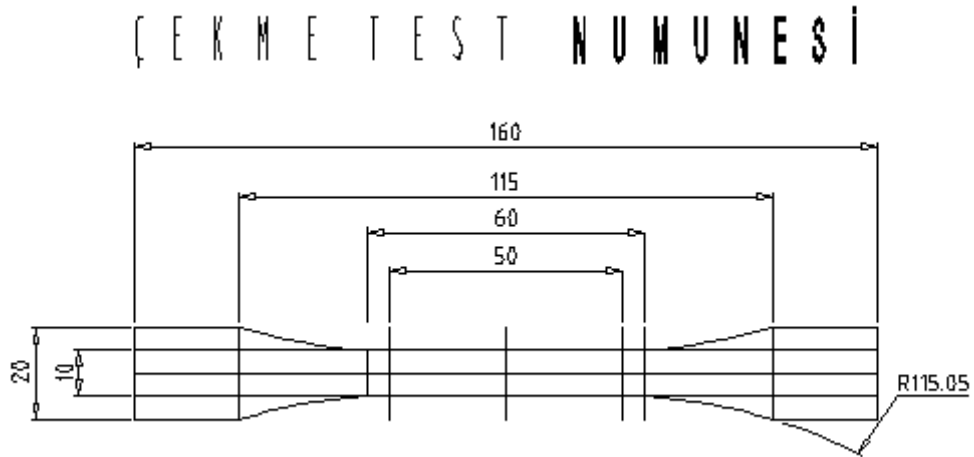
5.3. Uygulanan Testler

Yapılan çekme ve üç nokta basma testleri Zwick Avrasya firmasının test eğitim laboratuvarında yapılmıştır. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında yapılmıştır.

5.3.1. Çekme testi

Çekme testi; bir numunenin kopana kadar tek eksen doğrultusunda çekme kuvvetine maruz bırakılması sonucu malzemenin maksimum çekme gerilmesi, maksimum uzama ve alandaki azalmaları tespit eden bir malzeme bilimi testidir. Elde edilen verilerden malzemenin Young katsayısı (Farklı zorlanmalara bağlı olarak değişen farklı gerilmelerin oranı olarak tanımlanır). Elastik deformasyondaki birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup bir birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır). Poisson oranı (tek eksenli bir gerilme hali için yanal gerilme ile eksenel gerilme oranının negatif işaretlisi olarak tanımlanır). Akma mukavemeti (malzemenin plastik şekil değişikliğine uğramadan önce dayana bileceği en büyük gerilme değeridir) değerleri gibi karakteristik özellikleri tespit edilir. Belirlenen veriler malzeme seçiminde kullanılır.

Çekme testi için Zwick/Roell marka Allround Line Z250 SrR test cihazı kullanılarak ISO 527-1 standardına göre üretilen numunelerle test yapılmıştır. Aşağıdaki Şekil 5.5.'de kullanılan standardın numune ölçüleri verilmiştir. Her bir numune grubu için dört adet numune test edilmiştir. Şekil 5.6'de çekme testi için kullanılan cihazın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.5. ISO 527-1 Standardına göre üretilmiş çekme test numune ölçüleri.



Şekil 5.6. Zwick/Roell marka AllroundLine Z250 SrR test cihazı.

Çekme testinde kullanılan veriler Çizelge 5.8’de verilmiştir.

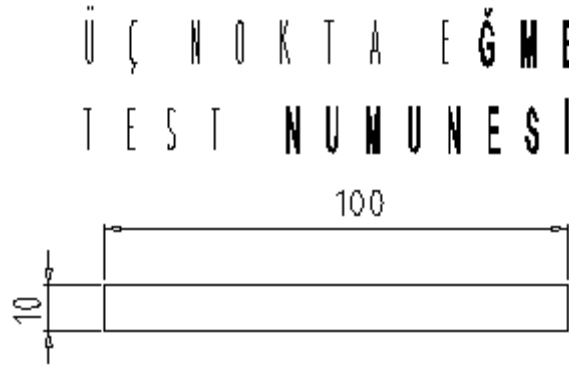
Çizelge 5.8. Çekme test veri giriş değerleri.

		Özellik	Birim	Değer
1	Başlangıç pozisyonu	Kavrama mesafesi	mm	74.56
		Başlangıç pozisyon hızı	mm/dk	200
2	Yükleme öncesi	Ön yükleme	MPa	0.1
		Yükleme hızı	mm/dk	5
3	Numune verileri	Numune kalınlığı	mm	Her numune için değişiklik göstermektedir
		Numune genişliği	mm	
4	Test	Gerilim modülü kontrol hızı	mm/dk	2
		Test kontrol hızı	mm/dk	5
		Hız değişim aralığı	-	1
5	Test sonlandırma değerleri	Kuvvet kapanma eşiği	% Fmax	80
		Maksimum kuvvet düşümü	N	1
		Kuvvet düşüm zaman aralığı	s	1
		Ara ölçüm için kuvvet eşiği	% Fnom	0.1
		Ara ölçüm sonrası uzama miktarı	mm	5
		En üst kuvvet limiti	N	200
		Maksimum uzama oranı	%	30
6	Sonuç veri indisleri	E. Elastisite modülü	MPa	Her numune için değişiklik göstermektedir
		σ_u Akma mukavemeti	MPa	
		ϵ_u Akma uzaması	%	
		σ_m Kopma mukavemeti	Mpa	
		ϵ_m Kopma uzaması	%	
		σ_k Kopma sırasındaki gerilme direnci	Mpa	
		ϵ_k Kopma sırasındaki uzama	%	
		b Numune genişliği	mm	
		h Numune kalınlığı	mm	
		A Numune kesit alanı	mm ²	
7	Çekme modül değerleri	Çekme modülü başlangıç yük oranı	%	0.05
		Çekme modülü sonlandırma yük oranı	%	0.25
8	Akma dayanım değerleri	Akma davranımı kuvvetinde % hassasiyet oranı	% Fmax	1
		Akma davranımı tavinin duvarlılık oranı	%	0.5
		Akma davranımı sonlandırma oranı	%	25
9	Ara değerler	Eğme testi için vakalama sayısı	-	50
		Kuvvet geçis oranı	%	5
		Negatif yük geçis oranı	%	10
		Pozitif yük geçis oranı	%	10
10	Test sonu değerleri	Test sonrası maksimum kabul edilebilir kuvvet	N	1
		Yükleme kaldırma hızı	mm/dk	5
11	Test veri kaydetme değerleri	Gerilme modülü standart uzama aralığı	um	1
		Akma standart uzama aralığı	um	2
		Kopma olana kadar kaydetme aralığı	um	10
		Kaydetme zaman aralığı	s	0.1
		Kuvvet kaydetme aralığı	N	1

5.3.2. Üç nokta eğme testi

Üç nokta eğme testi; iki desteğe serbest olarak yerleştirilen dikdörtgen ya da dairesel kesitli düz bir numunenin orta noktasına düşey yönde kuvvet uygulanması ile oluşan biçim değişikliği sonucu malzemenin mukavemet özelliklerinin bulunduğu bir malzeme bilimi testidir. Bu test sonucu malzemenin Eğme momenti, Eğme dayanımı, Elastisite modülü ve Eğilme miktarı gibi kalitatif değerleri bulunur. Bulunan sonuçlar malzeme seçiminde kullanılır.

Üç nokta basma testi için Zwick/Roell marka ProLine table-top testing machines Z005 up to Z100 test cihazı kullanılarak ISO 178 standardına göre üretilen numunelerle test yapılmıştır. ISO 178 standardına ait numune ölçüleri aşağıdaki Şekil 5.7.'de verilmiştir. Her bir numune grubu için dört adet numune test edilmiştir. Şekil 5.8'de üç nokta eğme testi için kullanılan cihazın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.7. ISO 178 Standardına göre üretilmiş üç nokta eğme test numune ölçüleri.



Şekil 5.8. Zwick/Roell marka ProLine table-top testing machines Z005 up to Z100 test cihazı.

Üç nokta eğme testinde kullanılan veriler Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Üç nokta eğme test veri giriş değerleri.

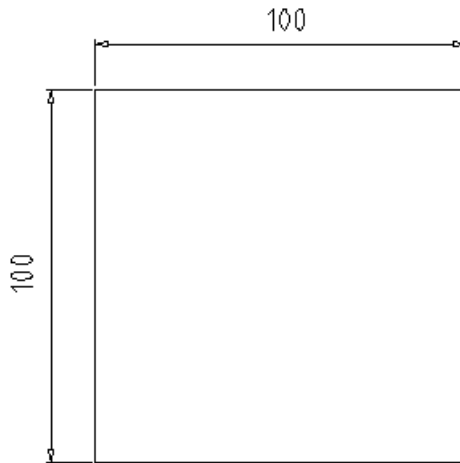
	Özellik	Birim	Değer	
1	Başlangıç pozisyonu	Cihaz başlangıç mesafesi	mm	1,40
		Başlangıç pozisyon hızı	mm/dk	200,00
2	Yükleme öncesi	Ön yükleme	N	0,10
		Yükleme hızı	mm/dk	5,00
3	Numune verileri	Numune kalınlığı	mm	Her numune için değişiklik göstermektedir
		Numune genişliği	mm	
4	Test	Eğme modülü kontrol hızı	mm/dk	5,00
		Test kontrol hızı	mm/dk	5,00
		Hız değişim aralığı	-	1,00
5	Test sonlandırma değerleri	Kuvvet kapanma eşiği	% Fmax	30,00
		Maksimum kuvvet düşümü	N	1,00
		Kuvvet düşüm zaman aralığı	s	1,00
		Ara ölçüm için kuvvet eşiği	% Fnom	0,10
		Üst kuvvet sınırı	N	200,00
		Maksimum eğilme açısı	°	200,00
		Maksimum deformasyon	mm	10,00
6	Sonuç veri indisleri	E_f Elastisite Modülü	MPa	Her numune için değişiklik göstermektedir
		σ_{fm} Eğilme Mukavemeti	MPa	
		ϵ_{fm} Eğilme Uzaması	%	
		σ_{fb} Eğilme Sırasındaki Mukavemeti	Mpa	
		ϵ_{fb} Eğilme Sırasındaki Uzaması	%	
		L_v Destek Uçları Arasındaki Mesafe	mm	
		h Numune Kalınlığı	mm	
		b Numune Genişliği	mm	
7	Eğilme modül değerleri	Eğme modülü başlangıç yük oranı	%	0,05
		Eğme modülü sonlandırma yük oranı	%	0,25
8	Ara değerler	Eğme testi için yakalama sayısı	-	50,00
		Kuvvet geçiş oranı	%	5,00
		Negatif yük geçiş oranı	%	10,00
		Pozitif yük geçiş oranı	%	10,00
9	Test sonu değerleri	Test sonrası maksimum kabul edilebilir kuvvet	N	1,00
		Yükleme kaldırma hızı	mm/dk	5,00
10	Test veri kaydetme değerleri	Eğme modülü standart kaydetme uzama aralığı	μm	1,00
		Eğme olana kadar kaydetme aralığı	μm	10,00
		Kaydetme zaman aralığı	s	0,10
		Kuvvet kaydetme aralığı	N	1,00

5.3.3. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi; düşme yüksekliği, ağırlık ve hızı belirleyerek yerçekimi veya yerçekimi ve yay etkisiyle düşen ağırlık sistemiyle çalışan, yükün tamamının numune üzerine verilmesi sırasında oluşan değişimler yardımıyla enerji değerlerinin tespit edildiği bir test çeşididir. ASTM D 3763 ve ISO 6603-2 standartlarına göre plakalara testler yapılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 5.9.'da ISO 6603-2 ye göre üretilmiş numune ölçüleri verilmiştir. Yapılan test sonucunda kompozit malzemelerde fiber hasarları, matris çatlakları ve tabakalar arasında oluşan delaminasyonlar tespit edilmiş olur. Bu sonuçlara göre en yüksek darbe enerjisini tutabilen malzeme, en uygun tabaka dizilimi, tabaka sayısı ve dizilim açıları belirlenmiş olur. Böylelikle en ucuz birim maliyetlerine sahip ağırlığı ve kalınlığı azaltılmış en yüksek darbe sönümlemesine sahip malzeme belirlenmiş olur.

Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi için Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan cihaz kullanılmıştır. Test için 10x10 cm boyutlarında numuneler hazırlanmış ve her bir grup için beş adet numune test edilmiştir. Şekil 5.10'da düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi için kullanılan cihazın görüntüsü verilmiştir.

D Ü Ş E N A Ğ I R L I K D Ü Ş Ü K H I Z L I
Ç A R P M A T E S T N U M U N E S İ

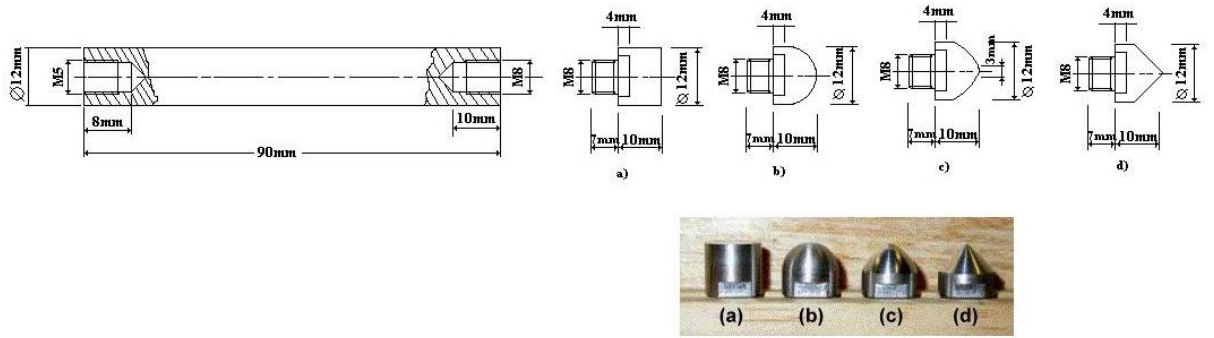


Şekil 5.9. ISO 6603-2 standardına göre üretilmiş düşen ağırlık çarpma test numune ölçüleri.



Şekil 5.10. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test cihazı.

Şekil 5.11’de düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testinde kullanılan ağırlık uçları verilmiştir. Testimizde Şekil 5.8’da verilen “c” ucu kullanıldı.



Şekil 5.11. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test cihazında kullanılan uçlar (DPU MMF Makine Müh. Lab.).

Numuneleri test etmek için düşen ağırlığın hızını ve çarpma sırasındaki enerjinin hesaplaması gerekmektedir. Bu değerler aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplandı.

Ağırlığın hızını hesaplamak için serbest düşme hareket denkleminde faydalandı;

$$V = V_0 + gt \quad (5.1)$$

$$h = h_0 + V_0t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (5.2)$$

$$V^2 = V_0^2 + 2gh \quad (5.3)$$

Serbest düşme hareketi yapıldığından $V_0 = 0$ ve $h_0 = 0$ ve havanın sürtünme değerinin hesaplamalarda fazla etkisi olmayacağından dolayı $F_s = 0$ olarak kabul edildi. Bu kabullere göre yukarıdaki denklemleri çözümlersekg ağırlığın numuneye çarpma hızı için aşağıdaki denklem elde etmiş olur.

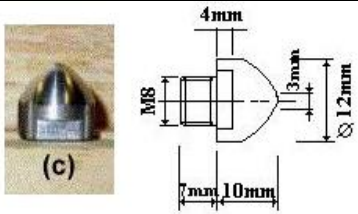
$$V = \sqrt{2gh} \quad (5.4)$$

Ağırlığın numuneye çarpma sırasında biriktirdiği darbe enerjisi (DE) ise serbest bırakıldığı andaki potansiyel enerjiye (PE) eşit veya cismin serbest düşme sonucu kazandığı hız ile çarpma anındaki kinetik enerjiye (KE) eşit olacaktır. Çarpma sırasındaki darbe enerjisini bulmak için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$PE = DE = mgh \quad (5.5)$$

Yukarıdaki 5.4 ve 5.5 denklemleri kullanıldığında ve kabuller yapıldığında Çizelge 5.10 da ki değerler elde edilmiş oldu.

Çizelge 5.10. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test veri giriş değerleri.

Özellik	Birim	Değer
Düşen Ağırlık	Kg	3,10
Düşen Mesafe	m	1,00
Yer Çekim İvmesi (g)	m/s ²	9,81
Hız	m/s	4,43
Darbe Enerjisi	J	30,41
Sürtünme Kevveti	N	0
Kullanılan Uç		

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Kompozit numuneler farklı şekilde hazırlanmış ve isimlendirilmiştir. Tek yönlü karbon elyaf numunelere TYK, çift eksen karbon elyaflar için ÇEK, numunelerin elyaf lif yönüne göre yaptıkları açı 0 ± 45 değerleri, yapılan test çeşidine göre çekme testi için Ç, eğme testi için E, düşme testi için D ve katman sayıları için 1,2,3 kısaltmaları verilmiştir. Toplamda çekme testi için $3 \times 3 \times 4 = 36$ numune, basma testi için $3 \times 3 \times 4 = 36$ numune, düşme testi için $3 \times 3 \times 5 = 45$ numune test edilmiştir.

6.1. Çekme Testi

Çekme testlerinde numune gruplarını ayrı ayrı inceleyeceğiz. Çekme testi örnek numune cihaz sonuçları Ek 1.'de verilmiştir.





6.1.1. Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 Ç) numune grubunun çekme test sonuçları

Gruplara ayrılmış test numuneleri katman sayılarına göre düşükten büyüğe doğru test edildi.

Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip tek katlı (ÇEK 0 Ç 1) numune grubunun çekme test sonuçları

Çekme testlerin de ilk olarak çift eksen karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip tek kattan oluşan numunelerin testleri yapılmıştır. Çizelge 6.1'de çift eksenli karbon 0^0 li tek katlı (ÇEK 0 Ç 1) numunelerinin ve ortalama değer verileri mevcuttur.

Çizelge 6.1. Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 Ç 1) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

a) ÇEK 0 Ç 1 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları										
Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_{mb} %	L_v mm	h mm	A_0 mm ²
	1	ÇEK 0 Ç 1-1	29600	427	1,4	427	1,4	10,8	1,2	13,0
	2	ÇEK 0 Ç 1-2	28600	424	1,7	424	1,7	11,2	1,2	13,4
	3	ÇEK 0 Ç 1-3	32000	448	1,5	448	1,5	11,4	1,2	13,7
	4	ÇEK 0 Ç 1-4	17900	369	1,7	369	1,7	11	1,2	13,2

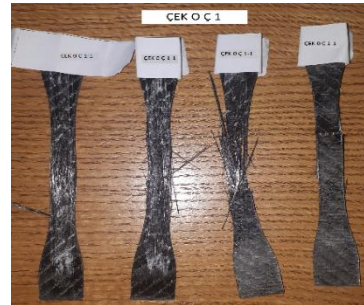
b) ÇEK 0 Ç 1 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series n = 4	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
x	27000	417	1,6	417	1,6	11,1	1,2	13,3
s	6250	33,6	0,16	33,6	0,16	0,2582	0,000	0,3
ν [%]	23,13	8,07	10,00	8,07	10,00	2,33	0,00	2,33

Şekil 6.1. de Çift eksen 0^0 dereceli tek kattan oluşan numunelerin testten önce ve sonra görüntüsü verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.1. ÇEK 0 Ç 1 grubunun çekme test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı kompozit (ÇEK 0 Ç 1) grubunun çekme test sonuçlarına baktığımızda son numune haricinde değerlerin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %44,06 fark ve kopma mukavemet değerinde %17,63 fark olduğu görülmektedir. Test sonrası numune resimlerinde karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda





kopmalar yaşandığı görüldü. Kopmalar sonucunda bazı numunelerde karbon elyafların numuneden ayrıldığı tespit edildi.

Çift eksenli karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip tek katlı (ÇEK 0 Ç 2) numune grubunun çekme test sonuçları

Aşağıdaki Çizelge 6.2. de Çift eksenli karbon 0° li iki katlı (ÇEK 0 Ç 2) numunelerinin ve ortalama değer verileri mevcuttur.

Çizelge 6.2. Çift eksenli karbon 0° elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 Ç 2) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

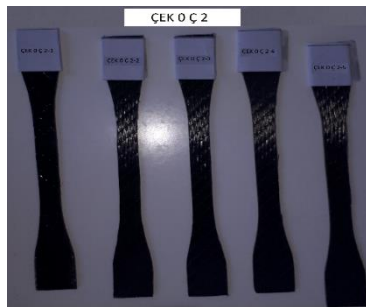
a) ÇEK 0 Ç 2 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ε_m %	σ_b MPa	ε_{mb} %	Lv mm	h mm	A_0 mm ²
	1	ÇEK 0 Ç 2-1	45600	579	1,4	579	1,4	10,6	1,72	18,2
	2	ÇEK 0 Ç 2-2	42600	617	1,5	617	1,5	10,6	1,72	18,2
	3	ÇEK 0 Ç 2-3	39600	585	1,6	585	1,6	10,4	1,66	17,3
	4	ÇEK 0 Ç 2-4	45400	622	1,4	622	1,4	10,8	1,74	18,8

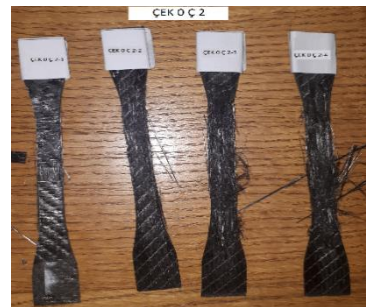
b) ÇEK 0 Ç 2 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series n = 4	E_t MPa	σ_m MPa	ε_m %	σ_b MPa	ε_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
x	43300	601	1,5	601	1,5	10,6	1,71	18,1
s	2800	21,8	0,10	21,8	0,10	0,1633	0,03464	0,6
v [%]	6,46	3,62	6,82	3,62	6,82	1,54	2,03	3,50

Şekil 6.2. Çift eksenli karbon 0° elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 Ç 2) kompozit grubunun çekme testi öncesi ve sonrası numune görüntüleri verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.2. ÇEK 0 Ç 2 grubunun çekme test numuneleri.





