

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBON-FİBER TAKVİYELİ POLİMER MATRİKSLİ
KOMPOZİT BİSİKLET KADROSU ÜRETİMİ**

Metalurji ve Malzeme Müh. Y.Cihat BİNGÖL

**FBE Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr.Deniz UZUNSOY (YTÜ)

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
Önsöz.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	2
2.1 MATRİKS MALZEMELERİ.....	6
2.1.1 Polimer Matriksler.....	6
2.1.1.2 Termoplastik Matriks Malzemeleri.....	8
2.1.1.3 Termoset Matriks Malzemeleri.....	16
2.1.1.3.1 Epoksiler.....	16
2.1.1.3.2 Polyester.....	19
2.1.1.3.3 Vinil ester.....	20
2.1.1.3.4 Bismaleimid (BMI).....	20
2.1.1.3.5 Fenolikler.....	20
2.1.1.3.6 Silikon.....	21
2.1.1.3.7 Amino Reçineleri.....	22
2.1.2 Elastomerler.....	22
2.1.3 Seramikler.....	22
2.2 TAKVİYE ELEMANLARI.....	24
2.2.1 Fiber Formları.....	25
2.2.1.1 Kumaşlar ve Dokumalar.....	25
2.2.1.2 Hasırlar.....	25
2.2.1.3 Dokunmuş Kumaşlar.....	26
2.2.2 Karbon Fiberler.....	27
2.2.2.1 Karbon Fiberin Üretim Süreci.....	28
2.2.2.2 Karbon Fiberlerin Mekanik Özellikleri.....	31

2.2.3 Cam Fiberleri.....	32
2.2.3.1 Mekanik Lif Çekme Yöntemi.....	32
2.2.3.2 Pnömatik Lif Çekme Yöntemi.....	33
2.2.4 Aramid Fiberleri.....	35
2.2.5 Bor Fiberleri.....	36
2.3 ÜRETİM YÖNTEMLERİ	37
2.3.1 Islak yatırma	37
2.3.2 Ön-emprenye (prepreg).....	39
2.3.3 Keseli Kalıplama	40
2.3.4 Infüzyon	41
2.3.5 Reçine Transferli Kalıplama (RTM: Resin Transfer Moulding).....	42
2.3.6 Fiber sarma (Filament winding)	43
2.3.7 Profil çekme / Pultrüzyon (pultrusion)	44
2.3.8 Basınçlı Kalıplama (Compression Molding, SMC, BMC).....	44
2.3.8.1 Hazır kalıplama pestili / SMC (sheet moulding composites)	45
2.3.8.2 Hazır kalıplama hamuru / BMC (bulk moulding composites)	45
3. BİSİKLETLERDE KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI.....	46
3.1 Kompozit Bisikletlerin Tarihçesi	47
3.2 Malzemeler Arasındaki Farklar.....	48
3.2.1 Endüstrideki Örnekleri.....	49
3.3 Bisiklette Karbonun Avantajları.....	50
3.4 Karbon Kadroların Üretimi.....	55
3.4.1 Tasarımın Önemi	56
3.4.2 Üretim Yöntemlerindeki Farklar	60
3.4.3 Hasar Dayanımı	61
3.4.4 Üretim Metotlarının Karşılaştırılması.....	61
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	
KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT BİSİKLET KADROSUNUN İMALİ VE UYGULANAN DENEYLER.....	66
4.1 ÖN ÇALIŞMALAR	66
4.1.1 Tasarım.....	66
4.1.1.1 Boyutlandırma ve CAD tasarımı	66
4.1.1.2 Boru Çapları, Fiber Yönleri ve Yerleşimi	71
4.1.2 Malzemelerin Seçimi ve Temini.....	73
4.1.3 Kadro yapımında kullanılacak Tezgahın (Jig) Yapımı	75
4.2 KADRONUN ÜRETİM AŞAMALARI	76
4.2.1 Alüminyum Kısımların Hazırlanması.....	76
4.2.2 Kompozit İç Boruların Hazırlanması.....	76

4.2.3 Karbon Fiber Üst Katmanların Sarılması Öncesi Hazırlıklar	81
4.2.4 Sürekli Karbon-Fiber Sarımlarının Yapılması	83
4.2.5 Son Yüzey İşlemleri Ve Boyama	88
4.3 DENEYLER.....	90
4.3.1 Yoğunluk Deneyi.....	90
4.3.2 Fiber Hacim Oranının Saptanması.....	92
4.3.3 Darbe Deneyi.....	94
4.3.4 Üç Noktalı Eğme Deneyi	97
4.3.5 Halka Eğme Deneyi	99
4.3.6 Boru Eğme Deneyi.....	102
4.3.7 Çekme Deneyi	106
4.3.7.1 Teorik Çekme Dayanımının Hesabı.....	110
4.3.8 Işık Mikroskobu ile Görüntü Analizi.....	111
5. SONUÇLAR	112
KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ	117