Çift Eksenli Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı kompozit (ÇEK 0 Ç 2) grubunun çekme test sonuçlarına baktığımızda değerlerin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. Tek katlı numunelerde ki gibi en yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %13,16 fark ve kopma mukavemet değerinde % 5,95 fark olduğu görülmektedir. Bu veriler iki katlı numunelerin tek katlı numunelere göre daha yakın özelliklere sahip olduğunu gösterdi. Test sonrası numune resimleri karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kopma yaşandığını göstermektedir. Kopmalar sonucunda bazı numunelerde karbon elyafların numuneden ayrıldığı görülmektedir. Tek katlı numunelere göre daha az dağılma olduğu ve iki katlı numunelerin daha mukavim olduğu anlaşıldı.

Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip tek katlı (ÇEK 0 Ç 3) numune grubunun çekme test sonuçları

Aşağıdaki Çizelge 6.3. de Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 Ç 3) numunelerinin ve ortalama değer verileri mevcuttur.

Çizelge 6.3. Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 Ç 3) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

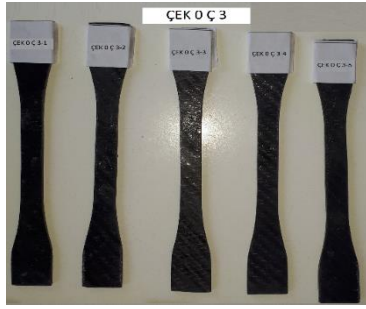
a) ÇEK 0 Ç 3 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları.

Legend	No.	Type	E _t MPa	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _{mb} %	L _v mm	h mm	A ₀ mm ²
	1	ÇEK 0 Ç 3-1	39500	482	1,5	151	2,1	10,75	2,84	30,5
	2	ÇEK 0 Ç 3-2	38600	470	1,4	91,0	2,5	11	2,9	31,9
	3	ÇEK 0 Ç 3-3	37700	519	1,7	519	1,7	11	2,9	31,9
	4	ÇEK 0 Ç 3-4	31900	400	1,7	90,4	2,7	10,7	2,92	31,2

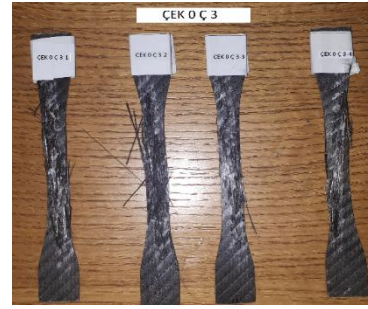
b) ÇEK 0 Ç 3 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series	E _t	σ _m	ε _m	σ _b	ε _b	b	h	A ₀
n = 4	MPa	MPa	%	MPa	%	mm	mm	mm ²
x	36900	468	1,6	213	2,3	10,86	2,89	31,4
s	3430	49,9	0,14	206	0,47	0,1601	0,03464	0,7
v [%]	9,29	10,66	9,31	96,80	20,84	1,47	1,20	2,08

Çift Eksenli Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 Ç 3) kompozit grubunun çekme testi öncesi ve sonrası numune görüntüleri Şekil 6.3'de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.3. ÇEK 0 Ç 3 grubunun çekme test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı kompozit (ÇEK 0 Ç 3) grubunun çekme test sonuçlarına baktığımızda değerlerin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında % 19,24 fark ve kopma mukavemet değerinde % 22,93 fark olduğu görülmektedir. Üç kattan oluşan numunelerin aralarındaki farkın iki kata göre daha fazla olduğu görüldü. Ayrıca test sonuçlarına bakıldığında üç katlı numune değerlerinin iki kata göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Test sonrası numune resimleri karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kopma yaşandığını göstermektedir. Kopmalar sonucunda bazı numunelerde karbon elyafların numuneden ayrıldığı görülmektedir. Tek ve iki katlı numunelere göre elyaf dağılım miktarı daha az olduğu görüldü.

6.1.2. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 Ç) numune grubunun çekme test sonuçları






İkinci test grubu olarak Çift eksenli $\pm 45^0$ li numuneler kullanılmıştır. Testte sırası ile tek, iki ve üç katlı numuneler kullanılmıştır.

Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 Ç 1) numune grubunun çekme test sonuçları

Aşağıdaki Çizelge 6.4'de çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 Ç 1) numunelerinin ve ortalama değer verileri mevcuttur.

Çizelge 6.4. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 Ç 1) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

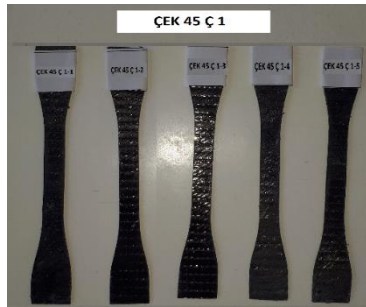
a) ÇEK 45 Ç 1 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ε_m %	σ_b MPa	ε_{mb} %	Lv mm	h mm	A_0 mm ²
	1	ÇEK 45 Ç 1-1	41,1	29,1	3,0	29,1	3,0	11	1,2	13,2
	3	ÇEK 45 Ç 1-2	5460	35,7	1,3	7,13	2,4	10,2	1,02	10,4
	4	ÇEK 45 Ç 1-3	205	2,85	0,92	0,569	2,5	10,2	12	122,4
	5	ÇEK 45 Ç 1-4	3940	25,7	1,4	5,71	2,6	11,2	1,1	12,3
	6	ÇEK 45 Ç 1-5	3820	28,2	2,3	28,2	2,3	10,3	1,2	12,4

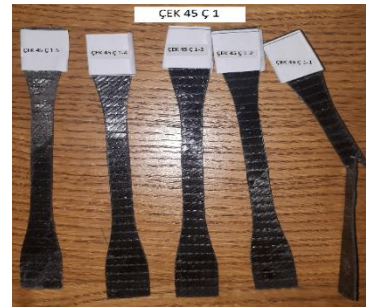
b) ÇEK 45⁰ Ç 1 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series n = 5	E_t MPa	σ_m MPa	ε_m %	σ_b MPa	ε_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
x	2690	24,3	1,8	14,1	2,6	10,58	3,304	34,1
s	2430	12,5	0,86	13,5	0,29	0,4817	4,862	49,4
v [%]	90,38	51,60	48,06	95,26	11,19	4,55	147,15	144,57

Aşağıdaki Şekil 6.4'de Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ li tek katlı (ÇEK 45 Ç 1) kompozit grubunun test öncesi ve sonrası numune görüntüleri verilmektedir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.4. ÇEK 45 Ç 1 grubunun çekme test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı kompozit (ÇEK 45 Ç 1) grubunun çekme test sonuçlarına bakıldığında iki numune değerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Değerlerin düşük çıkma nedeni numuneler incelendiğinde yüzeylerinde kılcal çatlakların olduğu görüldü. Çatlakların el yatırma yönteminden ya da numune hazırlığı sırasında oluştuğu düşünülmekte. Diğer numune değerlerinin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. Numune grubunun ortalama değeri alınırken düşük değerler de eklendiği için ortalama değerler düşük çıkmaktadır. ÇEK 45 Ç 1-1/3 numunelerin değerlerini kullanmazsak ve en yüksek değerleri %





100 kabul ederse elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında % 30,04 fark ve kopma mukavemet değerinde % 11,68 fark oluştuğu görülmektedir. Test sonrası numune resimleri karbon liflerinde yönlenme doğrultusunda kopmaların yaşandığını ancak numunenin tamamen kopmadığı görüldü.

Çift eksenli karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 Ç 2) numune grubunun çekme test sonuçları

Aşağıdaki Çizelge 6.5’de çift eksenli karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 Ç 2) numunelerinin ve ortalama değer verileri mevcuttur.

Çizelge 6.5. Çift eksenli karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 Ç 2) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

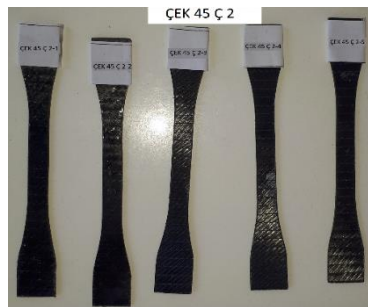
a) ÇEK 45 Ç 2 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_{mb} %	L_v mm	h mm	A_0 mm ²
	1	ÇEK 45 Ç 2-1	4630	49,6	6,8	49,6	6,8	10,55	1,7	17,9
	2	ÇEK 45 Ç 2-2	4920	46,6	4,6	46,6	4,6	10,4	1,7	17,7
	3	ÇEK 45 Ç 2-3	4870	42,5	2,7	8,50	2,2	10,5	1,7	17,9
	4	ÇEK 45 Ç 2-4	4310	32,6	1,4	6,51	3,4	10,5	1,7	17,9

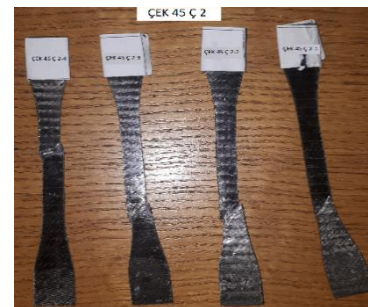
b) ÇEK 45⁰ Ç 2 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series n = 4	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
x	4680	42,8	3,9	27,8	4,2	10,49	1,7	17,8
s	277	7,43	2,3	23,5	2,0	0,06292	0,000	0,1
v [%]	5,91	17,35	60,61	84,45	46,01	0,60	0,00	0,60

Aşağıdaki Şekil 6.5. de Çift Eksenli Karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 Ç 2) kompozit grubunun test öncesi ve sonrası numune görüntüleri verilmektedir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.5. ÇEK 45 Ç 2 grubunun çekme test numuneleri.





Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 Ç 2) grubunun çekme test sonuçlarına baktığımızda değerlerin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %12,40 fark ve kopma mukavemet değerinde %34,27 fark olduğu görülmektedir. Tek katlı numuneler ile karşılaştırdığımızda değerlerin birbirine daha yakın olduğu ve daha mukavim ancak daha esnek olduğu görülmüştür. Test sonrası numune resimleri bizlere karbon liflerinde yönlenme doğrultusunda kopmalar olduğunu ama numunelerin birbirinden ayrılma yaşanmadığını göstermektedir.

Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 Ç 3) numune grubunun çekme test sonuçları

Aşağıdaki Çizelge 6.6. de çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 Ç 3) numunelerinin ve ortalama değer verileri mevcuttur.

Çizelge 6.6. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 Ç 3) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

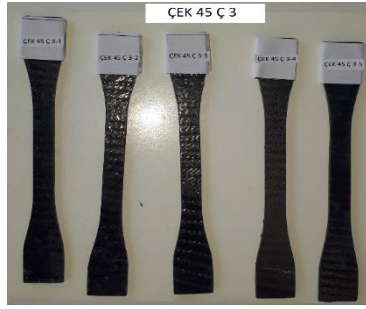
a) ÇEK 45 Ç 3 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_{mb} %	Lv mm	h mm	A ₀ mm ²
	1	ÇEK 45 Ç 3-1	4240	55,4	8,0	10,9	10	10,5	2,82	29,6
	2	ÇEK 45 Ç 3-2	3270	53,0	8,6	21,8	12	10,5	2,85	29,9
	3	ÇEK 45 Ç 3-3	4340	60,8	4,3	20,3	6,2	10,5	3,2	33,6
	4	ÇEK 45 Ç 3-4	4460	56,5	5,1	41,1	6,9	10,6	2,9	30,7

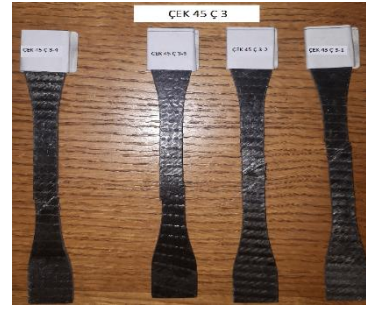
b) ÇEK 45⁰ Ç 3 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A ₀ mm ²
n = 4								
x	4080	56,4	6,5	23,5	8,8	10,53	2,943	31,0
s	548	3,24	2,1	12,7	2,7	0,05	0,1748	1,8
v [%]	13,44	5,75	32,85	53,84	31,01	0,48	5,94	5,87

Aşağıdaki Şekil 6.6. de Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 Ç 3) kompozit grubunun test öncesi ve sonrası numune görüntüleri verilmektedir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.6. ÇEK 45 Ç 3 grubunun çekme test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı kompozit (ÇEK 45 Ç 3) grubunun çekme test sonuçlarına baktığımızda değerlerin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %26,68 fark ve kopma mukavemet değerinde %12,83 fark olduğu görülmektedir. İki katlı numuneler ile karşılaştığımızda mukavemet değerinde düşme gözlemlerken elastikiyet değerinde yükselmenin olduğunu görmekteyiz. Test sonrası numune resimleri karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kopmaların yaşandığını ancak numunenin tamamen birbirinden ayrılmadığını göstermektedir.

6.1.3. Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 Ç) numune grubunun çekme test sonuçları





Çekme testinde üçüncü grup olarak Tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açılı numuneler kullanılmıştır. Sırası ile tek, iki ve üç katlı numunelerin testleri yapılmıştır.

Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 Ç1) numune grubunun çekme test sonuçları

Çekme testlerin de son gruba ait olan tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek kattan oluşan numunelerin testleri ile başlanmıştır. Çizelge 6.7. de tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 Ç 1) numunelerinin ve ortalama değer verileri mevcuttur.

Çizelge 6.7. Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı katlı (TYK 0 Ç 1) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

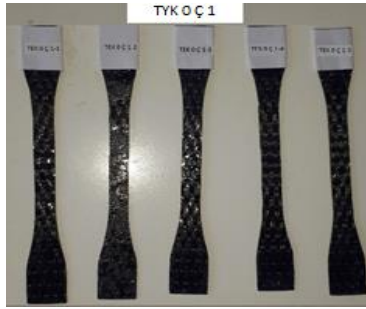
a) TYK 0 Ç 1 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_{mb} %	Lv mm	h mm	A_0 mm ²
	1	TYK 0 Ç 1-1	35700	536	1,3	536	1,3	10,6	1,02	10,8
	2	TYK 0 Ç 1-2	32300	456	1,4	456	1,4	10,6	1,1	11,7
	3	TYK 0 Ç 1-3	33200	410	1,5	410	1,5	10,6	1	10,6
	4	TYK 0 Ç 1-4	35900	534	1,4	534	1,4	10,6	1	10,6

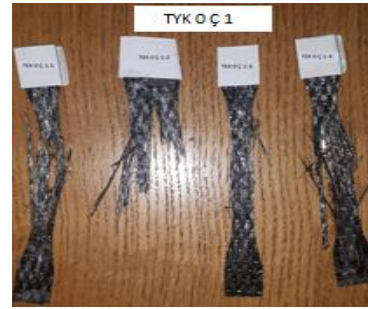
b) TYK 0 Ç 1 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
n = 4								
x	34300	484	1,4	484	1,4	10,6	1,03	10,9
s	1770	61,8	0,068	61,8	0,068	0,000	0,04761	0,5
v [%]	5,16	12,77	4,95	12,77	4,95	0,00	4,62	4,62

Aşağıdaki Şekil 6.7. de Tek Yönlü Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 Ç 1) kompozit grubunun test öncesi ve sonrası numune görüntüleri verilmektedir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.7. TYK 0 Ç 1 grubunun çekme test numuneleri.





Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip tek kattan oluşan numunelerin (TYK 0 Ç 1) çekme test sonuçlarına baktığımızda değerlerin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %10,31 fark ve kopma mukavemet değerinde %23,51 fark olduğu görülmektedir. Test sonrası numune resimleri karbon liflerinin kopma yaşandığını ve büyük bir deformasyona uğradığı görülmektedir.

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 Ç 2) numune grubunun çekme test sonuçları

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 Ç 2) numunelerinin ve ortalama değer verileri Çizelge 6.8. de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 Ç 2) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

a)TYK 0 Ç 2 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E _t MPa	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _{mb} %	L _v mm	h mm	A ₀ mm ²
	1	TYK 0 Ç 2-1	58000	716	1,2	716	1,2	10,9	1,3	14,2
	2	TYK 0 Ç 2-2	59300	696	1,2	696	1,2	10,5	1,32	13,9
	3	TYK 0 Ç 2-3	56400	660	1,2	660	1,2	10,5	1,37	14,4
	4	TYK 0 Ç 2-4	51600	716	1,3	716	1,3	10,5	1,48	15,5

b)TYK 0 Ç 2 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series	E _t MPa	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %	b mm	h mm	A ₀ mm ²
n = 4	MPa	MPa	%	MPa	%	mm	mm	mm ²
x	56300	697	1,2	697	1,2	10,6	1,368	14,5
s	3370	26,4	0,065	26,4	0,065	0,2	0,08057	0,7
v [%]	5,98	3,79	5,24	3,79	5,24	1,89	5,89	5,06

Tek Yönlü Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 Ç 2) kompozit grubunun test öncesi ve sonrası numune görüntüleri Şekil 6.8’de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.8. TYK 0 Ç 2 grubunun çekme test numuneleri.





Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip iki kattan oluşan numunelerin (TYK 0 Ç 2) çekme test sonuçlarına baktığımızda değerlerin tek katta olduğu gibi birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %12,98 fark ve kopma mukavemet değerinde %7,82 fark olduğu görülmektedir. Tek katlı numuneler ile karşılaştırdığımızda iki katlı numunelerin elastisite değerleri arasındaki farkın daha fazla, kopma mukavemet değerleri arasındaki farkın daha az olduğu belirlenmiştir. Test sonrası numune resimleri karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kopma yaşandığını göstermektedir. Tek katlı numuneler de olduğu gibi numunelerde parçalanmanın olmadığı gözlenmiştir.

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 Ç 3) numune grubunun çekme test sonuçları

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 Ç 3) numunelerinin ve ortalama değer verileri Çizelge 6.9. de verilmiştir.

Çizelge 6.9. Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 Ç 3) kompozit grubunun çekme test sonuçları ve ortalamaları.

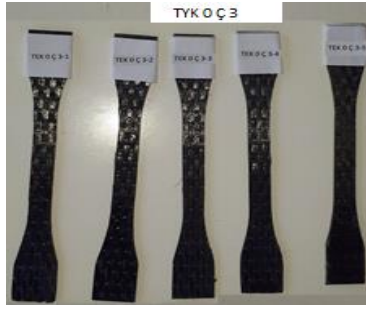
a)TYK 0 Ç 3 Kompozit grubunun çekme deneyi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E _t MPa	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _{mb} %	L _v mm	h mm	A ₀ mm ²
	1	TYK 0 Ç 3-1	68900	687	1,7	687	1,7	10,6	1,63	17,3
	2	TYK 0 Ç 3-2	71600	595	0,92	595	0,92	10,7	1,65	17,7
	3	TYK 0 Ç 3-3	69500	596	0,81	119	0,21	10,7	1,59	17,0
	4	TYK 0 Ç 3-4	71000	645	0,88	129	0,21	10,7	1,7	18,2

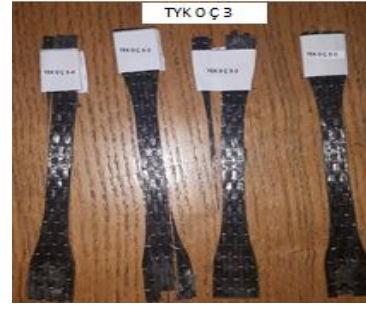
b)TYK 0 Ç 3 Kompozit grubunun çekme testi ortalama değerleri

Series	E _t MPa	σ _m MPa	ε _m %	σ _b MPa	ε _b %	b mm	h mm	A ₀ mm ²
n = 4								
x	70200	631	1,1	383	0,77	10,68	1,643	17,5
s	1270	44,5	0,44	301	0,73	0,05	0,04573	0,5
v [%]	1,81	7,05	40,24	78,66	94,37	0,47	2,78	2,91

Tek Yönlü Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 Ç 3) kompozit grubunun test öncesi ve sonrası numune görüntüleri Şekil 6.8'de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.9. TYK 0 Ç 3 grubunun çekme test numuneleri.

Tek Yönlü Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 Ç 3) kompozit grubunun çekme test sonuçlarına baktığımızda değerlerin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %3,77 fark ve kopma mukavemet değerinde %13,39 fark olduğu görülmektedir. Üç katlı numunelerin süneklilikleri arasındaki oranın tek ve iki kata göre daha düşük olduğu kopma mukavemet değerleri arasındaki oranın ise tek kata göre daha az iki kata göre ise daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Test sonrası numune resimlerine baktığımızda en az deformasyonun üç katlılarda olduğu ancak bazı numunelerden parça koptuğu görüldü.

6.1.4. Çekme testine göre aynı katman sayısına sahip numune gruplarının ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Katman sayılarına göre numunelerin ortalama elastisite (E_t), kopma mukavemet (σ_m) ve kopma uzama yüzde değerleri (ϵ_m) karşılaştırılacaktır.

Tek katmandan oluşan numune gruplarının ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması

Tek katmandan oluşan numunelerin ortalama elastisite (E_t), kopma mukavemet (σ_m) ve kopma uzama yüzde değerleri (ϵ_m) Çizelge 6.10. da verilmektedir.

Çizelge 6.10. Tek katmandan oluşan numunelerin ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması.

Numune	Elastisite (E_t) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) MPa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
ÇEK 0 Ç 1	27000	417	1,6
ÇEK 45 Ç 1	2690	24,3	1,8
TYK 0 Ç 1	34300	484	1,4

Tek katmandan oluşan numunelerin ortalama çekme testi değerleri incelendiğinde en iyi elastisite ve kopma mukavemet değerlerinin Tek Yönlü Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı kompozit (TYK 0 Ç 1) grubu numunelerine ait olduğu görülmektedir. Elastisite ve kopma mukavemet değerlerindeki artışla aynı doğrultuda en gevrek malzemenin yine aynı gruba ait olduğu görülmektedir. En sünek malzeme ise Çift Eksenli Karbon ±45⁰elyaf yönlenme açılı tek katlı kompozit (ÇEK 45 Ç 1) grubu olduğu görülmektedir. En düşük değerlere sahip olan ÇEK 45 Ç 1 grubunun değerlerini %100 kabul edersek buna göre; ÇEK 0 Ç 1 grubu %1.003,72 oranında, TYK 0 Ç 1 grubu ise %1.275,09 oranında daha yüksek Elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde kopma mukavemetlerinde ise ÇEK 45 Ç 1 grubuna göre ÇEK 0 Ç 1 grubu %1.716,05 oranında, TYK 0 Ç 1 grubu ise 1.991,77 oranında daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 Ç 1 grubuna göre ÇEK 0 Ç 1 grubunun %88,89 oranında, TYK 0 Ç 1 grubunun ise %77,78 oranında gevrek olduğu görülmüştür. Yukarıdaki Çizelge 6.10. da bulunan veriler ve numuneler arasındaki oranlara bıkıldığında tek katmandan oluşan kompozit gruplarında en iyi malzemenin Tek Yönlü Karbon 0⁰ li (TYK 0 Ç 1) grubuna ait olduğu anlaşılmıştır.

İki katmandan oluşan numune gruplarının ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 6.11. de iki katmandan oluşan numunelerin ortalama elastisite (E_t), kopma mukavemet (σ_m) ve kopma uzama yüzde değerleri (ϵ_m) verilmektedir.

Çizelge 6.11. İki katmandan oluşan numunelerin ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması.

Numune	Elastisite (E_t) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) MPa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
ÇEK 0 Ç 2	43300	601	1,5
ÇEK 45 Ç 2	4680	42,8	3,9
TYK 0 Ç 2	56300	697	1,2

İki katmandan oluşan numunelerin ortalama çekme test verilerine baktığımızda en iyi elastisite ve kopma mukavemet değerlerinin tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı kompozit (TYK 0 Ç 2) grubu numunelerine ait olduğu görülmektedir. Aynı gruba ait kompozit numunelerin elastisite ve kopma mukavemet değerleri arttıkça daha kırılğan bir hal alarak gevrek hale geldiği anlaşılmıştır. En sünek malzeme ise Çift Eksenli Karbon ±45⁰ elyaf yönlenme açılı Tek Katlı kompozit (ÇEK 45 Ç 2) grubu olduğu görülmektedir. ÇEK 45 Ç 2 grubunun değerlerini

% 100 kabul edersek buna göre; ÇEK 0 Ç 2 grubu % 925,21 oranında, TYK 0 Ç 2 grubu ise % 1.202,99 oranında daha yüksek Elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde kopma mukavemetlerinde ise ÇEK 45 Ç 2 grubuna göre ÇEK 0 Ç 2 grubu %1.404,21 oranında, TYK 0 Ç 2 grubu ise 1.628,51 oranında daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 Ç 2 grubuna göre ÇEK 0 Ç 2 grubunun %38,46 oranında, TYK 0 Ç 2 grubunun ise %30,77 oranında daha gevrek olduğu anlaşılmıştır. Tek katmandan oluşan numuneler ile karşılaştırıldığında katman sayısının artmasıyla elastisite ve kopma mukavemet değerleri her üç grup için arttığı görülmüştür. Kopma uzama yüzde değerlerinde ise TYK 0 Ç 2 grubu ve ÇEK 0 Ç 2 gruplarının daha gevrek bir hal alırken ÇEK 45 Ç 2 grubunun ise daha sünek bir hal aldığı anlaşılmıştır.

Üç katmandan oluşan numune gruplarının ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması

Üç katmandan oluşan numunelerin ortalama elastisite (E_t), kopma mukavemet (σ_m) ve kopma uzama yüzde değerleri (ϵ_m) Çizelge 6.12. de verilmektedir.

Çizelge 6.12. Üç katmandan oluşan numunelerin ortalama çekme test sonuçlarının karşılaştırılması.

Numune	Elastisite (E_t) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) MPa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
ÇEK 0 Ç 3	36900	468	1,6
ÇEK 45 Ç 3	4080	56,4	6,5
TYK 0 Ç 3	70200	631	1,1

Üç katmandan oluşan numunelere bakıldığında Tek Yönlü Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı kompozit (TYK 0 Ç 3) grubu numunelerinin diğer katman sayılarında olduğu gibi en iyi elastisite, kopma mukavemeti ve en düşük kopma uzama yüzde değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Diğer katman sayılarında olduğu gibi çift eksenli karbon $\pm 45^\circ$ li üç katlı kompozit (ÇEK 45 Ç 3) grubunun değerlerini %100 kabul edersek buna göre; ÇEK 0 Ç 3 grubu %904,41 oranında, TYK 0 Ç 3 grubu ise %1.720,59 oranında daha yüksek Elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde kopma mukavemetlerinde ise ÇEK 45 Ç 3 grubuna göre ÇEK 0 Ç 3 grubu %829,79 oranında, TYK 0 Ç 3 grubu ise 1.118,79 oranında daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 Ç 3 grubuna göre ÇEK 0 Ç 3 grubunun %24,62 oranında, TYK 0 Ç 3 grubunun ise %16,92 oranında gevrek olduğu görülmüştür. Yukarıdaki çizelgelerde bulunan değerleri incelediğimizde her üç grup içinde elastisite ve kopma

mukavemet değerlerinde artış görülmüştür. Kopma uzama yüzdelere bakıldığında ise TYK 0 Ç grubunun katman sayısı arttıkça daha gevrek bir hal alırken ÇEK 45 Ç grubunun ise daha sünek bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır.

6.1.5. Çekme testine göre aynı katman sayısına sahip numune gruplarının en yüksek değerlerinin karşılaştırılması

Katman sayılarına göre numunelerin en yüksek değerlere sahip elastisite (E_t), kopma mukavemet (σ_m) ve kopma uzama yüzde değerleri (ϵ_m) karşılaştırılacaktır.

Tek katmandan oluşan numune gruplarının en yüksek çekme test sonuçlarının karşılaştırılması

Tek katman sayısına sahip kompozit gruplarına ait numunelerin en yüksek değerlerinin karşılaştırması Çizelge 6.13. te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Tek katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin çekme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_t) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) MPa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
ÇEK 0 Ç 1-3	32000	448	1,5
ÇEK 45 Ç 1-2	5460	35,7	1,3
TYK 0 Ç 1-4	35900	534	1,4

Tek katmandan oluşan numunelerin en yüksek çekme testi değerleri incelendiğinde ortalama değerlerin göstermiş olduğu özelliklerle benzer olduğu görüldü. Ortalama değerler ile en yüksek değerler arasındaki tek fark ise çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı 3 no'lu kompozit (ÇEK 0 Ç 1-3) numunesinin daha sünek olmasıdır. Elastisite değerlerinin ortalama değerlerde olduğu gibi en iyi değerlere sahip numunenin sırasıyla tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı 4 no'lu kompozit (TYK 0 Ç 1-4) numunesine ait olduğu anlaşılmıştır. Bunu çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı 3 no'lu kompozit (ÇEK 0 Ç 1-3) numunesi takip ederken en düşük değer olarak çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı 2 no'lu kompozit (ÇEK 45 Ç 1-2) numunesine ait olduğu görülmektedir.

İki katmandan oluşan numune gruplarının en yüksek çekme test sonuçlarının karşılaştırılması

İki katman sayısına sahip kompozit gruplarına ait numunelerin en yüksek Elastisite, Kopma Mukavemet ve Kopma Uzama Yüzde Oran değerlerinin karşılaştırması Çizelge 6.14. te verilmiştir.

Çizelge 6.14. İki katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin çekme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_t) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) MPa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
ÇEK 0 Ç 2-1	45600	579	1,4
ÇEK 45 Ç 2-2	4920	46,6	4,6
TYK 0 Ç 2-2	59300	696	1,2

Çizelge 6.14 e baktığımızda iki katmandan oluşan en yüksek değerler ile ortalama değerlerin birbirine benzediğini görmekteyiz. En iyi elastisite ve kopma mukavemet değerlere sahip kompozit grubunun tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı ikinci kompozit (TYK 0 Ç 2-2) numunesine ait olduğu görülmektedir. Çift eksenli karbon kompozit numunelerine baktığımızda ise $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısıyla üretilen numunelerin 0⁰ elyaf yönlenme açısıyla üretilen numunelere göre daha yüksek elastisite ve kopma mukavemet değerlerine sahip olduğu anlaşılmıştır. İki katmandan oluşan numunelerin içinde en iyi sünekliği gösteren numunenin çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip 2 no'lu (ÇEK 45 Ç 2-2) numuneye ait olduğu tespit edildi.

Üç katmandan oluşan numune gruplarının en yüksek çekme test sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 6.15 te üç katmandan oluşan kompozit malzemelerin en yüksek çekme test verilerinin karşılaştırmaları verilmiştir.

Çizelge 6.15. Üç katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin çekme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_t) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) MPa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
ÇEK 0 Ç 3-1	39500	482	1,5
ÇEK 45 Ç 3-4	4460	56,5	5,1
TYK 0 Ç 3-2	71600	595	0,92

Tek ve iki kattan oluşan numunelerin en yüksek değerlerinde olduğu gibi en yüksek Elastisite ve kopma mukavemet değerlerinin tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısıyla üretilen üç katlı iki no'lu numuneye ait olduğu tespit edildi. Diğer katman sayılarında olduğu gibi en sünek malzemenin yine çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip dört no'lu numuneye ait olduğu görüldü.

6.1.6. Çekme testine göre aynı grup malzemelerin katman sayılarının ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Aynı grupta bulunan kompozit malzemelerin katman sayısı artışıyla ortalama çekme test sonuçlarındaki değişimlerinin karşılaştırılması yapılacaktır.

Çift eksen karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozitlerin katman sayılarına göre ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Aşağıdaki Çizelge 6.16. da çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit grubunun ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.16. Çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama çekme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_i) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) Mpa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
ÇEK 0 Ç 1	27000	417	1,6
ÇEK 0 Ç 2	43300	601	1,5
ÇEK 0 Ç 3	36900	468	1,6

Çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısı ile üretilen kompozit malzemelerin çekme test sonuçlarına bakıldığında katman sayısının ikiye çıkmasıyla elastisite ve kopma mukavemet değerinde artış olduğu görüldü. Katman sayısının ikiden üçe çıkmasıyla bu değerlerde düşüş olduğu tespit edildi. Aynı şekilde kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında tek katmandan oluşan kompozit ile üç katmandan oluşan kompozit malzemelerin daha sünek iki kattan oluşan kompozit malzemelerin ise daha gevrek olduğu tespit edildi.

Çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip kompozitlerin katman sayılarına göre ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip kompozit grubunun ortalama değerleri aşağıdaki Çizelge 6.17. de verilmiştir.

Çizelge 6.17. Çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama çekme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_i) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) MPa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
ÇEK 45 Ç 1	2690	24,3	1,8
ÇEK 45 Ç 2	4680	42,8	3,9
ÇEK 45 Ç 3	4080	56,4	6,5

$\pm 45^0$ yönlenme açısına sahip çift eksen karbon elyaftan üretilmiş kompozit malzemelerin elastisite ve kopma mukavemet değerlerinin ortalamalarına bakıldığında 0^0 yönlenme açısına sahip çift eksen kompozit malzemelerde olduğu gibi önce yükselme olduğu daha sonra katman sayısı üçe çıktığında düşüş yaşandığı görüldü. Katman sayısının artmasıyla bu gruba ait malzemelerin sünekliliğinin büyük oranlarda arttığı tespit edildi.

Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozitlerin katman sayılarına göre ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Aşağıda tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit grubunun ortalama değerleri Çizelge 6.18. de verilmiştir.

Çizelge 6.18. Tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama çekme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_i) MPa	Kopma Mukavemeti (σ_m) MPa	Kopma Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_m) %
TYK 0 Ç 1	34300	484	1,4
TYK 0 Ç 2	56300	697	1,2
TYK 0 Ç 3	70200	631	1,1

Tek yönlü karbon elyaftan üretilmiş 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelerin değerlerine bakıldığında katman sayılarının artmasıyla birlikte malzemenin elastisite ve kopma mukavemet değerlerinin yükseldiği tespit edildi. Bu gruba ait kompozit malzemelerin katman sayısının artması ile daha gevrek bir hale dönüştüğü görüldü.

Yukarıda yapmış olduğumuz çekme test verilerinin sonuçlarının üç farklı şekilde karşılaştırılması aşağıda maddeler halinde kısaca özetlenmiştir.

- Ortalama ve en yüksek değerlere göre en iyi elastisite'ye sahip kompozit malzemenin tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş malzemelere ait olduğu tespit edildi.
- Elastisite değerinde olduğu gibi en yüksek kopma mukavemet değerinin tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzeme olduğu görüldü.
- En yüksek kopma uzama oranının katman sayılarının değişmesine rağmen çift eksenli $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş kompozit grubuna ait olduğu tespit edildi.
- En gevrek malzeme grubunun en iyi elastisite ve kopma mukavemet değerlerine sahip olan tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş kompozitlere ait olduğu görüldü.
- Çift eksenli $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısı ile üretilmiş kompozit malzemelerin katman sayılarının artmasıyla elastisite değerlerinin önce arttığı daha sonra tekrar azaldığı görüldü. Kopma mukavemet değerlerinin ise sürekli bir artışta olduğu görüldü. Aynı gruptaki malzemelerde sünekliğin ise katman sayısındaki artışla birlikte sürekli arttığı tespit edildi.
- Çift eksen karbonlardan üretilmiş kompozit malzemelere bakıldığında çekme yönünde en iyi sonuçları 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelere ait olduğu tespit edildi.
- Aynı gruba ait malzemelerde tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş ve çift eksenli $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş kompozit malzemelerin katman sayılarının artmasıyla tüm değerlerinin aynı doğrultuda arttığı tespit edildi. Çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş kompozit malzemelerin ise katman sayısındaki artışa göre değerlerinde artma ve azalma olduğu görüldü.
- Çekme testi veri sonuçları çekme yönünde en iyi kompozit malzemenin tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına göre üretilmiş üç katlı kompozit malzemelere ait olduğu görüldü.

6.2. Üç Nokta Eğme Testi

Üç nokta basma testini çekme testinde olduğu gibi her grubu ayrı ayrı inceleyeceğiz. Üç nokta eğme testi örnek numune cihaz sonuçları Ek 2'de verilmiştir.

6.2.1. Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 E) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları



Gruplara ayrılmış test numuneleri katman sayılarına göre düşükten büyüğe doğru test edilmiştir.

Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 E 1) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

İlk olarak çift eksen karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı kompozit grubun da bulunan tek kattan oluşan numunelerin testleri yapılmıştır. Çizelge 6.19. da çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 E 1) numunelerinin ve ortalama değer verileri mevcuttur.

Çizelge 6.19. Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 E 1) kompozit grubunun üç nokta eğme test sonucu.

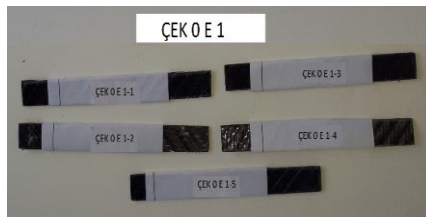
a) ÇEK 0 E 1 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E _f MPa	σ _{fM} MPa	ε _{fM} %	σ _{fB} MPa	ε _{fB} %	L _v mm	h mm	b mm
	1	ÇEK 0 E 1-1	3980	159	3,7	96,8	4,7	30	1,1	10
	2	ÇEK 0 E 1-2	4740	178	4,0	124	5,8	30	1,1	10
	3	ÇEK 0 E 1-3	6260	205	3,3	205	3,3	30	1,1	10
	4	ÇEK 0 E 1-4	2960	153	4,8	-	-	30	1,1	10

b) ÇEK 0 E 1 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series n = 4	E _f MPa	σ _{fM} MPa	ε _{fM} %	σ _{fB} MPa	ε _{fB} %	L _v mm	h mm	b mm
x	4480	174	4,0	142	4,6	30	1,1	10
s	1390	23,4	0,63	56,2	1,2	0,000	0,000	0,000
v [%]	31,04	13,47	15,97	39,57	26,74	0,00	0,00	0,00

Şekil 6.10. da Çift Eksen Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı ve tek kattan oluşan kompozit malzemelerinin üç nokta eğme testinden önce ve sonra görüntüleri verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.10. ÇEK 0 E 1 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.





Çift Eksen Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı ve tek kattan oluşan kompozit (ÇEK 0 E 1) grubunun üç nokta eğme test sonuçlarında numune değerlerin birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu değişikliklerin numune hazırlıkları sırasında matris malzemesinin karbon elyaf takviyesini her yerde aynı oranda kaplamadığını bundan dolayı oluştuğu düşünülmektedir. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında % 52,72 fark ve eğilme mukavemet değerinde % 25,37 fark oluştuğu görülmektedir. Test sonrası numune resimleri bizlere karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kırılmalar yaşandığını fakat kopma olmadığını göstermektedir.

Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 E 2) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

Aşağıdaki Çizelge 6.20. de çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 E 2) numunelerinin ve ortalama değer verileri verilmiştir.

Çizelge 6.20. Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 E 2) kompozit grubunun eğme test sonucu.

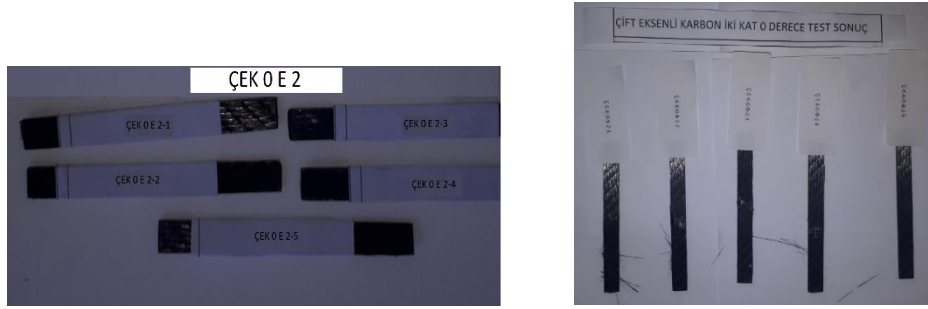
a)ÇEK 0 E 2 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E _f MPa	σ _{fM} MPa	ε _{fM} %	σ _{fB} MPa	ε _{fB} %	L _v mm	h mm	b mm
	1	ÇEK 0 E 2-1	7280	125	1,6	86,4	2,3	30	1,8	10
	2	ÇEK 0 E 2-2	17200	304	1,3	304	1,3	30	1,75	10
	3	ÇEK 0 E 2-3	16200	247	1,2	247	1,2	30	1,75	10
	4	ÇEK 0 E 2-4	15300	197	0,99	197	0,99	30	1,67	10

b)ÇEK 0 E 2 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series	E _f MPa	σ _{fM} MPa	ε _{fM} %	σ _{fB} MPa	ε _{fB} %	L _v mm	h mm	b mm
n = 4								
x	14000	218	1,3	209	1,5	30	1,743	10
s	4550	75,8	0,23	92,4	0,56	0,000	0,05377	0,000
v [%]	32,50	34,70	18,06	44,29	38,81	0,00	3,09	0,00

Aşağıdaki Şekil 6.11. de Çift Eksen Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki kattan oluşan kompozit malzemelerinin üç nokta eğme testinden önce ve sonra görüntüleri verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu

b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.11. ÇEK 0 E 2 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.




Çift Eksen Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı ve iki kattan oluşan kompozit (ÇEK 0 E 2) grubunun üç nokta eğme test sonuçlarına baktığımızda birinci numune haricinde numune değerlerin birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. Bu farklılığın numune hazırlıkları sırasında matris malzemesinin karbon elyaf takviyesini her yerde aynı oranda kaplamadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. İki katlı numune değerlerinin katman sayısı arttıkça daha iyi değerlere ulaştığı görüldü. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %57,67 fark ve eğilme mukavemet değerinde %58,88 fark olduğu görülmektedir. Numuneler arasındaki oranların tek katlı numunelere göre daha fazla olduğu görüldü. Test sonrası numune resimleri bizlere karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kırılmalar yaşandığını ve bazı karbon liflerinin bütünden ayrıldığını fakat tam olarak kopma olmadığını göstermektedir.

Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 E 3) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 E 3) numunelerinin ve ortalama değer verileri Çizelge 6.21. de verilmiştir.