SİMGE LİSTESİ

P	: Yoğunluk
E	: Elastiklik modülü
σ_u	: Çekme gerilmesi
σ_y	: Akma gerilmesi
O	: Oksijen
C	: Karbon
H	: Hidrojen
N	: Azot
B	: Bor
Si	: Silisyum
Pa	: Paskal
MPa	: MegaPaskal
GPa	: GigaPaskal
\$	: ABD Doları
kg	: Kilogram
gr	: Gram
J	: Joule
m	: Metre
cm ³	: Santimetreküp
°C	: Santigrad Derece
Å	: Angstrom
µm	: Mikrometre
N	: Newton
KN	: Kilonewton
bar	: BAR
Al	: Alüminyum
Ti	: Titanyum
Mg	: Magnezyum
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
Sc	: Skandiyum
Zr	: Zirkonyum
V	: Vanadyum
Cr	: Krom
cPs	: centipose (viskozite birimi)

KISALTMA LİSTESİ

CT	: Carbon-Termoplastik
BMI	: Bismaleimid
PP	: Polypropilen
PA	: Polyamid
PES	: Polietersüflon
PEI	: Polieterimid
PAI	: Poliamid imid
PPS	: Polifenilensüflon
PEEK	: Polieter eterketon
ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
SAN	: Stiren akrilonitril
SMA	: Stiren maleik anhidrit
PSU	: Polisüflon
PPE	: Polifenilen eter
GMT	: Preslenebilir takviyeli termoplastik
PTFE	: Politetraflor etilen
POM	: Polioksi metilen
PMMA	: Polimetilmetaakrilik
PVC	: Polivinil klorür
DGEBA	: Di-Glisidether-Bifenol-A
Cro-Moly	: Krom-molibden
OCLV	: Optimum Compaction Low Void (Yüksek sıkıştırma- düşük boşluk)
3B	: 3 Boyut
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 2.1 FARKLI POLİMER YAPILARININ ŞEKİLLERİ	7
ŞEKİL 2.2 POLİASETALIN MOLEKÜLER YAPISI.....	11
ŞEKİL 2.3 POLİAKRİLONİTRİL'İN MOLEKÜLER YAPISI	12
ŞEKİL 2.4 ABS'NİN MOLEKÜLER YAPISI.....	12
ŞEKİL 2.5 PTFE'NİN MOLEKÜLER YAPISI.....	12
ŞEKİL 2.6 NAYLONLARIN MOLEKÜLER YAPILARI.....	13
ŞEKİL 2.7 TERMOPLASTİK POLYESTERİN MOLEKÜLER YAPISI	13
ŞEKİL 2.8 POLİETİLENİN MOLEKÜLER YAPISI.....	14
ŞEKİL 2.9 POLİPROPİLENİN MOLEKÜLER YAPISI	14
ŞEKİL 2.10 EPOKSİ GRUBU	16
ŞEKİL 2.11 EPOKSİ DETA İLE REAKSİYONA GİRMESİ VE ÇAPRAZ BAĞLI AĞ OLUŞTURMASI.	17
ŞEKİL 2.12 EN ÇOK KULLANILAN EPOKSİNİN (DGEBA) YAPISI.....	17
ŞEKİL 2.13 KOMPOZİT TAKVİYE ELEMANI TİPLERİ.....	24
ŞEKİL 2.14 FİBER DOKUMA TÜRLERİ.....	26
ŞEKİL 2.15 2 BOYUTLU KATMANLARDAN OLUŞAN FİBER YAPISININ ŞEMATİK GÖSTERİMİ	26
ŞEKİL 2.17 PAN VE ZİFT PROSESLERİNİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ	29
ŞEKİL 2.18 KARBON FİBERLERİN OKSİDASYON İŞLEMİ	29
ŞEKİL 2.19 KARBON FİBERLERİN KARBONİZASYON İŞLEMİ	30
ŞEKİL 2.20 KARBON FİBERİN İÇ YAPISI, KARBON ATOMLARININ OLUŞTURDUĞU YÜZEYLER	31
ŞEKİL 2.21 MEKANİK LİF ÇEKME YÖNTEMİ İLE CAM FİBERİ ÜRETİMİ	33
ŞEKİL 2.22 PNÖMATİK LİF ÇEKME YÖNTEMİ.	33
ŞEKİL 2.23 PÜSKÜRTME YÖNTEMİ	38
ŞEKİL 2.24 EL YATIRMASI YÖNTEMİ	38
ŞEKİL 2.25 VACUUM-BAG YÖNTEMİ	39
ŞEKİL 2.26 KESELİ KALIPLAMA YÖNTEMİNİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ.....	40
ŞEKİL 2.27 KESELİ KALIPLAMANIN AKIM ŞEMASI	41
ŞEKİL 2.28 İNFÜZYON YÖNTEMİ.....	41
ŞEKİL 2.29 RTM YÖNTEMİNİN AKIM ŞEMASI.....	42
ŞEKİL 2.30 VAKUM DESTEKLİ REÇİNETRANSFERLİ KALIPLAMA YÖNTEMİ	43
ŞEKİL 2.31 FİBER SARMA YÖNTEMİNİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ	43
ŞEKİL 2.32 PROFİL ÇEKME YÖNTEMİNİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ VE KULLANILAN ELEMANLAR	44
ŞEKİL 2.33 BASINÇLI KALIPLAMA YÖNTEMİ	45
ŞEKİL 3.1 SABİT KADROLU (HARDTAIL) BİR DAĞ BİSİKLETİNİ OLUŞTURAN PARÇALARIN İSİMLERİ.....	47
ŞEKİL 3.2 RİJİTLİK – AĞIRLIK ORANLARININ KIYASLANMASI (GERİLMEDE)	51
ŞEKİL 3.3 DAYANIM-AĞIRLIK ORANLARININ KIYASLANMASI.....	53
ŞEKİL 3.4 TERMAL GENLEŞME KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI...59	
ŞEKİL 3.5 TREK OCLV (OPTİMUM COMPACTION LOW WOİD: YÜKSEK SİKİŞTİRMA DÜŞÜK BOŞLUK) KARBON-KOMPOZİT ALIN REKORU	63
ŞEKİL 3.6 KESELİ KALIPLAMA (BLADDER MOLDİNG) YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN TREK ALIN REKORU	63