Çizelge 6.21. Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 E 3) kompozit grubunun eğme test sonucu.

a) ÇEK 0 E 3 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E _f MPa	σ _{fM} MPa	ε _{fM} %	σ _{fB} MPa	ε _{fB} %	L _v mm	h mm	b mm
	1	ÇEK 0 E 3-1	20400	268	1,3	161	2,4	50	3	10
	2	ÇEK 0 E 3-2	23200	324	1,5	324	1,5	50	3	10
	3	ÇEK 0 E 3-3	23700	255	1,5	255	1,5	50	2,84	10
	4	ÇEK 0 E 3-4	26100	324	1,3	190	1,9	50	2,84	10

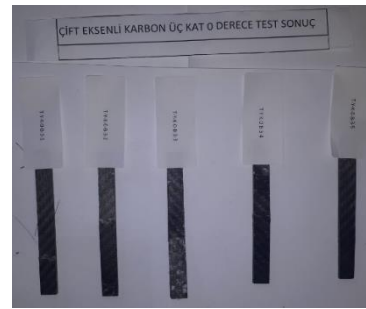
b) ÇEK 0 E 3 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series	E _f MPa	σ _{fM} MPa	ε _{fM} %	σ _{fB} MPa	ε _{fB} %	L _v mm	h mm	b mm
n = 4	MPa	MPa	%	MPa	%	mm	mm	mm
x	23400	293	1,4	233	1,8	50	2,92	10
s	2340	36,6	0,13	72,7	0,44	0,000	0,09238	0,000
v [%]	10,03	12,50	9,28	31,25	24,25	0,00	3,16	0,00

Çift Eksen Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı ve iki kattan oluşan kompozit malzemelerinin üç nokta eğme testinden önce ve sonra görüntüleri Şekil 6.12. de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.12. ÇEK 0 E 3 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.

Üç kattan oluşan Çift Eksen Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı kompozit (ÇEK 0 E 3) grubunun üç nokta eğme test sonuçlarına baktığımızda numune değerlerin diğer katman sayılarına göre birbirine daha yakın değerlerde olduğunu görmüştür. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında % 21,84 fark ve eğilme mukavemet değerinde % 21,30 fark olduğu görülmektedir. Bu oranların diğer katmanlara göre

daha düşük olduğu görülmektedir. Numune resimleri karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kırılmaların yaşandığını fakat kopma olmadığını göstermektedir. Diğer katmanlara göre numunelerde daha az deformasyon yaşandığı da tespit edildi.

6.2.2. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 E) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları





Üç nokta eğme testleri katman sayılarına göre düşükten büyüğe göre yapılmıştır.

Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 E 1) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

Tek kattan oluşan çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip kompozit grubun da bulunan numunelerin test sonuçları Çizelge 6.22. de verilmiştir.

Çizelge 6.22. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 E 1) kompozit grubunun eğme test sonucu.

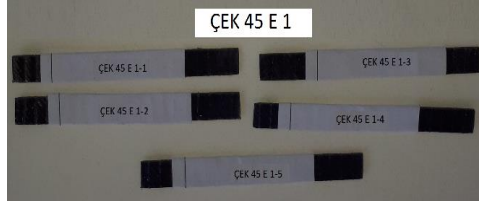
a) ÇEK 45 E 1 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ε_{fM} %	σ_{fB} MPa	ε_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
	1	ÇEK 45 E 1-1	2710	80,7	3,2	56,5	4,3	30	0,96	10
	2	ÇEK 45 E 1-2	1870	60,6	5,1	44,4	7,3	30	1,1	10
	3	ÇEK 45 E 1-3	1370	58,5	4,0	43,2	7,3	30	1,1	10
	4	ÇEK 45 E 1-4	1790	64,3	4,7	45,9	7,3	30	1,1	10

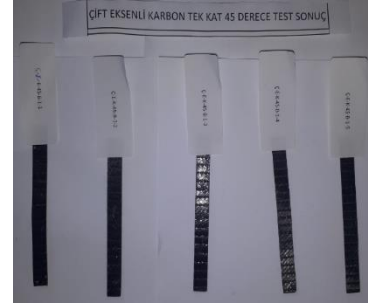
b) ÇEK 45 E 1 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series	E_f	σ_{fM}	ε_{fM}	σ_{fB}	ε_{fB}	L_v	h	b
$n = 4$	MPa	MPa	%	MPa	%	mm	mm	mm
x	1940	66,0	4,2	47,5	6,6	30	1,065	10
s	565	10,0	0,86	6,08	1,5	0,000	0,07	0,000
ν [%]	29,17	15,21	20,29	12,81	23,02	0,00	6,57	0,00

Şekil 6.13. de çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek kattan oluşan numunelerin testten önceki ve sonraki görüntüleri verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.13. ÇEK 45 E 1 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.





Çift Eksen Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı kompozit (ÇEK 45 E 1) grubunun üç nokta eğme test sonuçlarına baktığımızda birinci numunenin diğer numunelere göre daha yüksek değerlere sahip olduğu diğer numune değerlerin ise birbirine yakın olduğunu görmekteyiz. Bu farklılığın nedeninin matris malzemesinin diğer numunelere göre daha fazla olduğu için olduğu anlaşıldı. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %49,45 fark ve eğilme mukavemet değerinde %27,51 fark olduğu görülmektedir. Numune resimleri karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kırılmaların yaşandığını fakat numunenin bütünlüğünü koruduğu görüldü.

Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 E 2) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

Çizelge 6.23. de iki kattan oluşan çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı kompozit grubun da bulunan numunelerin test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.23. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 E 2) kompozit grubunun eğme test sonucu.

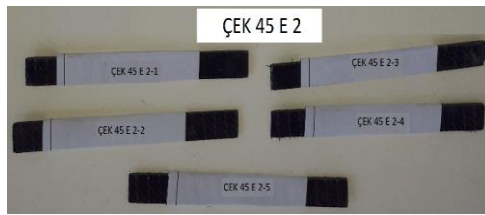
a) ÇEK 45 E 2 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_{fM} %	σ_{fB} MPa	ϵ_{fB} %	Lv mm	h mm	b mm
	1	ÇEK 45 E 2-1	5410	116	3,4	81,1	9,3	30	1,58	10
	2	ÇEK 45 E 2-2	4160	103	4,3	72,3	7,6	30	1,67	10
	3	ÇEK 45 E 2-3	4670	117	3,4	82,1	5,3	30	1,6	10
	4	ÇEK 45 E 2-4	4330	81,1	2,4	69,0	11	30	1,6	10

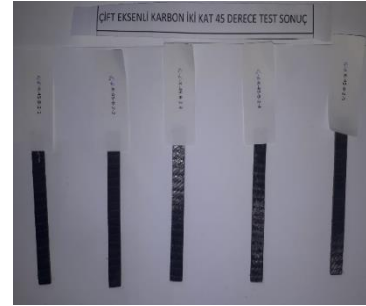
b) ÇEK 45 E 2 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_{fM} %	σ_{fB} MPa	ϵ_{fB} %	Lv mm	h mm	b mm
n = 4								
x	4650	104	3,4	76,1	8,2	30	1,613	10
s	555	16,7	0,79	6,48	2,3	0,000	0,03948	0,000
v [%]	11,95	16,04	23,33	8,51	28,21	0,00	2,45	0,00

Aşağıdaki Şekil 6.14. de Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 E 2) kompozit grubunun test öncesi ve sonrası numune görüntüleri verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.14. ÇEK 45 E 2 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.

Çift Eksen Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı kompozit (ÇEK 45 E 2) grubunun üç nokta eğme test sonuçlarına baktığımızda numune değerlerin yakın olduğunu görmektedir. Tek kata göre numunelerin daha mukavim olduğu görüldü. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %23,11 fark ve eğilme mukavemet değerinde % 30,68 fark olduğu görülmektedir. Numuneler arasında oluşan oranların elastisite değerlerinde düşüş yaşanırken eğilme mukavemet oranında artma olduğu tespit edilmiştir.





Numune resimleri karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kırılmaların yaşandığını fakat kopmanın olmadığını göstermektedir.

Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 E 3) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

Çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı kompozit grubuna ait son numune olan üç katlı malzemelerin test sonuçları Çizelge 6.24. de verilmiştir.

Çizelge 6.24. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 E 3) kompozit grubunun eğme test sonucu.

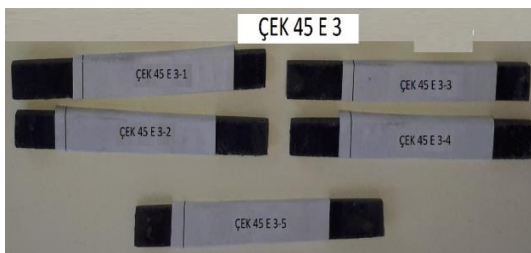
a) ÇEK 45 E 3 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ε_{fM} %	σ_{fB} MPa	ε_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
	1	ÇEK 45 E 3-1	3860	93,2	6,7	93,2	6,7	50	2,8	10
	2	ÇEK 45 E 3-2	4020	91,1	6,9	90,8	7,1	50	2,95	10
	3	ÇEK 45 E 3-3	4050	90,0	4,9	86,9	6,8	50	2,85	10
	4	ÇEK 45 E 3-4	5090	102	5,7	100	7,0	50	2,9	10

b) ÇEK 45 E 3 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series	E_f MPa	E_f MPa	σ_{fM} %	ε_{fM} MPa	σ_{fB} %	ε_{fB} mm	L_v mm	h mm
n = 4								
x	4250	94,1	6,1	92,8	6,9	50	2,875	10
s	561	5,60	0,93	5,66	0,16	0,000	0,06455	0,000
v [%]	13,19	5,94	15,38	6,10	2,27	0,00	2,25	0,00

Aşağıdaki Şekil 6.15 de Çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç kattan oluşan numunelerin test öncesi ve test sonrası görüntüleri verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu

b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.15. ÇEK 45 E 3 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon $\pm 45^\circ$ elyaf yönlenme açılı üç katlı kompozit (ÇEK 45 E 3) grubunun eğme test sonuçlarına baktığımızda numune değerlerin birbirine yakın olduğunu fakat iki katlı numunelere göre daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edildi. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %21,02 fark ve eğilme mukavemet değerinde %11,76 fark olduğu görülmektedir. Değerler arasında ki oranların diğer katlara göre daha düşük olduğu görüldü. Test sonrası numune resimleri bizlere karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kırılmalar yaşandığını fakat kopma olmadığını göstermektedir.

6.2.3. Tek yönlü karbon 0° elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 E) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları




Üç nokta eğme testlerinde son grup olarak tek yönlü 0° elyaf yönlenme açılı kompozit gruplarının testleri katman sayılarına göre düşükten büyüğe göre yapılmıştır.

Tek yönlü karbon 0° elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 E 1) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

Tek kattan oluşan tek yönlü karbon 0° elyaf yönlenme açılı kompozit grubun da bulunan numunelerin test sonuçları Çizelge 6.25. de verilmiştir.

Çizelge 6.25. Tek yönlü karbon 0° elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 E 1) kompozit grubunun eğme test sonucu.

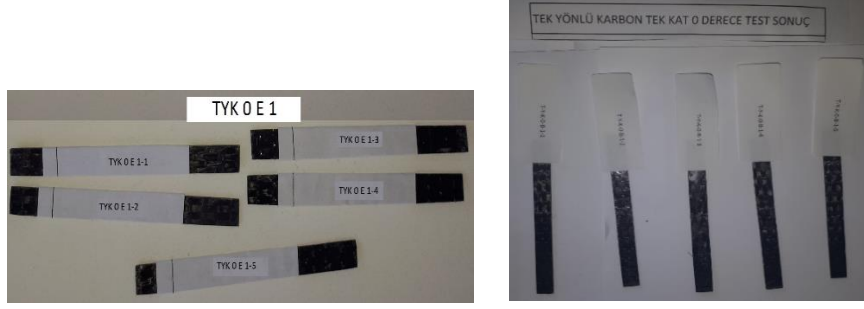
a)TYK 0 E 1 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ε_{fM} %	σ_{fB} MPa	ε_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
	1	TYK 0 E 1-1	9880	237	2,6	187	7,2	30	1,08	10
	2	TYK 0 E 1-2	6870	213	3,0	213	3,0	30	1,05	10
	3	TYK 0 E 1-3	9210	232	2,5	232	2,5	30	0,95	10
	4	TYK 0 E 1-4	7220	189	2,4	132	4,0	30	1,02	10

b)TYK 0 E 1 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series n = 4	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ε_{fM} %	σ_{fB} MPa	ε_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
x	8290	218	2,6	191	4,2	30	1,025	10
s	1480	21,7	0,29	43,3	2,1	0,000	0,05568	0,000
v [%]	17,79	9,96	10,95	22,69	50,59	0,00	5,43	0,00

Aşağıda bulunan Şekil 6.16 da tek yönlü 0° elyaf yönlenme açılı kompozit grubunun üç nokta test öncesi ve sonrası görüntüleri bulunmaktadır.



a) Testten önce numune durumu

b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.16. TYK 0 E 1 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.





Tek Yönlü Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 E 1) kompozit grubunun eğme test sonuçlarına baktığımızda numune değerlerin farklılık gösterdiği görmekte. En yüksek değerleri % 100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında % 30,47 fark ve eğilme mukavemet değerinde % 20,25 fark olduğu görülmektedir. Test sonrası numune resimleri bizlere karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kırılmalar yaşandığını fakat tam olarak kopma yaşanmadığı görüldü.

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 E 2) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki kattan oluşan gruba ait numunelerin test sonuçları Çizelge 6.26. de verilmiştir.

Çizelge 6.26. Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 E 2) kompozit grubunun üç nokta eğme test sonucu.

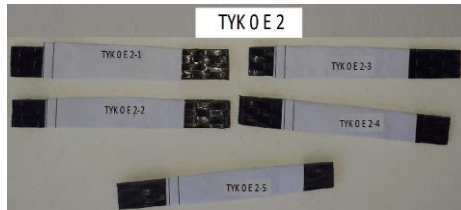
a) TYK 0 E 2 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ε_{fM} %	σ_{fB} MPa	ε_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
	1	TYK 0 E 2-1	22400	211	0,92	211	0,92	30	1,35	10
	2	TYK 0 E 2-2	16400	155	1,5	92,8	2,4	30	1,45	10
	3	TYK 0 E 2-3	17600	191	1,2	125	9,8	30	1,47	10
	4	TYK 0 E 2-4	24000	227	1,7	136	3,4	30	1,35	10

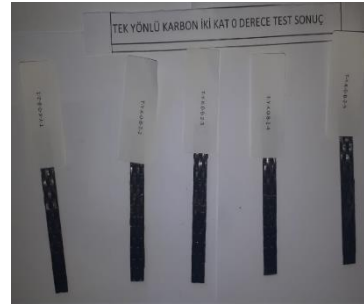
b) TYK 0 E 2 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ε_{fM} %	σ_{fB} MPa	ε_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
$n = 4$								
x	20100	196	1,3	141	4,1	30	1,405	10
s	3670	31,3	0,35	49,9	3,9	0,000	0,06403	0,000
v [%]	18,25	15,96	26,11	35,31	94,66	0,00	4,56	0,00

Şekil 6.17 de tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı iki kattan oluşan numunelerin üç nokta eğme test öncesi ve sonrası görüntüleri verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.17. TYK 0 E 2 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.

Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 E 2) kompozit grubunun üç nokta eğme test sonuçlarına baktığımızda numune değerlerin farklılıklar olduğunu görmekteyiz. Tek katlı numunelere göre daha mukavim olmasına karşın grup içerisindeki eğilme mukavemet değerleri arasındaki oranın daha çok arttığı görüldü. En yüksek değerleri %100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında %31,67 fark ve eğilme mukavemet değerinde %31,72 fark oluştuğu görülmektedir. Numune resimleri bizlere karbon liflerinin





yönlenme doğrultusunda kopmaların yaşandığını ama tüm liflerde kopma yaşanmadığı için numunenin tam olarak kopmadığı görüldü.

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 E 3) numune grubunun üç nokta eğme test sonuçları

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç kattan oluşan son numunelerin test sonuçları Çizelge 6.27. de verilmiştir.

Çizelge 6.27. Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 E 3) kompozit grubunun eğme test sonucu.

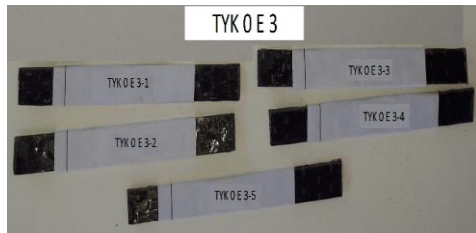
a) TYK 0 E 3 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi numune sonuçları

Legend	No.	Type	E _f MPa	σ _{fM} MPa	ε _{fM} %	σ _{fB} MPa	ε _{fB} %	L _v mm	h mm	b mm
	1	TYK 0 E 3-1	29300	168	0,63	168	0,63	50	1,95	10
	2	TYK 0 E 3-2	36800	235	0,66	235	0,66	50	1,7	10
	3	TYK 0 E 3-3	36800	175	0,50	105	1,1	50	1,7	10
	4	TYK 0 E 3-4	36500	216	0,62	216	0,62	50	1,82	10

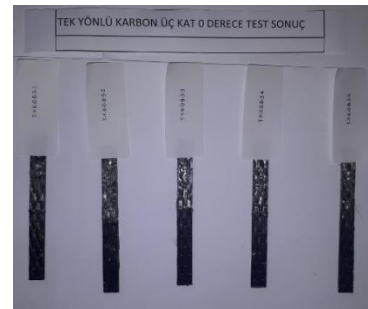
s) TYK 0 E 3 Kompozit grubunun üç nokta eğme testi ortalama değerleri

Series n = 4	E _f MPa	σ _{fM} MPa	ε _{fM} %	σ _{fB} MPa	ε _{fB} %	L _v mm	h mm	b mm
x	34800	198	0,60	181	0,75	50	1,793	10
s	3710	32,4	0,067	58,1	0,24	0,000	0,1193	0,000
v [%]	10,66	16,32	11,13	32,07	31,53	0,00	6,65	0,00

Son grubumuz olan tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç kattan oluşan numunelerin üç nokta eğme testinden önce ve sonra görüntüleri Şekil 6.18 de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.18. TYK 0 E 3 grubunun üç nokta eğme test numuneleri.

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 E 3) kompozit grubunun üç nokta eğme test sonuçları diğer katmanlara göre numune değerlerin birbirine daha yakın olduğunu görüldü. Elastisite ve eğilme mukavemet değerlerinde yukarı yönde sürekli bir artış tespit edildi. En yüksek değerleri % 100 kabul edersek elastisite değerinde en yüksek ve en düşük değerler arasında % 20,38 fark ve eğilme mukavemet değerinde % 25,53 fark olduğu görülmektedir. Numune resimleri aynı gruba ait farklı katman sayılarındaki numunelerde olduğu gibi karbon liflerinin yönlenme doğrultusunda kırılmaların yaşandığını fakat numunenin tam olarak kopma olmadığını gösterdi.

6.2.4. Üç nokta eğme testine göre aynı katman sayısına sahip numune gruplarının ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Katman sayılarına göre numunelerin ortalama elastisite (E_f), eğilme mukavemeti (σ_{fM}) ve eğilme uzama yüzde değerlerini (ϵ_{fM}) karşılaştırılacaktır.

Tek katmandan oluşan numune gruplarının ortalama üç nokta eğme test sonuçlarının karşılaştırılması

Tek katmandan oluşan numune gruplarına ait üç nokta eğme test verilerinin ortalama değerleri aşağıdaki Çizelge 6.28. de verilmiştir.

Çizelge 6.28. Tek katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ_{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_{fM}) %
ÇEK 0 E 1	4480	174	4,0
ÇEK 45 E 1	1940	66	4,2
TYK 0 E 1	8290	218	2,6

Tek katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme testi değerleri incelendiğinde en iyi elastisite ve eğilme mukavemet değerlerinin tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 E 1) kompozit grubu numunelerine ait olduğu görülmektedir. Aynı zamanda elastisite ve kopma mukavemet değerlerindeki artışla birlikte en gevrek malzemenin yine aynı grup olan tek yönlü karbon 0⁰ li tek katlı kompozit malzemeye ait olduğu görüldü. En düşük elastisite ve eğilme mukavemet değerine sahip olan çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 E 1) kompozit grubunun en sünek malzeme olduğu tespit edildi. Çift eksenli $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 E 1) grubunun değerlerini %100 kabul edersek buna

göre; ÇEK 0 E 1 grubu %230,92 oranında, TYK 0 E 1 grubu ise %427,32 oranında daha yüksek elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde eğilme mukavemetlerinde ise ÇEK 45 E 1 grubuna göre ÇEK 0 E 1 grubu %263,64 oranında, TYK 0 E 1 grubu ise 330,30 oranında daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 E 1 grubuna göre ÇEK 0 E 1 grubunun %95,24 oranında, TYK 0 E 1 grubunun ise %61,91 oranında gevrek olduğu görülmüştür.

İki katmandan oluşan numune gruplarının ortalama üç nokta eğme test sonuçlarının karşılaştırılması

Aşağıdaki Çizelge 6.29. da iki katmandan oluşan numune gruplarına ait üç nokta eğme test verilerinin ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.29. İki katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ_{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_{fM}) %
ÇEK 0 E 2	14000	218	1,3
ÇEK 45 E 2	4650	104	3,4
TYK 0 E 2	20100	196	1,3

İki katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme testi değerleri incelendiğinde tek katmandan oluşan numunelere benzer özellik göstererek en iyi elastisite değerlerini tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 E 2) kompozit grubu numunelerine ait olduğu görüldü. Tek katmandan oluşan numunelere göre farklılığın eğilme mukavemet değerlerinde oluşarak en iyi ortalama sonucunun çift eksenli 0^0 elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 E 2) kompozit grubuna ait olduğu tespit edildi. Ortalama eğilme uzama yüzde değerinde ise ÇEK 0 E 2 grubu ile TYK 0 E 2 grubunun aynı değerlere sahip olduğu görüldü. En sünek malzemenin tek katta olduğu gibi çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 E 2) kompozit grubu olduğu görüldü. ÇEK 45 E 2 grubunun değerlerini %100 kabul edildiğinde; ÇEK 0 E 2 grubu %301,08 oranında, TYK 0 E 2 grubu ise %432,26 oranında daha yüksek elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde eğilme mukavemetlerinde ise ÇEK 45 E 2 grubuna göre ÇEK 0 E 2 grubu %209,62 oranında, TYK 0 E 2 grubu ise %188,46 oranında daha yüksek değerlere sahip olduğu görüldü. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 E 2 grubuna göre ÇEK 0 E 2 grubunun %38,24 oranında, TYK 0 E 2 grubunun ise %38,24 oranında gevrek olduğu görülmüştür.

Üç katmandan oluşan numune gruplarının ortalama üç nokta eğme test sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 6.30. da üç katmandan oluşan numune gruplarına ait üç nokta eğme test verilerinin ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.30. Üç katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ_{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_{fM}) %
ÇEK 0 E 3	23400	293	1,4
ÇEK 45 E 3	4250	94,1	6,1
TYK 0 E 3	34198	198	0,6

Üç katmandan oluşan numunelerin ortalama üç nokta eğme test değerleri incelendiğinde en iyi elastisite değerlerinin tek ve iki katmandan oluşan numunelerde olduğu gibi tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 E 3) kompozit grubu numunelerine ait olduğu görülmektedir. Eğilme mukavemet değerlerinde ise en iyi ortalama sonucunun iki katlı numunelerde olduğu gibi çift eksenli 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 E 3) kompozit grubuna ait olduğu görüldü. En sünek malzemenin ise diğer gruplara göre yine çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 E 3) kompozit grubunun olduğu görüldü. ÇEK 45 E 3 grubunun değerlerini %100 kabul edersek buna göre; ÇEK 0 E 3 grubu %550,59 oranında, TYK 0 E 3 grubu ise %804,66 oranında daha yüksek elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde eğilme mukavemetlerinde ise ÇEK 45 E 3 grubuna göre ÇEK 0 E 3 grubu %311,37 oranında, TYK 0 E 3 grubu ise %210,42 oranında daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 E 3 grubuna göre ÇEK 0 E 3 grubunun %22,95 oranında, TYK 0 E 3 grubunun ise %9,84 oranında gevrek olduğu görülmüştür.

6.2.5. Üç nokta eğme testine göre aynı katman sayısına sahip numune gruplarının en yüksek değerlerinin karşılaştırılması

Bu bölümde aynı katman sayılarında olan en yüksek değerlere sahip numunelerin elastisite (E_f), eğilme mukavemeti (σ_{fM}) ve eğilme uzama yüzde değerleri (ϵ_{fM}) karşılaştırılacaktır.

Tek katmandan oluşan numune gruplarının en yüksek üç nokta eğme test sonuçlarının karşılaştırılması

Tek katman sayısına sahip kompozit gruplarına ait numunelerin en yüksek değerlerinin karşılaştırması Çizelge 6.31. te verilmiştir.

Çizelge 6.31. Tek katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin üç nokta eğme test sonuçları.

Numune	Elastisite (E_f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ_{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ε_{fM}) %
ÇEK 0 E 1-3	6260	205	3,3
ÇEK 45 E 1-1	2710	80,7	3,2
TYK 0 E 1-1	9880	237	2,6

Tek katmandan oluşan numunelerin en yüksek değerli üç nokta eğme testi değerleri incelendiğinde en iyi elastisite ve eğilme mukavemet değerlerinin ortalama değerde olduğu gibi tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı bir nolu (TYK 0 E 1-1) kompozit numunesine ait olduğu görüldü. Elastisite ve kopma mukavemet değerlerindeki artışla aynı doğrultuda en gevrek malzemenin yine aynı gruba ait numunede olduğu görülmektedir. En sünek malzeme yine ortalama değerdeki gibi çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı üç nolu (ÇEK 0 E 1-3) kompozit numunesine ait olduğu görüldü. Elastisite ve eğilme mukavemet değerleri en düşük olan çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı üç nolu (ÇEK 45 E 1-1) numunesinin değerlerini %100 kabul edersek buna göre; ÇEK 0 E 1-3 numunesi %230,99 oranında, TYK 0 E 1-1 numunesi ise %364,58 oranında daha yüksek elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde eğilme mukavemetlerinde ise ÇEK 45 E 1-1 numunesine göre ÇEK 0 E 1-3 numunesi %254,03 oranında, TYK 0 E 1-1 numunesi ise %293,68 oranında daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 E 1-1 numunesine göre ÇEK 0 E 1-3 numunesi %103,125 oranında, TYK 0 E 1-1 numunesi ise %81,25 oranında gevrek olduğu görülmüştür. En yüksek değerlerle ortalama değerlerin birbirine benzer özellikler gösterdiği tespit edildi.

İki katmandan oluşan numune gruplarının en yüksek üç nokta eğme test sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 6.32. te iki katman sayısına sahip kompozit gruplarına ait numunelerin en yüksek değerlerinin karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 6.32. İki katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin üç nokta eğme test sonuçları.

Numune	Elastisite (E_f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ_{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_{fM}) %
ÇEK 0 E 2-2	17200	304	1,3
ÇEK 45 E 2-1	5410	116	3,4
TYK 0 E 2-4	24000	227	1,7

İki katmandan oluşan numunelerin en yüksek değerli üç nokta eğme testi değerleri incelendiğinde ortalama değerlerle aynı tip özellikler gösterdiği ve en yüksek elastisite değerinin tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı dört nolu (TYK 0 E 2-4) kompozit numunesine ait olduğu görüldü. En iyi eğilme mukavemet değerlerinin ise çift eksen karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı iki nolu (ÇEK 0 E 2-2) kompozit numunesine ait olduğu anlaşıldı. Ortalama değerlerde ÇEK 0 E 2 grubu ile TYK 0 E 2 grubu aynı değerlere sahip iken en yüksek değerli numunelerde bu özellik değişerek en gevrek malzemenin çift eksen karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı iki nolu (ÇEK 0 E 2-2) kompozit numunesine ait olduğu görüldü. Ortalama değerlerde olduğu gibi en sünek malzemenin çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı bir nolu (ÇEK 0 E 2-1) kompozit numunesine ait olduğu görülmektedir. Elastisite ve eğilme mukavemet değerleri en düşük olan ÇEK 45 E 2-1 numunesinin değerlerini %100 kabul edersek buna göre; ÇEK 0 E 2-2 numunesi %317,30 oranında, TYK 0 E 2-4 numunesi ise %443,63 oranında daha yüksek elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde eğilme mukavemetlerinde ise ÇEK 45 E 2-1 numunesine göre ÇEK 0 E 2-2 numunesi %262,07 oranında, TYK 0 E 2-4 numunesi ise %195,69 oranında daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 E 2-1 numunesine göre ÇEK 0 E 2-2 numunesi %38,24 oranında, TYK 0 E 2-4 numunesi ise %50 oranında gevrek olduğu görülmüştür. Numunelerin ortalama ve en yüksek değerlerinin karşılaştırılmasına bakıldığında birbirinden az da olsa bir farklılık olduğu görüldü.

İki katmandan oluşan numune gruplarının en yüksek üç nokta eğme test sonuçlarının karşılaştırılması

Aşağıdaki Çizelge 6.33'te üç katman sayısına sahip kompozit gruplarına ait numunelerin en yüksek değerlerinin karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 6.33. Üç katmandan oluşan en yüksek değerli numunelerin üç nokta eğme test sonuçları.

Numune	Elastisite (E_f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ_{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_{fM}) %
ÇEK 0 E 3-4	26100	324	1,3
ÇEK 45 E 3-4	5090	102	5,7
TYK 0 E 3-3	36800	175	0,50

Üç katmandan oluşan numunelerin en yüksek değerli üç nokta eğme testi incelendiğinde diğer katlarda olduğu gibi ortalama değerler ile benzer özellik gösterdiği görüldü. En iyi elastisite değerinin tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı üç nolu (TYK 0 E 3-3) kompozit numunesine ait olduğu anlaşıldı. En iyi eğilme mukavemet değerlerinin ise çift eksen karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı dört nolu (ÇEK 0 E 3-4) kompozit numunesinin olduğu görüldü. En gevrek malzemenin ise tek katlı numunelerde olduğu gibi tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı üç nolu (TYK 0 E 3-3) kompozit numunesine sahip olduğu görüldü. En sünek malzeme ise tek ve iki katlı numunelerde olduğu gibi çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı üç nolu (ÇEK 0 E 3-4) kompozit numunesine ait olduğu tespit edilmiştir. Elastisite ve eğilme mukavemet değerleri en düşük olan ÇEK 45 E 3-4 numunesinin değerlerini %100 kabul edersek buna göre; ÇEK 0 E 3-4 numunesi %512,77 oranında, TYK 0 E 3-3 numunesi ise %722,99 oranında daha yüksek elastisite değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde eğilme mukavemetlerinde ise ÇEK 45 E 3-4 numunesine göre ÇEK 0 E 3-4 numunesi %317,65 oranında, TYK 0 E 3-3 numunesi ise %171,57 oranında daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma uzama yüzde değerlerine bakıldığında ise ÇEK 45 E 3-4 numunesine göre ÇEK 0 E 3-4 numunesi %22,81 oranında, TYK 0 E 3-3 numunesi ise %8,77 oranında gevrek olduğu görülmüştür. Katman sayısının ikiden üçe çıkmasıyla tek katmandaki gibi en gevrek malzemenin yine TYK 0 E 3 grubunun olduğu görüldü.

6.2.6. Üç nokta eğme testine göre aynı grup malzemelerin katman sayılarının ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Aynı grupta bulunan kompozit malzemelerin katman sayısı artışıyla ortalama üç nokta eğme test sonuçlarındaki değişimlerinin karşılaştırılması yapılacaktır.

Çift eksen karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozitlerin katman sayılarına göre üç nokta eğme test ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Aşağıdaki Çizelge 6.34. da çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit grubunun ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.34. Çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ_{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_{fM}) %
ÇEK 0 E 1	4480	174	4
ÇEK 0 E 2	14000	218	1,3
ÇEK 0 E 3	23400	293	1,4

0^0 elyaf yönlenme açısına sahip çift eksen karbon elyaftan üretilen kompozit malzemelerin üç nokta eğme test sonuçlarına bakıldığında katman sayısındaki artışla birlikte elastisite ve eğilme mukavemet değerlerinin de arttığı görüldü. Eğilme uzama yüzde değerlerinde ise iki ve üç katlı malzemelerin daha gevrek olduğu ancak üç katlı malzemelerin iki kata göre daha sünek olduğu görüldü.

Çift eksen karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip kompozitlerin katman sayılarına göre üç nokta eğme test ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Aşağıdaki Çizelge 6.35. de çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip kompozit grubunun ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.35. Çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E_f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ_{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ϵ_{fM}) %
ÇEK 45 E 1	1940	66	4,2
ÇEK 45 E 2	4650	104	3,4
ÇEK 45 E 3	4250	94,1	6,1

Çift eksen karbon elyaftan $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına göre üretilen kompozit malzemelerin üç nokta eğme test sonuçlarına bakıldığında katman sayısının ikiye çıkmasıyla

birlikte elastisite ve eğilme mukavemet değerinin arttığı ve malzemenin daha gevrek bir hal aldığı görüldü. Katman sayısının üç çıkması ile tüm değerlerin düştüğü ve malzemenin daha sünek bir hal aldığı tespit edildi.

Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip kompozitlerin katman Sayılarına göre üç nokta eğme test ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Aşağıdaki Çizelge 6.36'da tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip kompozit grubunun ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.36. Tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin ortalama üç nokta eğme testi sonuçları.

Numune	Elastisite (E _f) MPa	Eğilme Mukavemeti (σ _{fM}) MPa	Eğilme Uzama Yüzde Değerleri (ε _{fM}) %
TYK 0 E 1	8290	218	2,6
TYK 0 E 2	20100	196	1,3
TYK 0 E 3	34198	198	0,6

Son grup olarak tek yönlü karbon elyaftan 0⁰ elyaf yönlenme açısına göre üretilen kompozit malzemelerin üç nokta eğme test sonuçlarına bakıldığında katman sayısının artmasıyla birlikte malzemenin elastisite değerlerinin arttığı görüldü. Eğilme mukavemet değerlerine bakıldığında ise tek kattan oluşan kompozit malzemenin değerinin iki ve üç kattan oluşan malzemelere göre daha büyük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir

Üç farklı şekilde yapmış olduğumuz üç nokta eğme test veri sonuçlarının karşılaştırılması aşağıda maddeler halinde kısaca özetlenmiştir.

- En iyi elastisite değerine sahip kompozit malzemenin ortalama ve en yüksek değerlere göre tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş gruplara ait olduğu tespit edildi.
- Eğilme mukavemet değerlerinde ise tek katta tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip malzemeye ait iken iki ve üç katta en yüksek değerlerin çift eksenli 0⁰ yönlenme açısıyla üretilmiş kompozit grubuna ait olduğu tespit edildi.
- En yüksek eğilme uzama oranının çekme testin de olduğu gibi katman sayılarındaki değişme rağmen çift eksenli ±45⁰ elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş kompozit grubuna ait olduğu tespit edildi.
- En gevrek malzeme grubunun tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş kompozitlere ait olduğu görüldü.

- Çift eksenli $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısı ile üretilmiş kompozit malzemelerin katman sayılarının artmasıyla elastisite ve eğilme mukavemet değerlerinin önce arttığı daha sonra tekrar azaldığı görüldü. Aynı gruptaki malzemelerde sünekliğin ise önce azaldığı daha sonra tekrar arttığı tespit edildi.
- Çift eksen karbonlardan üretilmiş kompozit malzemelere bakıldığında basma yönünde en iyi sonuçları 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelere ait olduğu tespit edildi.
- Aynı gruba ait malzemelerde katman sayılarının artmasıyla birlikte elastisite değerlerinin arttığı tespit edildi.
- Eğilme mukavemet değerlerine baktığımızda aynı gruba ait numunelerde sürekli artan tek malzeme grubunun çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş kompozit olduğu görüldü. Çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş malzemelerin katman sayısının ikiye çıkmasıyla arttığı katman sayısının üçe çıkmasıyla azaldığı görüldü. Tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısıyla üretilen kompozitlerin ise eğilme mukavemetlerinin azaldığı görüldü.
- Üç nokta eğme testlerine göre katman sayısının artmasıyla birlikte en iyi özelliği gösteren malzemenin çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısıyla üretilmiş kompozit malzemeler olduğu düşünüldü.

6.3. Düşen Ağırlık Düşük Hızlı Çarpma Testi

Düşen ağırlık düşük hızlı darbe testi yapılan numunelerin değerleri her bir grup için ayrı ayrı incelenecektir. İlk grup olarak Çift Eksenli Karbon 0^0 li kompozit malzemeler incelenecektir.

6.3.1. Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemesinin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

İlk olarak tek katlı numunelerin testleri yapılmıştır. Daha sonra katman sayılarının artması ile testlere devam edildi.

Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 D 1) numune grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Aşağıdaki Çizelge 6.37’de tek kattan oluşan çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri verilmiştir.

Çizelge 6.37. Çift eksenli karbon 0° elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 D 1) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) ($V=\sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) (PE=mgh)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
ÇEK 0 1 KAT	ÇEK 0 D 1-1	1,43	99,26*99,43	1	4,43	30,41	16,98	3,19	4,14	Numune delindi. Numune yüzeyinde deliğe yakın yerlerde dairesel çatlaklar oluştu. Alt yüzeye yakın liflerde lif yönünde ayrışmalar oldu.
	ÇEK 0	1,37	99,60*99,52	1	4,43	30,41	17,04	5,55	5,79	Numune delindi. Numune yüzeyinde deliğe yakın yerlerde lif yönünde çatlaklar oluştu. Alt yüzeye yakın liflerde liflerin kopması sonucu açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 1-3	1,46	99,52*99,35	1	4,43	30,41	16,23	3,75	3,98	Numune delindi. Numune yüzeyinde deliğe yakın yerlerde dairesel çatlaklar oluştu. Alt yüzeye yakın liflerde lif yönünde ayrışmalar oldu.
	ÇEK 0 D 1-4	1,36	99,82*99,74	1	4,43	30,41	16,32	4,63	4,87	Numune delindi. Numune yüzeyinde deliğe yakın yerlerde dairesel çatlaklar oluştu. Alt yüzeye yakın liflerde liflerin kopması sonucu açılmalar oldu.
	ÇEK 0	1,49	99,74*99,63	1	4,43	30,41	16,26	4,89	5,38	Numune delindi. Numune yüzeyinde deliğe yakın yerlerde lif yönünde çatlaklar oluştu. Alt yüzeye yakın liflerde liflerin kopması sonucu açılmalar oldu.

Tek kattan oluşan çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6.19'da verilmiştir.



- a) Testten önce numune durumu b) Testten sonra numune önden görünüş c) Testten sonra numune arkadan görünüş

Şekil 6.19. ÇEK 0 D 1 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 0 D 1) kompozit grubu numunelere baktığımızda kullandığımız ağırlıkla oluşan enerjiden dolayı tüm numunelerin temas noktasında bulunan liflerin kopması sonucu delindiğini görmekteyiz. Numune yüzeyinde ağırlığın düştüğü noktada ve yakın çevresinde bir deformasyon yaşandığını ancak numunenin arka yüzünde oluşan deformasyonun daha büyük olduğunu görmekteyiz. Ön yüzeydeki deformasyon dairesel ve lif yönlenme doğrultusunda olmuştur. Arka yüzeyde oluşan deformasyonun liflerin yönlenme doğrultusunda ayrışma sonucu olduğunu görmekteyiz. Oluşan deformasyonun tüm numune yüzeyine dağılmadığı görülmüştür.

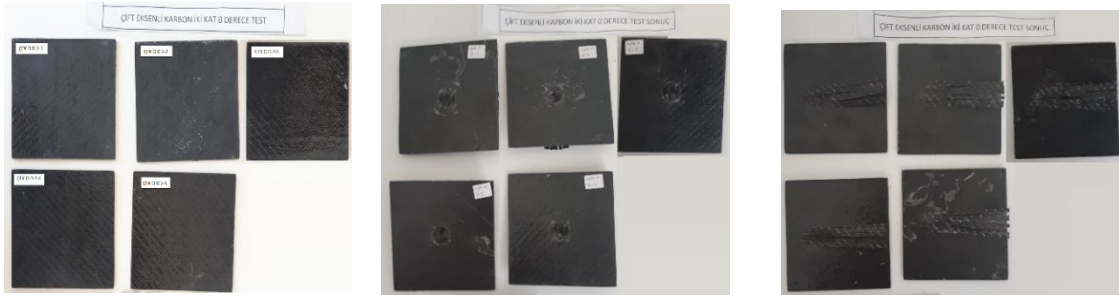
Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 D 2) numune grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Çizelge 6.38. de çift eksen 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip iki kattan oluşan kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri verilmiştir.

Çizelge 6.38. Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 D 2) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) (V= $\sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) (PE=mgh)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
ÇEK 0 2 KAT	ÇEK 0 D 2-1	1,86	99,50*99,40	1	4,43	30,41	16,03	5,39	7,05	Numune delindi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 2-2	1,92	99,26*99,12	1	4,43	30,41	16,38	5,33	6,95	Numune delindi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 2-3	1,89	99,50*99,92	1	4,43	30,41	16,07	5,78	7,49	Numune delindi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 2-4	1,95	99,67*99,29	1	4,43	30,41	15,94	5,17	6,64	Numune delindi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 2-5	1,93	99,67*99,52	1	4,43	30,41	15,64	5,23	6,18	Numune delindi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.

Şekil 6.20. de çift eksen 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip iki kattan oluşan numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu b) Testten sonra numune önden görünüş c) Testten sonra numune arkadan görünüş

Şekil 6.20. ÇEK 0 D 2 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 0 D 2) kompozit gruba numunelere bakıldığında kullanılan ağırlıktan dolayı oluşan enerji ile numunelerin temas noktasında bulunan liflerin hepsinin kopması sonucu numunelerin delindiği görüldü. Delik bölgesinde katmanlar arasında açılmaların olduğunu ve liflerin delik dibinde biriktiği görülmektedir. Numune yüzeyinde ağırlığın düştüğü noktada ve yakın çevresinde bir deformasyon yaşandığını ancak numunenin arka yüzünde oluşan deformasyonun daha büyük olduğu tespit edildi. Ön yüzeydeki deformasyon dairesel ve lif yönlenme doğrultusunda olmuştur. Arka yüzeyde oluşan deformasyonun liflerin yönlenme doğrultusunda ayrışma sonucu olduğunu görmekteyiz. Oluşan deformasyonun tüm numune yüzeyini kaplamadığı görülmüştür.

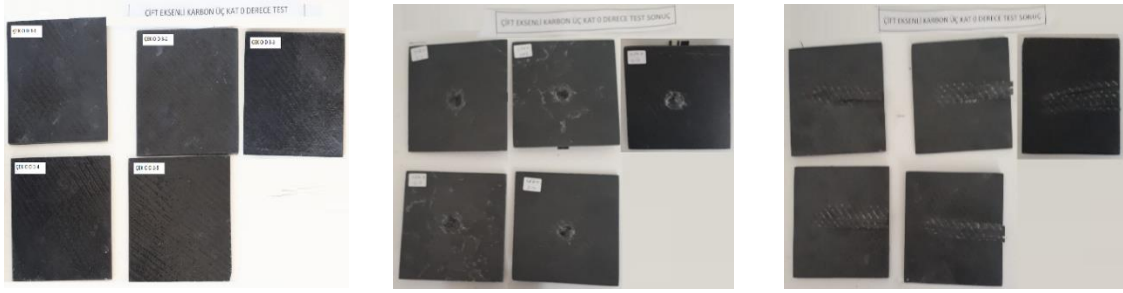
Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 D 3) numune grubunun Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Aşağıda 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip çift eksen üç kattan oluşan kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri Çizelge 6.39. de verilmiştir.

Çizelge 6.39. Çift eksenli karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 D 3) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) ($V=\sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) (PE=mgh)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
ÇEK 0 3 KAT	ÇEK 0 D 3-1	2,83	99,12*99,16	1	4,43	30,41	11,3	4,36	4,67	Numune delindi. Numune yüzeyinde delik etrafında dairesel yüzeysel çatlaklar görüldü. Ağırlık numuneye takılı kaldı. Delik içerisinde lifler arasında kopmalar oldu. Delik içerisinde katmanlar arasında kopmalar yaşandı. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 3-2	2,89	99,18*99,09	1	4,43	30,41	11,02	4,19	5,03	Numune delindi. Numune yüzeyinde delik etrafında dairesel yüzeysel çatlaklar görüldü. Ağırlık numuneye takılı kaldı. Delik içerisinde lifler arasında kopmalar oldu. Delik içerisinde katmanlar arasında kopmalar yaşandı. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 3-3	2,92	99,20*99,16	1	4,43	30,41	10,96	3,67	5,12	Numune delinmedi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 3-4	2,78	99,50*99,38	1	4,43	30,41	10,67	4,27	4,44	Numune delinmedi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 0 D 3-5	2,82	99,40*99,06	1	4,43	30,41	10,76	4,48	5,08	Numune delinmedi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.

Çift eksen 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip üç kattan oluşan numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6.21. de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu b) Testten sonra numune önden görünüş c) Testten sonra numune arkadan görünüş

Şekil 6.21. ÇEK 0 D 3 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 0 D 3) kompozit grubu numunelere baktığımızda kullandığımız ağırlıkla oluşan enerjiden dolayı bazı numunelerin temas noktasında bulunan liflerin kopması sonucu delindiğini bazılarında ise delinme olmadığı görülmüştür. Bazı numunelerde ağırlığın numuneye takılı kalmasından dolayı geri sekme tertibatı devreye girmemiştir. Delik bölgesinde katmanlar arasında açılmaların olduğunu ve liflerin delik dibinde biriktiğini görmekteyiz. Numune yüzeyinde ağırlığın düştüğü noktada ve yakın çevresinde bir deformasyon yaşandığını ancak numunenin arka yüzünde oluşan deformasyonun daha büyük olduğunu görmekteyiz. Ön yüzeydeki deformasyon dairesel ve lif yönlenme doğrultusunda olmuştur. Arka yüzeyde oluşan deformasyonun liflerin yönlenme doğrultusunda ayrışma sonucu olduğunu görmekteyiz. Oluşan deformasyonun tüm numune yüzeyini kaplamadığı görülmüştür.

6.3.2. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı kompozit malzemesinin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Testler düşük katmandan başlanarak yapılmaya başlandı.

Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 D 1) numune grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Aşağıdaki Çizelge 6.40. de tek kattan oluşan çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri verilmiştir.

Çizelge 6.40. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 D 1) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) ($V=\sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) ($E=mggh$)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
ÇEK 45 I KAT	ÇEK 45 D 1-1	1,02	99,67*99,68	1	4,43	30,41	16,04	3,06	3,8	Numune delindi. Numune yüzeyinde delik yüzeyine yakın yerlerde çatlaklar oluştu. Çatlakların lif yönlenme doğrultusunda olduğu görüldü. Alt yüzeye yakın liflerde lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 1-2	0,93	99,62*99,58	1	4,43	30,41	16,43	4,42	3,56	Numune delindi. Numune yüzeyinde delik yüzeyine yakın yerlerde çatlaklar oluştu. Çatlakların dairesel olduğu gözlemlendi. Alt yüzeye yakın liflerde lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 1-3	0,92	99,72*99,47	1	4,43	30,41	16,15	3,02	3,49	Numune delindi. Numune yüzeyinde delik yüzeyine yakın yerlerde çatlaklar oluştu. Çatlakların lif yönlenme doğrultusunda olduğu görüldü. Numune yüzeyindeki çatlaklardan dolayı liflerin bazı bölgelerde koparak yukarı yönde çıktığı görüldü. Alt yüzeye yakın liflerde lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 1-4	0,98	99,40*99,27	1	4,43	30,41	16,86	2,84	4,25	Numune delindi. Numune yüzeyinde delik yüzeyine yakın yerlerde çatlaklar oluştu. Çatlakların lif yönlenme doğrultusunda olduğu görüldü. Numune yüzeyindeki çatlaklardan dolayı liflerin bazı bölgelerde koparak yukarı yönde çıktığı görüldü. Alt yüzeye yakın liflerde lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 1-5	0,99	99,58*99,79	1	4,43	30,41	-	3,07	3,58	Numune delindi. Lifler arasında dağılıma oldu. Numune yüzeyinde bulunan lifler yönlenme doğrultusunda ayrıştığı gözlemlendi. Alt yüzeydeki liflerde kopmalar oluşarak lif demetleri birbirinden ayrıldı.

Çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip tek kattan oluşan numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6.22. de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu b) Testten sonra numune önden görünüş c) Testten sonra numune arkadan görünüş

Şekil 6.22. ÇEK 45 D 1 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı tek katlı (ÇEK 45 D 1) kompozit grubu numunelere baktığımızda kullandığımız ağırlıkla oluşan enerjiden dolayı tüm numunelerin temas noktasında bulunan liflerin kopması sonucu delindiğini görmekteyiz. Numune yüzeyinde ağırlığın düştüğü noktada ve yakın çevresinde bir deformasyon yaşandığını ancak numunenin arka yüzünde oluşan deformasyonun daha büyük olduğunu görmekteyiz. Ön yüzeydeki deformasyon dairesel ve lif yönlenme doğrultusunda olmuştur. Arka yüzeyde oluşan deformasyonun liflerin yönlenme doğrultusunda ayrışma sonucu olduğunu görmekteyiz. Oluşan deformasyonun tüm numune yüzeyine dağılmadığı görülmüştür. Bir numunede oluşan deformasyon sonucu üst yüzeyde de liflerde ayrışma olduğu ve numunenin büyük bir kısmını kapladığı görülmüştür.

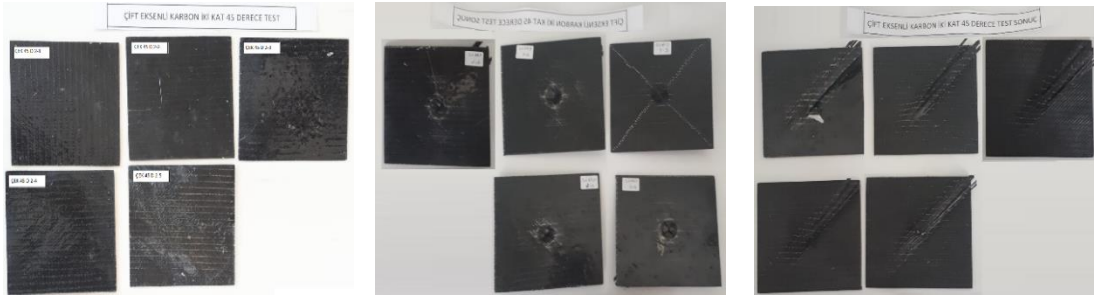
Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 D 2) numune grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Aşağıdaki Çizelge 6.41. de iki kattan oluşan çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri verilmiştir.

Çizelge 6.41. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 D 2) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) ($V = \sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) (PE=mggh)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
ÇEK 45 2 KAT	ÇEK 45 D 2-1	1,51	99,25*99,30	1	4,43	30,41	15,05	6,9	5,23	Numune delindi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 2-2	1,54	99,23*99,30	1	4,43	30,41	14,95	6,89	4,94	Numune delindi. Numune yüzeyinde delik etrafında küçük çatlaklar görüldü. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 2-3	1,56	99,21*99,46	1	4,43	30,41	15,48	6,64	3,2	Numune delindi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 2-4	1,52	99,13*99,43	1	4,43	30,41	16,3	6,22	3,18	Numune delindi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 2-5	1,5	99,30*99,44	1	4,43	30,41	16,45	6,74	4,35	Numune delindi. Numune yüzeyinde delik etrafında yüzeysel çatlaklar oluştu. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrultusunda açılmalar oldu.

Çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip iki kattan oluşan numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6.23. de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu b) Testten sonra numune önden görünüş c) Testten sonra numune arkadan görünüş

Şekil 6.23. ÇEK 45 D 2 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı iki katlı (ÇEK 45 D 2) kompozit gruba numunelere baktığımızda kullandığımız ağırlıkla oluşan enerjiden dolayı tüm numunelerin temas noktasında bulunan liflerin kopması sonucu delindiğini görmekteyiz. Delik bölgesinde katmanlar arasında açılmaların olduğunu ve liflerin delik dibinde biriktiğini görmekteyiz. Numune yüzeyinde ağırlığın düştüğü noktada ve yakın çevresinde bir deformasyon yaşandığını ancak numunenin arka yüzünde oluşan deformasyonun daha büyük olduğunu görmekteyiz. Ön yüzeydeki deformasyon dairesel ve lif yönlenme doğrultusunda olmuştur. Arka yüzeyde oluşan deformasyonun liflerin yönlenme doğrultusunda ayrışma sonucu olduğunu görmekteyiz. Oluşan deformasyonun tüm numune yüzeyini kaplamadığı görülmüştür.

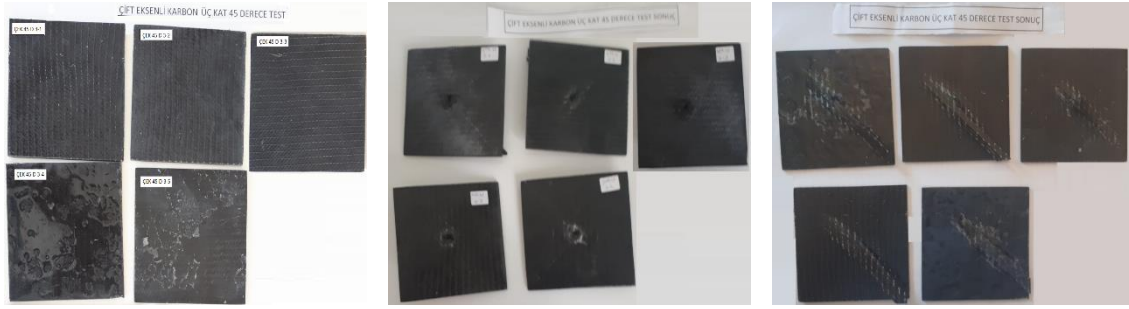
Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 D 3) numune grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Aşağıdaki Çizelge 6.42. de üç kattan oluşan çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri verilmiştir.

Çizelge 6.42. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 D 3) kompozit grubunun test düşen ağırlık düşük hızlı çarpma sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) ($V = \sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) ($PE = mgh$)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
ÇEK 45 3 KAT	ÇEK 45 D 3-1	2,47	99,54*99,63	1	4,43	30,41	10,23	5,01	3,46	Numune delinmedi. Numune yüzeyinde bazı bölgelerde liflerde yüzeysel yıpranmalar gözlemlendi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 3-2	2,51	98,64*98,59	1	4,43	30,41	9,85	5,23	4,09	Numune delinmedi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 3-3	2,58	98,74*98,92	1	4,43	30,41	9,82	4,83	3,81	Numune delinmedi. Delik içinde katmanlar arasında ayrışma görüldü. Ağırlığın düştüğü yerde lifler de kopmalar oldu. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Numune alt yüzeyinde bulunan liflerde kırılmalar olduğu fakat ayrışmanın olmadığı görüldü.
	ÇEK 45 D 3-4	2,56	99,85*99,43	1	4,43	30,41	10,77	5,51	4,57	Numune delindi. Ağırlık numuneye takılı kaldı. Delik içerisinde lifler arasında kopmalar oldu. Delik içerisinde katmanlar arasında kopmalar yaşandı. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.
	ÇEK 45 D 3-5	2,53	99,50*99,45	1	4,43	30,41	10,84	5,7	4,52	Numune delindi. Ağırlık numuneye takılı kaldı. Delik içerisinde lifler arasında kopmalar oldu. Delik içerisinde katmanlar arasında kopmalar yaşandı. Delik dibinde lif birikmesi oldu. Alt katmanda lif yönlenmesi doğrulduğunda açılmalar oldu.

Çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip üç kattan oluşan numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6.24. de verilmiştir.



- a) Testten önce numune durumu b) Testten sonra numune önden görünüş c) Testten sonra numune arkadan görünüş

Şekil 6.24. ÇEK 45 D 3 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Çift Eksenli Karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açılı üç katlı (ÇEK 45 D 3) kompozit grubu numunelere baktığımızda kullandığımız ağırlıkla oluşan enerjiden dolayı bazı numunelerin temas noktasında bulunan liflerin kopması sonucu delindiğini bazılarında ise delinme olmadığı görülmüştür. Bazı numunelerde ağırlığın numuneye takılı kalmasından dolayı geri sekme tertibatı devreye girmemiştir. Delik bölgesinde katmanlar arasında açılmaların olduğunu ve liflerin delik dibinde biriktiğini görmekteyiz. Numune yüzeyinde ağırlığın düştüğü noktada ve yakın çevresinde bir deformasyon yaşandığını ancak numunenin arka yüzünde oluşan deformasyonun daha büyük olduğunu görmekteyiz. Ön yüzeydeki deformasyon dairesel ve lif yönlenme doğrultusunda olmuştur. Arka yüzeyde oluşan deformasyonun liflerin yönlenme doğrultusunda ayrışma sonucu olduğunu görmekteyiz. Oluşan deformasyonun tüm numune yüzeyini kaplamadığı görülmüştür.

6.3.3. Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı kompozit malzemesinin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Test sıralaması tek katman, iki katman ve üç katman olarak yapıldı.

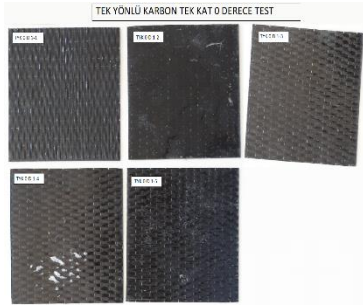
Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 D 1) numune grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Aşağıdaki Çizelge 6.43. de tek kattan oluşan tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri verilmiştir.

Çizelge 6.43. Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 D 1) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) ($V = \sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) ($PE = mgh$)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
TYK 0 1 KAT	TYK 0 D 1-1	0,82	100,32*99,87	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 1-2	0,87	100,48*100,23	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 1-3	0,88	100,16*100,23	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 1-4	0,77	100,49*99,87	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 1-5	0,83	100,12*99,75	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.

Tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip tek kattan oluşan numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6.25. de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.25. TYK 0 D 1 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Tek Yönlü Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı tek katlı (TYK 0 D 1) kompozit grubu numunelere baktığımızda kullandığımız ağırlıkla oluşan enerjiden dolayı temas noktasında bulunan liflerin yönlenme açısına paralel olarak numune boyunca lifler arasında kopmalar yaşanması sonucu numunelerin ikiye ayrıldığını görmekteyiz. Numunelerde ağırlığın düştüğü nokta doğrultusunda liflerde ayrışmalar görülmüştür. Bir numunenin ağırlığın düştüğü nokta doğrultusunda kırılmaların olduğu fakat tam kopmanın olmadığı görülmüştür. İkiye ayrılan numune parçalarında dağılma olmadığı ve yapısını koruduğu görülmüştür.

Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 D 2) numune grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Aşağıdaki Çizelge 6.44'de iki kattan oluşan tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri verilmiştir.

Çizelge 6.44. Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 D 2) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) ($V = \sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) (PE=mgh)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
TYK 0 2 KAT	TYK 0 D 2-1	1,33	99,63*99,53	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 2-2	1,37	99,65*99,58	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 2-3	1,32	100,09*99,76	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 2-4	1,28	99,95*99,98	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 2-5	1,26	100,28*99,68	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.

Tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip iki kattan oluşan numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6.26'da verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu

b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.26. TYK 0 D 2 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Tek Yönlü Karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı iki katlı (TYK 0 D 2) kompozit grubu numunelere baktığımızda kullandığımız ağırlıkla oluşan enerjiden dolayı temas noktasında bulunan liflerin yönlenme açısına paralel olarak numune boyunca lifler arasında kopmalar yaşanması sonucu numunelerin ikiye ayrıldığını görmekteyiz. Numunelerde ağırlığın düştüğü nokta doğrultusunda liflerde ayrışmalar görülmüştür. İki numunenin ağırlığın düştüğü nokta doğrultusunda kırılmaların olduğu fakat tam kopmanın olmadığı görülmüştür. İkiye ayrılan numune parçalarında dağılma olmadığı ve yapısını koruduğu görülmüştür.

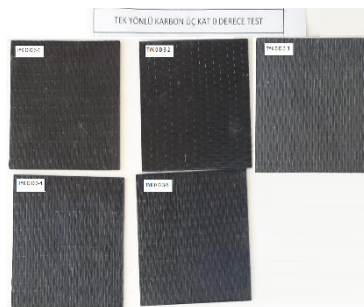
Tek yönlü karbon 0^0 elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 D 3) numune grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi

Aşağıdaki Çizelge 6.45'te üç kattan oluşan tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip kompozit malzemelerin düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test verileri verilmiştir.

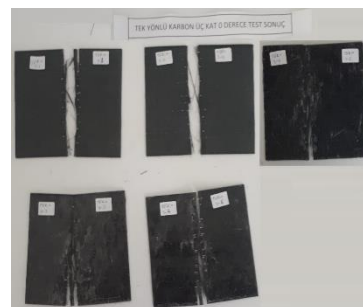
Çizelge 6.45. Tek yönlü karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 D 3) kompozit grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test sonuçları.

MALZEME GRUBU	NUM. NO	ORTALAMA KALINLIK (mm)	BOYUT (mm-mm)	DÜŞME YÜKSEKLİĞİ (m)	HIZ (m/s) ($V = \sqrt{2gh}$)	DARBE ENERJİSİ (J) ($PE = mgh$)	DELİK ÇAPI (mm)	DELİK DERİNLİĞİ (mm)	ARKA YÜZEY DEFORMASYON YÜKSEKLİĞİ (mm)	SONUÇ
TYK 0 3 KAT	TYK 0 D 3-1	1,68	99,38*99,82	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 3-2	1,84	100,29*99,79	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 3-3	1,75	99,72*99,98	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 3-4	1,64	99,68*99,82	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.
	TYK 0 D 3-5	1,73	99,54*99,72	1	4,43	30,41	-	-	-	Lif yönlenme açısına dik şekilde numune kırılmış ve ikiye ayrılmıştır.

Tek yönlü 0⁰ elyaf yönlenme açısına sahip üç kattan oluşan numunelerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6.27’de verilmiştir.



a) Testten önce numune durumu



b) Testten sonra numune durumu

Şekil 6.27. TYK 0 D 3 grubunun düşen ağırlık düşük hızlı çarpma test numuneleri.

Tek Yönlü Karbon 0⁰ elyaf yönlenme açılı üç katlı (TYK 0 D 3) kompozit grubu numunelere baktığımızda kullandığımız ağırlıkla oluşan enerjiden dolayı temas noktasında bulunan liflerin yönlenme açısına paralel olarak numune boyunca lifler arasında kopmalar yaşanması sonucu numunelerin ikiye ayrıldığını görmekteyiz. Numunelerde ağırlığın düştüğü nokta doğrultusunda liflerde ayrışmalar görülmüştür. Üç numunenin ağırlığın düştüğü nokta doğrultusunda kırılmaların olduğu fakat tam kopmanın olmadığı görülmüştür. İkiye ayrılan numune parçalarında dağılma olmadığı ve yapısını koruduğu görülmüştür.

Düşen ağırlık düşük hızlı darbe testi sonuçlarını incelediğimizde tüm numune gruplarının deformasyona uğradığını görmekteyiz. Veriler incelendiğinde 30,41 J' lük darbe enerjisine en iyi mukavemet direnci gösteren grubun Çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 D) kompozit malzemeler olduğu bunu Çift eksen $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 D) kompozit malzeme grubunun takip ettiği görüldü. TYK 0 D grubunda olan numunelerin ise katman sayısının artmasına rağmen diğer gruplara göre daha düşük mukavemet direnci göstererek daha büyük deformasyona uğradığını görmekteyiz. ÇEK 45 D 3 grubu numunelerin en iyi mukavemet direncine sahip olduğunu tespit edildi. ÇEK 45 D ve ÇEK 0 D grubunda olan numunelerin yüzeyinde oluşan deformasyonun lif yönlenme açıları yönünde ya da dairesel olarak oluştuğu görüldü. Numune alt yüzeyinde oluşan deformasyonun ise yine lif yönlenme doğrultusunda ve liflerin ayrılmasından kaynaklandığı tespit edildi. TYK 0 D grubunda bulunan numunelerde oluşan deformasyonun ise lif yönlenme açısına paralel yönde lifler arasında kopmalar sonucu oluştuğu görüldü.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Üretmiş olduğumuz 12 K filament değerine sahip tek yönlü ve çift eksenli karbon elyaf takviyeli polyester reçine matrisli kompozit plakalardan elyaf lif yönüne göre elde ettiğimiz numunelerle mekanik testler yapılmış aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

7.1.1. Çekme testi sonuçları

- Yapılan test sonuçları incelendiğinde her bir kompozit grubuna ait numune değerlerinin birbirine yakın olduğu görüldü. Ancak bazı numune gruplarında el yatırma yöntemiyle yapılan kompozit plakaların üretimi ve/veya numune hazırlık aşamasında yapılan işçilik hatalarından dolayı değerlerde düşüşler yaşanmış bunun da ortalama değerleri düşürdüğü görüldü. Genel test değerlendirmeleri ortalamalara göre yapıldığından az da olsa hata payı ortaya çıkmaktadır.

- Çekme test sonuçları incelendiğinde en iyi elastisite ve kopma mukavemet değerlerine sahip kompozit grubunun lif yönlendirme açısı 0^0 olan tek yönlü karbon elyaf takviyeli polyester reçine matrisli kompozitler olduğu görüldü (TYK 0 Ç -). Bu değerlere ters yönde paralel olarak ise kopma uzama yüzde değerlerin daha düşük olduğu tespit edildi. En iyi kopma uzama yüzde değerinin ise lif yönlendirme açısı $\pm 45^0$ olan çift eksenli karbon elyaf takviyeli polyester reçine matrisli kompozitlerde olduğu görüldü (ÇEK 45 Ç -).

- Çekme testinde elastisite değerlerine baktığımızda tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 Ç) kompozit gruplarında katman sayısındaki artışla değerler artarken çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 Ç) kompozit gruplarında katman sayısı ile birlikte önce artma daha sonra bir azalma olduğu gözlemlendi. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 Ç) kompozit gruplarında ise katman sayısının artmasıyla birlikte elastisite değerinde önce bir artma yaşanmış daha sonra azalma olduğu görüldü.

- Kopma mukavemet değerlerine bakıldığında tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 Ç) ve çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 Ç) kompozit gruplarında katman sayısı ile birlikte önce artma daha sonra bir azalma olduğu görüldü. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 Ç) kompozit gruplarında ise katman sayısının artmasıyla birlikte kopma mukavemet değerinde bir artışın olduğu görüldü.

- Kopma uzama yüzdelere bakıldığında tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 Ç) gruplarında elastisite değerindeki artışla birlikte malzemelerin daha gevrek hal aldığı görüldü. Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 Ç) kompozit gruplarında

olan numuneler elastisite değerlerindeki değişimden dolayı katsan sayısı ikiye çıkınca daha gevrek olurken katman sayısı üçe çıktığında tek katmandaki gibi biraz daha sünek duruma döndüğü anlaşıldı. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 Ç) kompozit grubundaki numuneler ise katman sayısının artmasıyla birlikte daha sünek bir hal aldıkları tespit edildi.

- Çekme test verilerinin incelenmesi sonucu lif yönlenme doğrultusunda imal edilen bir kompozit malzeme için en iyi dayanımı tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0) kompozit grubunda olan malzemelerin verdiği anlaşıldı.

7.1.2. Üç nokta eğme testi sonuçları

- Üç nokta eğme test verilerine baktığımızda ise çekme testinde olduğu gibi en iyi elastisite değerinin tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 E) kompozit grubuna ait olduğu anlaşıldı. Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 E) kompozit grubunun ikinci sırayı çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 E) kompozit grubunun ise üçüncü sırayı aldığı görüldü.

- Eğilme mukavemet değerlerine bakıldığında tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 E) kompozit grubunda olan numunelerin katman sayısı arttıkça değerlerinde bir düşüş olduğu Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 E) kompozit grubundaki numunelerde ise katman sayısının artmasıyla birlikte artışın yaşandığı gözlemlendi. Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 E) kompozit grubuna ait numunelerde ise katman sayısının artmasıyla önce değerlerde bir artış olmuş daha sonra tekrar düşüşün yaşandığı tespit edildi.

- Eğilme uzama yüzde oranlarında ise katman sayısının artmasıyla tek yönlü 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 E) kompozit grubu ve Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 E) kompozit gruplarının daha gevrekleştiği, ÇEK 45 E grubunun ise daha sünek bir hale geldiği görüldü.

- Yatay doğrultuda bulunan bir kompozit malzemeye lif yönlenme doğrultusuna dik olarak yüzeysel bir şekilde sürekli uygulanan kuvvete karşı en iyi dayanımın Çift eksenli karbon 0^0 elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 E) grubuna ait kompozit malzemelerin vereceği anlaşıldı.

7.1.3. Düşen ağırlık düşük hızlı çarpma testi sonuçları

- Düşen ağırlık düşük hızlı darbe test verilerine baktığımızda çekme ve eğme testlerinde en düşük değerlere sahip olan Çift eksenli karbon $\pm 45^0$ elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 45 E) kompozit grubunun en iyi dayanım gösteren kompozit grubu olduğu görüldü. Çift eksenli karbon

0° elyaf yönlenme açısına sahip (ÇEK 0 E) kompozit grubunda olan numuneler ikinci sırayı alırken en fazla deformasyona uğrayan tek yönlü 0° elyaf yönlenme açısına sahip (TYK 0 E) kompozit grubu numuneler de üçüncü sırada yer almaktadır.

- Düşen ağırlık düşük hızlı darbe test sonuçlarına göre yüzey alanı büyüdükçe ve malzeme yüzeyine dik bir doğrultuda ani ve noktasal bir kuvvet uygulandığında en iyi dayanımı ÇEK 45 grubuna ait kompozit malzemelerin gösterdiği görüldü.

- Katman sayısındaki artışlarla birlikte çarpma dayanımının da artacağı görülmüştür.

Yapmış olduğumuz mekanik test sonuçları bizlere üretim yapılırken seçmiş olduğumuz takviye elamanı, katman sayısı, lif yönlenme doğrultusu, açısı, matris malzemesi ve üretim yöntemi kompozit malzemelerin kullanım yeri ve amacına göre büyük bir önem arz ettiğini göstermiştir. Karbon elyaf kompozit üretiminde, karbon elyaf malzemelerin pahalı olması genelde daha yüksek mekanik değerlere sahip matrislerin seçilmesine ve daha teknolojik yöntemlerin kullanılmasına neden olmuştur. Ancak yapmış olduğumuz çalışmada karbon fiber elyafların en çok kullanılan matris malzemesi olan polyester reçine ile ve işçilik olarak en basit yöntem olan el yatırma yöntemi kullanılarak da yüksek mekanik değerlere sahip kompozitler üretilene bileneceğini belirlemiş olduk. El yatırma yöntemiyle elde ettiğimiz kompozit ürünlerinde görünen en sakıncalı durumun katman sayısını arttırırken işçiliğinde çok dikkatli yapılması gerektiğidir.

7.2. Öneriler

- Kullanılan karbon elyaflarının lif yönlendirme açıları ve/veya kullanmış olduğumuz matris malzemesini değiştirerek deneylerin yapılması ve bulmuş olduğumuz deney sonuçları ile karşılaştırılması önerilir.

- Katman sayılarında değişiklik yapılarak ve/veya her katmanı farklı lif yönlendirme açılarıyla dizerek elde edilen kompozitin deney sonuçları yapmış olduğumuz çalışma ile karşılaştırıla bilir.

- Kompozit üretim yöntemi değiştirilerek yapmış olduğumuz el yatırma yöntemi ile karşılaştırılması yapıla bilir.

- Düşen ağırlık düşük hız darbe deneyinde seçmiş olduğumuz ağırlık ve düşme yüksekliği değiştirilerek oluşabilecek deformasyon yapmış olduğumuz çalışma ile karşılaştırıla bilir.

- Oda sıcaklığında el yatırma yöntemiyle yaptığımız kompozit malzemeleri farklı sıcaklıklarda yine aynı yöntemle üretilip deney sonuçlarının karşılaştırılması tavsiye edilir.

- Tekne, karavan ve tasarım arabalar gibi kişiye ya da işe özel işlerde aynı kalınlık değerlerinde hafifliği ve dayanımından dolayı alüminyum ve cam elyaf takviyeli polyeşter matrisli kompozit malzemelere alternatif olacağı düşünölmektedir.
- Katman sayısındaki artış ile süneklığı artan ÇEK 45 grubu kompozitler ile yüzeyinde kuvvet çalışan bir ürün yapıla bilir.
- Tek yönlü karbon elyaflar ile farklı elyaf yönlenme açıları kullanılarak daha düşük maliyetli ürünler elde edile bilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akdoğan Eker, A. (2008), “Plastik matrisli kompozitler” ders notları, YTÜ Makine Mühendisliği Bölümü.
- Akdoğan Eker, A. (2019), “Kompozit malzemelerin sınıflandırılması” ders notları, YTÜ Makine Mühendisliği Bölümü.
- Alniak, M., O., Oğur, A., Karakaya, Ç., Ertürk, M. ve Güneş, İ. (2008), “Yüksek basınca dayanıklı kompozit hidrojen tankı imalatının incelenmesi”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul 17-19 Aralık.
- Altay, Ç. (2014), “Karbon fiber destekli (CFRP) lamine ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Arslan, G., Fıdan, S. ve Sınmazçelik, T. (2018), Karbon Fiber Metal Tel Hibrit Takviyeli Polimer Kompozitlerin Katı Parçacık Erozyonu Davranışı. *Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 5 (1), 182-190.
- Arıcasoy, O. (2006), *Kompozit sektör raporu*, İstanbul Ticaret Odası, Aralık.
- Atlı, I. S. ve Evcin, A. (2017), Karbon Fiber-Silikon Arayüzey Kayma Kuvvetinin İrdelenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 4(3), 541-546.
- Balcı, H. (2006), “Akıllı (Fonksiyonel) tekstiller, seçilmiş kumaşlarda antibakteriyel apre ve performans özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Baral, N., Guezenoc, H., Davies, P., Baley, C. (2008), “High modulus carbon fibre composites: Correlation between transverse tensile and mode 1 interlaminar fracture properties”, *Materials Letters*, 62:1096–1099
- Bergmann, T., Heimbs, S., Maier, M. (2015), Mechanical properties and energy absorption capability of woven fabric composites under ± 45 off-axis tension. *Composite Structures*, 125: 362-373.
- Botelho E. C., Rezende M. C. (2006), Monitoring of carbon fiber/polyamide composites processing by rheological and thermal analyses, *Polym-Plast. Technol.*, 45, 61-69.
- Botelho, E. C., Figiela, Ł., Rezende, M. C. ve Laukea, B. (2003), Mechanical behavior of carbon fiber reinforced polyamide composites. *Composites Science and Technology*, 63:1843-1855.
- Burland, W. J., Parsons, J. L. (1956), Pyrolysis of polyacrylonitrile, *J. Polymer Sci.*, 22(101), 249-256.
- Can, A. (2017), Kenar düzeltme parametrelerinin karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin yüzey kalitesi üzerine etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (1), 302-311.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Can, Ö. (2008), “Endüstride kullanılan teknik tekstiller üzerine bir araştırma”, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 31-43.
- Choi, H. Y. ve Chang, F. K. (1992), A model for predicting damage in graphite/epoxy laminated composites resulting from low-velocity point impact. *Journal of composite materials*, 26(14), 2134-2169.
- Chung, D., D., L. (1994), “Carbon fibers composites”, USA, 13-53, 85-88.
- Çağlarer, E. (2012), “Karbon elyaf hasarlarının elektriksel yöntemlerle tespiti” Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Çatak, K., (2016), “Fonksiyonlanmış ve silanlanmış karbon elyaf takviyeli poliamid kompozitlerin ısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.
- Çelikçi, H. (2013), Karbon elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilenin ısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova
- De Moura, M. F. S. F. ve Marques, A. T. (2002), Prediction of low velocity impact damage in carbon–epoxy laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33(3), 361-368.
- Demir, M. E., Çelik, Y. H. ve Kılıçkap, E. (2018), “Cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf cinsinin, yükün, kayma hızı ve mesafesinin abrasiv aşınmaya etkisi”, *Politeknik Dergisi*, <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>.
- Demirel, A. (2007), “Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Deng, S., Ye, L., (1999), “Influence of fiber-matrix adhesion on mechanical properties of graphite/Epoxy composites: I. Tensile, Flexure, and Fatigue Properties”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 18:1021-1040.
- Dholakiya, Bharat (2012), Unsaturated polyester resin for specialty applications, <https://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/39416.pdf>.
- Dilsiz, N., Wightman, J. P. (2000), Effect of acid–base properties of unsized and sized carbon fibers on fiber: epoxy matrix adhesion, *Colloid Surface A.*, 164, 325-336.
- Djordjevic, I., Sekulic, D. P., Stevanovic, M., (2007), “Carbon fiber composites, main engineering elastic constants and macromechanical characterization”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26:1193-1199.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Donadon, M. V., Iannucci, L., Falzon, B. G., Hodgkinson, J. M. ve de Almeida, S. F. (2008), A progressive failure model for composite laminates subjected to low velocity impact damage. *Computers & Structures*, 86(11-12), 1232-1252.

Dong, F., Hou, G., Cao, F., Yan, F., Liu, L. ve Wang, J. (2016), The lubricity and reinforcement of carbon fibers in polyimide at high temperatures, *Tribology International*, 101: 291–300.

Edie, D. D. ve Diefendorf R. J., (1993), Carbon-Carbon Materials and composites - Chapter 2 Carbon fiber production.

Elarabi, S. M. ve Weidong Y. (2005), “The effect of transversely aligned fibers on the axial tensile strength of carbon epoxy Composites”, *Journal of Industrial Textiles*, 35: 39-45.

Er, U. (2003), “Havacılık sanayinde kullanılan plastik matrisli kompozit malzemeler” [http://www.hho.edu.tr/huten/2003-2004%20SEMİNER%20INTERNET/UGUR%20ER/UGUR%20ER\[WORD\].pdf](http://www.hho.edu.tr/huten/2003-2004%20SEMİNER%20INTERNET/UGUR%20ER/UGUR%20ER[WORD].pdf)

Ersoy, H., Y., (2001), *Kompozit malzeme*, İstanbul, 95-170

Ersoy, M. S. (2005), “Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 1-3, 5-8, 13-18.

Evcin, A. (2017), “Polimer malzemeler” ders notları, AKÜ Seramik Mühendisliği Bölümü.

Fourné, F., (1998), “Synthetic fibers”, *Hanser Publishers*, Munich, 571-579.

Fu, S. Y., Lauke, B., Mäder, E., Yue, C. Y., Hu, X. (2000), Tensile properties of short-glass-fiber and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites, *Composites: Part A*, 31, 1117–1125.

Genç, G., (2008), “Elyaf sarma yöntemiyle üretilen karbon elyaf kompozitlerde ön gerilme parametrelerinin elyaf ve kompozit mukavemetine etkisi”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hearle, J., W., S., (2001), “High performance fibres” içinde; Lavin, J., G., “Carbon fibres”, Cambridge, *Woodhead Publishing*: 156-190.

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/7645/mod_resource/content/0/9.Kondenzasyon.pdf

[http://bs.gsu.edu.tr/akademik/ctolga/Bilesik%20\(kompozit\)%20malzemeler.pdf](http://bs.gsu.edu.tr/akademik/ctolga/Bilesik%20(kompozit)%20malzemeler.pdf).

<http://tr.unsaturatedpolyesterresins.com/info/general-characteristics-of-unsaturated-polyest-23876271.html>

<http://turkish.aac-autoclave.com/sale-991318-textile-chemical-concrete-autoclave-block-to-steam-sand-lime-brick-high-pressure.html>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<http://web.deu.edu.tr/ansys/tezler/3.pdf> (2006), T.C Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.

<http://www.biyolojiegitim.yyu.edu.tr/k/Lig/>

http://www.eng.uab.edu/epcl/b_fiber.htm#carbon (Walsh P. J., Carbon Fibers, ASM Handbook, 2001, 21, 35-40)

<http://www.ilerisavunma.com/tr/yangin/baslik>

http://www.kimyamuhendisi.com/dokumanlar/doc_download/220-kompozit-malzemeler.html

<http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/05/Kompozitin-Tarihi.pdf>

<http://www.maskim.com.tr/tr/sayfa/urun-detay/93/vakum-torbalari/0>

<http://www.metyx.com/cok-yonlu-multiaxial-orguler/>

<http://www.turkchem.net/polyester-recinesi-kullanim-alanlari.html>

<http://yucelkompozit.com.tr/urun-recine.html>

<https://tekstilbilgi.net/rejenere-recycle-iplik.html>

<https://www.fibermaxcomposites.com/shop/carbon-fabrics-c-36.html>

<https://www.pagev.org/elastomerler>

<https://www.poliya.com/tr/kalip-ayirici-vakslar>

Jang, J., Lee, N., J. (1994), "Interfacial study and performance improvement of carbon fiber/Poly(phenylene sulfide) Composite", Polymer (Korea), C.18, No.4, 591-601.

Kara, Y. ve Akbulut, H. (2017), Karbon elyaf takviyeli karbon nanotüp katkılı epoksi kompozit helisel yayların mekanik davranışları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, 32(2), 417-427.

Karsli, N. G., ve Aytac, A. (2013), Tensile and thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites. *Composites Part B: Engineering*, 51, 270-275.

Karslı Yılmaz, N. G. (2014), "Farklı kaplama malzemeleri ile kaplanmış karbon elyaf takviyeli poliamit 6,6 ve Poli (Bütülen teraftalat) karmalarının özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli

Karslı Yılmaz. N. G., (2011), "Karbon elyaf takviyeli termoplastik karmaların üretimi ve özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kılıç, E. (2006), “Kompozit malzemelerden yapılan yaprak yayların analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Kıyak, B. (2017), “Karbon fiber kompozit çekirdekli sandviç levhaların imalatı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Kıyak, B., Kaman, M. O. (2018), “Karbon fiber kompozit sandviç levhaların yanal mukavemet davranışlarının araştırılması”. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18: 684-691, Afyon.

Kompozit Sanayicileri Derneği “Karbon elyaf uygulamalarına bakış”, *Composites Turkey* 06/2015, 28-34

Migliaresi, C., Nicoli, F., Rossi, S. ve Pegoretti, A. (2004), “Novel uses of carbon composites for the fabrication of external fixators, *Composites Science and Technology*. 64 (2004) 873-883.

Molnár, S., Rosenberger, S., Gulyás, J., Pukánszky, B., (1999), Structure and impact resistance of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites, *J. Macromol. Sci. B.*, 38,721-735.

Murugan, R., Ramesh, R., Padmanabhan, K. (2014), Investigation on static and dynamic mechanical properties of epoxy based woven fabric glass/carbon hybrid composite laminates. *Procedia Engineering*, 97:459-468.

Okabe, T., Takeda, N. (2002), Size effect on tensile strength of unidirectional cfrp composites— Experiment and simulation. *Composites Science and Technology*, 62, 2053-2064.

Öndürücü. A., Karaca. A. (2018), *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 6(3), 435 – 447, e-ISSN: 1308-6693, Bilimleri, M. (2018), Tabakalı Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Journal of Engineering Sciences*, 6(3), 435-447.

Öztürk, Ö. (2015), “Poliüre matris malzemesi ve cam, aramid, karbon elyaf kumaş takviyeleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Pandey, G. C. ve Kumar, A. (2002), Determination of density of oxidized fiber by IR spectroscopy, *Polymer Testing*, 21, 397-401.

Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N., A. (2009), “Effect of fiber length on thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites”, *Materials and Design*, 30, 260-263.

Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N., A., Mahdi, E., S. (2007), “Effect of fiber loading and fiber length on mechanical and thermal properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composite”, *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, C.11, No.1, 181-188.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Seventekin, N. (2001), *Kimyasal lifler*, İzmir, 112-126.
- Seventekin, N., Öktem, T., Yaman, N. (2006), “Karbon liflerinin üretimi”, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 3, 164-173.
- Seventekin, N., Öktem, T., Yaman, N., (2007), “Karbon liflerinin özellikleri ve kullanım olanakları”, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 2, 90-95.
- Shi, Y., Swait, T., ve Soutis, C. (2012), Modelling damage evolution in composite laminates subjected to low velocity impact. *Composite Structures*, 94(9), 2902-2913.
- Sivri, Ç., (2008), “Uçurtma yelken teknolojisi ile denizcilik ve uzay uygulamalarında fonksiyonel yaklaşımlar”, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 31-43.
- Song, H. (2015), Pairing effect and tensile properties of laminated high-performance hybrid composites prepared using carbon/Glass and carbon/Aramid fibers. *Composites: Part B*, 79:61-66.
- Sundaram, S. (2010), “Industrial grade carbon fibers- performance reinforcement of the future”, *International Fiber Journal*, February, 10-18.
- Şahin, Y. (2006), *Kompozit malzemelere giriş*, Ankara, 61-107
- Tanoğlu, M., Toğulga, M. (2003), Kompozit malzemeler ve jeotermal uygulamaları”, Jeotermal Enerji Semineri, http://geocen.iyte.edu.tr/teskon/2003/teskon2003_18.pdf
- Taşkıran, M. (2018), “Karbon elyaf, Ptfе ve yağ katkılı Pa6 polimer kompozitlerinin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya
- Tekalur, S., Shivakumar, K., Shukla, A. (2007), Mechanical behavior and damage evolution in E-glass vinyl ester and carbon composites subjected to static and blast loads. *Composites: Part B*, 39:57-65.
- Tolun, C. (2008), Dikdörtgen elasto-plastik kompozit plakların dinamik analizi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1, Ankara.
- Topbaş, E. (2015), “Sürekli karbon elyaf takviyeli kompozit imalatında ön gerilmeden kaynaklanan mukavemet kaybının incelenmesi”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tsotra, P., Friedrich, K. (2003), “Electrical and mechanical properties of functionally graded epoxy-resin/Carbon fibre Composites”, *Composites*, 34: 75–82.
- Turhan, E., (2011), “1x1 Rib Örgü yapısındaki karbon elyafından elde edilen kompozit yapıların mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Walsh, P. J. (2001), *Carbon fibers*, ASM Handbook, 21, 35-40.

Wilson, A. (2009), "Carbon fiber- From aero to auto?", *International Fiber Journal*, October, 18-22.

Wonderly, C., Grenstedt, J., Fernlund, G., Cepus, E. (2005), "Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites", *Composites: Part B*, xx:1-10.

Worasuvannarak N., Hatori S., Nakagawa H. ve Miura K. (2003), Effect of oxidation pretreatment at 220-270 0C on the carbonization and activation behavior of phenolic resin fiber, *Carbon*, 41, 933-944.

Yağmur, S., Kurt, A., ve Şeker, U. (2018), Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemelerinin Frezelenmesinde Meydana Gelen Yüzey Pürüzlüğünün Değerlendirilmesi ve Matematiksel Modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(3), 705-714.)

Yaman, N, Öktem, T., Seventekin, N. (2006), "Karbon liflerinin üretimi", *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 3/2006, 164-173.

Yetgin, S. H., Hüseyin, Ü. N. A. L., ve Hatipoğlu, G. (2016) Poli-Fital-Amid (PPA) Polimerinin Tribolojik Özelliklerine Karbon Fiber ve Kayma Hızı'nın Etkisinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(1), 167-175.

Yıldızhan, H., (2008), "Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,

Zhang, X., Fan, X, Yan, C., Li, H., Zhu, Y., Li, X. ve Yu, L. (2012), Arayüzey mikroyapısı ve grafen oksitle modifiye edilmiş karbon fiber kompozitlerin özellikleri. *ACS uygulamalı malzemeler ve arayüzler* , 4 (3), 1543-1552.

Zor, M. (2018), "Kompozit malzeme mekaniği" ders notları, DEÜ Makine Mühendisliği Bölümü.

EKLER

Ek 1. Çekme Testi Örnek Numune Sonuçları

Zwick / Roell

Zwick
Materialprüfung

Zwick GmbH & Co. • August-Nagel-Str. 11 • D-89079 Ulm





29-Ağu-19

Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift ÇEK 0 Ç 3 ISO 527-2.zs2.
Der Export wurde am 29.08.19 um 18:37:33 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Type of curve : Automatic

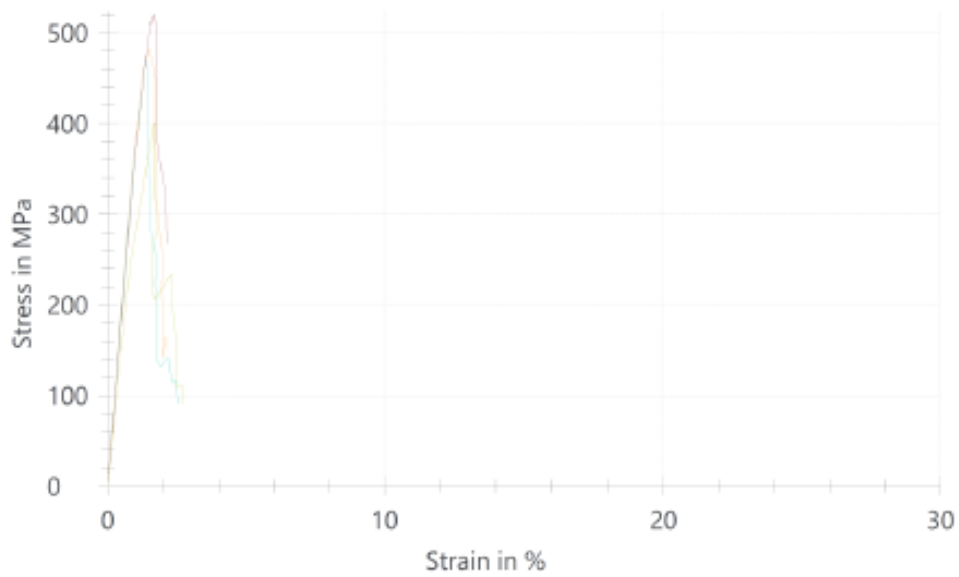
Results table:

Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
	1	ÇEK 0 Ç 3-1	39500	482	1,5	151	2,1	10,75	2,84	30,5
	2	ÇEK 0 Ç 3-2	38600	470	1,4	91,0	2,5	11	2,9	31,9
	3	ÇEK 0 Ç 3-3	37700	519	1,7	519	1,7	11	2,9	31,9
	4	ÇEK 0 Ç 3-4	31900	400	1,7	90,4	2,7	10,7	2,92	31,2

Statistics table:

Series n = 4	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
x	36900	468	1,6	213	2,3	10,86	2,89	31,4
s	3430	49,9	0,14	206	0,47	0,1601	0,03464	0,7
v [%]	9,29	10,66	9,31	96,80	20,84	1,47	1,20	2,08





Curve graph:



Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift ÇEK 45 Ç 3 ISO 527-2.zs2.
Der Export wurde am 29.08.19 um 18:50:31 ausgeführt.

Prüfungsdaten:**Type of curve : Automatic**

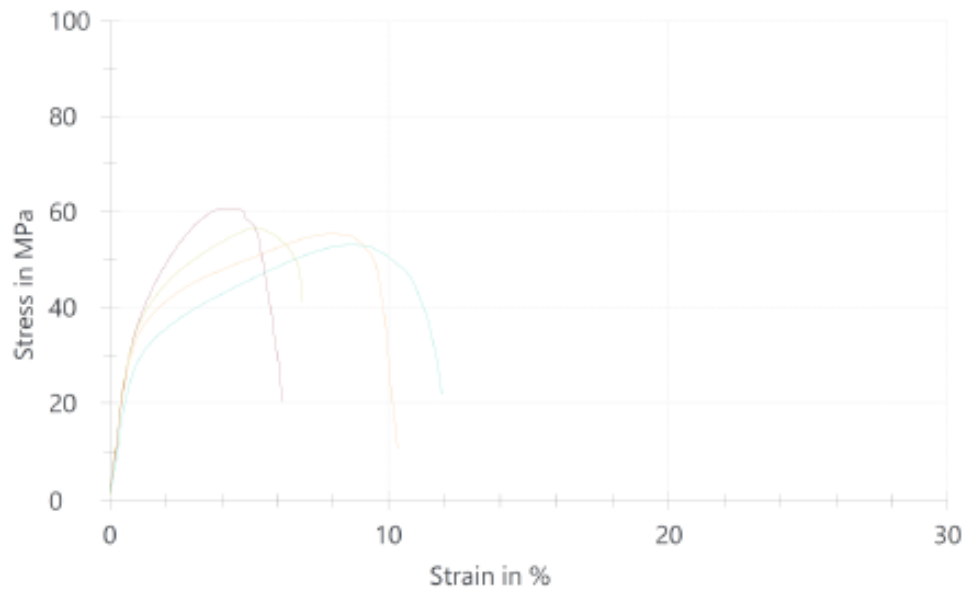
Results table:

Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
	1	ÇEK 45 Ç 3-1	4240	55,4	8,0	10,9	10	10,5	2,82	29,6
	2	ÇEK 45 Ç 3-2	3270	53,0	8,6	21,8	12	10,5	2,85	29,9
	3	ÇEK 45 Ç 3-3	4340	60,8	4,3	20,3	6,2	10,5	3,2	33,6
	4	ÇEK 45 Ç 3-4	4460	56,5	5,1	41,1	6,9	10,6	2,9	30,7

Statistics table:

Series n = 4	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
x	4080	56,4	6,5	23,5	8,8	10,53	2,943	31,0
s	548	3,24	2,1	12,7	2,7	0,05	0,1748	1,8
v [%]	13,44	5,75	32,85	53,84	31,01	0,48	5,94	5,87





Curve graph:



Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift TYK 0 Ç 3 ISO 527-2.zs2.
Der Export wurde am 29.08.19 um 19:07:12 ausgeführt.

Prüfungsdaten:**Type of curve : Automatic**

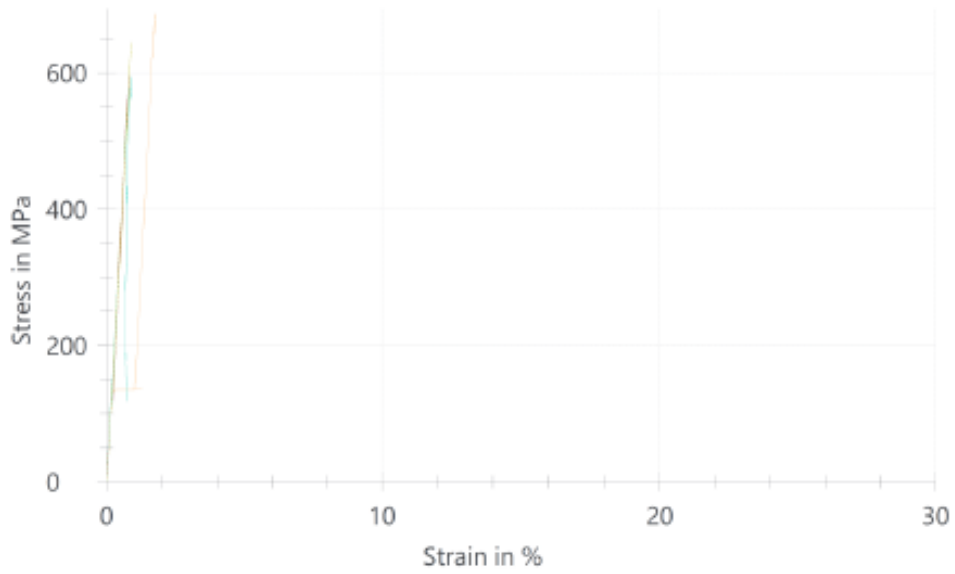
Results table:

Legend	No.	Type	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
	1	TYK 0 Ç 3-1	68900	687	1,7	687	1,7	10,6	1,63	17,3
	2	TYK 0 Ç 3-2	71600	595	0,92	595	0,92	10,7	1,65	17,7
	3	TYK 0 Ç 3-3	69500	596	0,81	119	0,21	10,7	1,59	17,0
	4	TYK 0 Ç 3-4	71000	645	0,88	129	0,21	10,7	1,7	18,2

Statistics table:

Series n = 4	E_t MPa	σ_m MPa	ϵ_m %	σ_b MPa	ϵ_b %	b mm	h mm	A_0 mm ²
x	70200	631	1,1	383	0,77	10,68	1,643	17,5
s	1270	44,5	0,44	301	0,73	0,05	0,04573	0,5
v [%]	1,81	7,05	40,24	78,66	94,37	0,47	2,78	2,91

Curve graph:



Ek 2. Üç Nokta Eğme Testi Örnek Numune Sonuçları





Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift ÇEK 0 B 3.zs2.
Der Export wurde am 29.08.19 um 17:48:14 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer :
Job no. :
Test : DIN EN
standard ISO 178
Type and :
designation
Material :
Specimen :
removal
Specimen :
type
Pre- :
treatment
Tester :
Notes :
Machine :
data

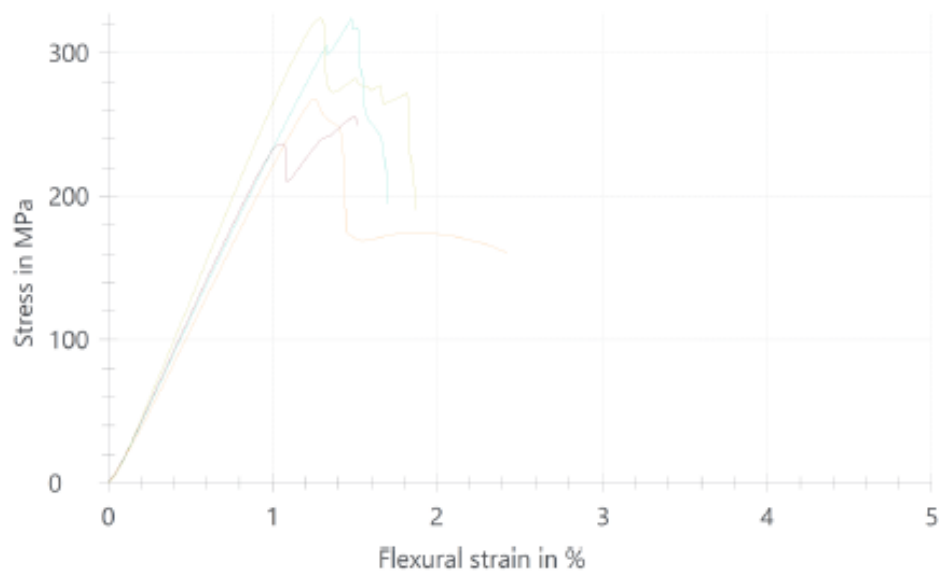
Results table:

Legend	No.	Type	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_{fM} %	σ_{fB} MPa	ϵ_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
	1	ÇEK 0 B 3-1	20400	268	1,3	161	2,4	50	3	10
	2	ÇEK 0 B 3-2	23200	324	1,5	324	1,5	50	3	10
	3	ÇEK 0 B 3-3	23700	255	1,5	255	1,5	50	2,84	10
	4	ÇEK 0 B 3-4	26100	324	1,3	190	1,9	50	2,84	10

Statistics table:

Series	E_f	σ_{fM}	ϵ_{fM}	σ_{fB}	ϵ_{fB}	L_v	h	b
n = 4	MPa	MPa	%	MPa	%	mm	mm	mm
x	23400	293	1,4	233	1,8	50	2,92	10
s	2340	36,6	0,13	72,7	0,44	0,000	0,09238	0,000
v [%]	10,03	12,50	9,28	31,25	24,25	0,00	3,16	0,00

Curve graph:







Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift ÇEK 45 B 3.zs2.
Der Export wurde am 29.08.19 um 18:06:00 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer :
Job no. :
Test : DIN EN
standard ISO 178
Type and :
designation
Material :
Specimen :
removal
Specimen :
type
Pre- :
treatment
Tester :
Notes :
Machine :
data

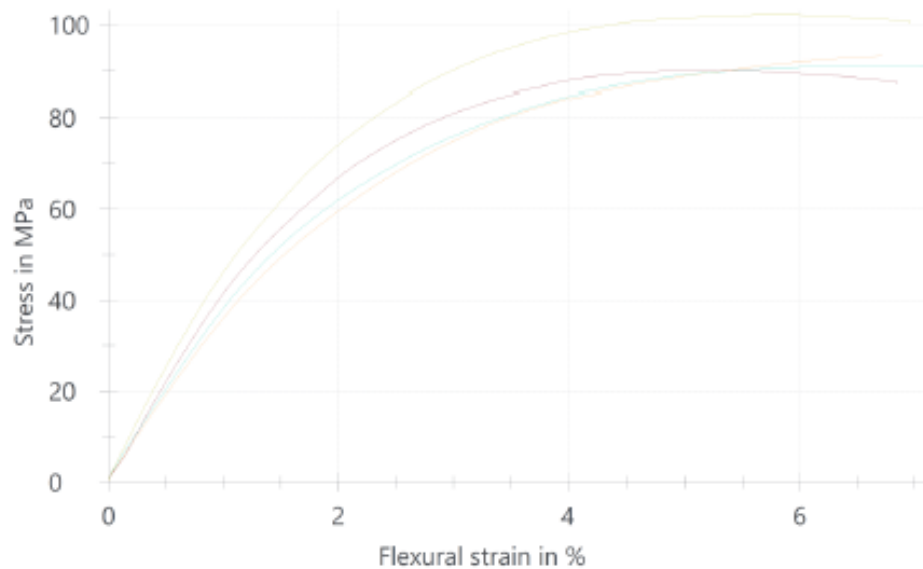
Results table:

Legend	No.	Type	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_{fM} %	σ_{fB} MPa	ϵ_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
	1	ÇEK 45 B 3-1	3860	93,2	6,7	93,2	6,7	50	2,8	10
	2	ÇEK 45 B 3-2	4020	91,1	6,9	90,8	7,1	50	2,95	10
	3	ÇEK 45 B 3-3	4050	90,0	4,9	86,9	6,8	50	2,85	10
	4	ÇEK 45 B 3-4	5090	102	5,7	100	7,0	50	2,9	10

Statistics table:

Series n = 4	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_{fM} %	σ_{fB} MPa	ϵ_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
\bar{x}	4250	94,1	6,1	92,8	6,9	50	2,875	10
s	561	5,60	0,93	5,66	0,16	0,000	0,06455	0,000
v [%]	13,19	5,94	15,38	6,10	2,27	0,00	2,25	0,00

Curve graph:







Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift TYK 0 B 3.zs2.
Der Export wurde am 29.08.19 um 18:20:13 ausgeführt.

Prüfungsdaten:

Parameters for the report:

Customer :
Job no. :
Test : DIN EN
standard ISO 178
Type and :
designation
Material :
Specimen :
removal
Specimen :
type
Pre- :
treatment
Tester :
Notes :
Machine :
data

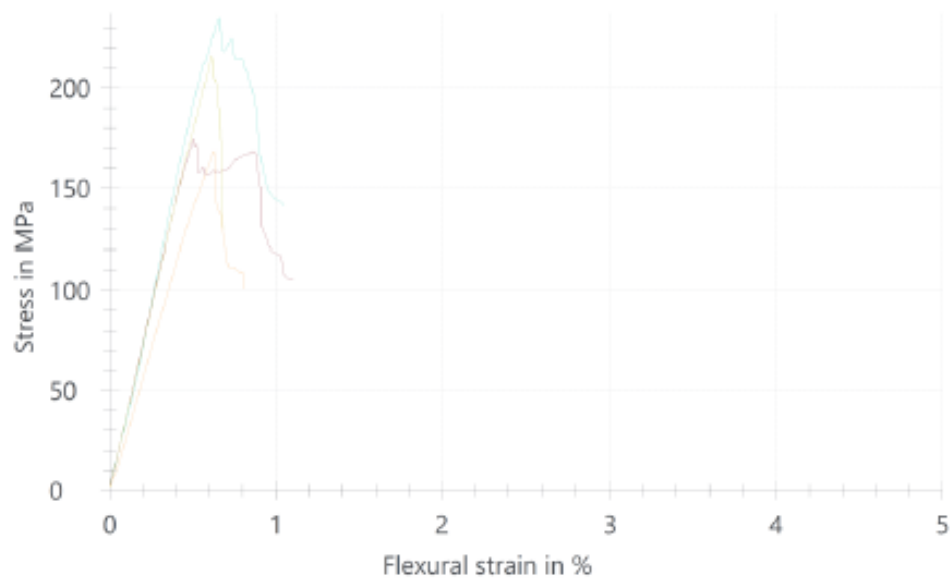
Results table:

Legend	No.	Type	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ε_{fM} %	σ_{fB} MPa	ε_{fB} %	Lv mm	h mm	b mm
	1	TYK 0 B 3-1	29300	168	0,63	168	0,63	50	1,95	10
	2	TYK 0 B 3-2	36800	235	0,66	235	0,66	50	1,7	10
	3	TYK 0 B 3-3	36800	175	0,50	105	1,1	50	1,7	10
	4	TYK 0 B 3-4	36500	216	0,62	216	0,62	50	1,82	10

Statistics table:

Series n = 4	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_{fM} %	σ_{fB} MPa	ϵ_{fB} %	L_v mm	h mm	b mm
x	34800	198	0,60	181	0,75	50	1,793	10
s	3710	32,4	0,067	58,1	0,24	0,000	0,1193	0,000
v [%]	10,66	16,32	11,13	32,07	31,53	0,00	6,65	0,00

Curve graph:



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜNEŞ Deniz
Doğum tarihi ve yeri : 05.06.1976 / SİVAS
e-mail : dgunes@bandirma.edu.tr / dnzgns06@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	DPÜ Fen Bilimleri Enst. Makina Mühendisliği	Devam
Lisans	ESOGÜ Müh. Mim. Fak. Makine Mühendisliği	2005
Lise	Aktepe Lisesi / ANKARA	1995

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2019 – Devam	Bandırma Onyediy Eylül Üniv. Denizcilik MYO Gemi İnş.	Öğr. Gör.
2015 – 2019	Bandırma Onyediy Eylül Üniv. Bandırma MYO Gemi İnş.	Öğr. Gör.
12/2007-2015	Balıkesir Üniv. Bandırma MYO Gemi İnş.	Öğr. Gör.
07/2007-11-2007	ARİON Mühendislik / ANKARA	Hak ediş Müh.
11/2006-07/2007	PAYET Mühendislik / ANKARA	Mak. Saha Şef.
05/2006-10/2006	MERTKAN İnşaat / ANKARA	Mak. Grup Şef.
12/2005-04/2006	EMRE İSİ / ESKİŞEHİR	Yetkili Mak. Müh.
12/2004-12/2005	BATUHAN Mühendislik / ESKİŞEHİR	Proje Müh.

Yabancı Dil

İngilizce