ŞEKİL 3.7 KARBON BORULARIN BİRLEŞTİRİLMESİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN DEROSA IDOL KADROSUNUN ÜRETİMİNDEN RESİMLER. ..65	65
ŞEKİL 4.1 TASARLANAN KADRO ÖLÇÜLERİ	67
ŞEKİL 4.2 ARKA KISIMDA KULLANILAN ALÜMİNYUM ARKA ÇATAL	67
ŞEKİL 4.3 TASARLANAN KADRONUN 100MM SIKIŞMA MESAFESİNE SAHİP ÖN AMORTİSÖR İLE TEKERLEKLER ARASI MESAFESİ.....	68
ŞEKİL 4.4 TASARLANAN KADRONUN 3B GÖRÜNÜMÜ	68
ŞEKİL 4.5 TASARLANAN KADRONUN 3B GÖRÜNÜMÜ (PROFİL)	69
ŞEKİL 4.6 70KG AĞIRLIĞINDAKİ BİR BİSİKLETÇİNİN KADRO ÜZERİNDEKİ YÜK DAĞILIMI, BİSİKLETÇİ YAKLAŞIK AĞIRLIĞININ %70'İ SELE ÜZERİNE, %30'U GİDON ÜZERİNE BİNMEKTEDİR.	70
ŞEKİL 4.7 70 KİLOLUK BİR BİSİKLETÇİNİN YOKUŞ TIRMANIRKEN KADRO ÜZERİNDE OLUŞAN GERİLMELER (MPA)	70
ŞEKİL 4.8 GERİLMELER BULUNURKEN KADRO ÜZERİNDE UYGULANAN KUVVETLER VE YÖNLERİ.....	70
ŞEKİL 4.9 KADRONUN SARIM İŞLEMLERİ BİTTİKTEN SONRAKİ KESİT GÖRÜNÜMÜ	72
ŞEKİL 4.10 12K TEK EKSENLİ KARBON FİBER.	73
ŞEKİL 4.11 TEZGAHIN 3B GÖRÜNÜMÜ. (PROFİL)	75
ŞEKİL 4.12 TEZGAHIN 3B GÖRÜNÜMÜ	75
ŞEKİL 4.13 İÇ KATMAN BORULARININ HAZIRLANMASI. FİBERLER SARILMIŞ VE ÜZERLERİ PVC BANT İLE KAPLANMIŞ DURUMDA	78
ŞEKİL 4.14 İÇ KATMAN BORULARININ SARILMASI	78
ŞEKİL 4.15 ÜST VE ALT İÇ KATMAN BORULARI MONTE EDİLMİŞ DURUMDA, OTURMA BORUSU SARIMI TAMAMLANMIŞ KURUMASI BEKLENİYOR.	79
ŞEKİL 4.16 ÜST VE ALT BORULAR ALIN BORUSU ÜZERİNDE KURT AĞZI BİRLEŞİMİ İLE BİRBİRLERİNE EKLENMİŞ DURUMDA.	80
ŞEKİL 4.17 ÜST BORU – OTURMA BORUSU BİRLEŞİMİ VE ALÜMİNYUM-KARBON-EPOKSİ ARA-YÜZEYİNDE CAM FİBER KAPLAMASI	80
ŞEKİL 4.18 BÜTÜN İÇ BORULAR TEZGAH ÜZERİNDE DİĞER ALÜMİNYUM PARÇALAR İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ DURUMDA	81
ŞEKİL 4.19 ÜST VE ALT İÇ BORULARIN KESİŞME NOKTALARINDA DOLGU MALZEMESİ KÖPÜK GÖRÜLMEKTE.	82
ŞEKİL 4.20 ÜST BORU VE OTURMA BORUSU EKİ VE KÖPÜK DOLGU.	82
ŞEKİL 4.21 İLK KARBON FİBER KATMANI SARIM ÖNCESİ ALIŞTIRILIYOR.	83
ŞEKİL 4.22 İLK KARBON FİBER KATMANI SARIM İŞLEMİ TAMAMLANMIŞ VE ÜZERİ PVC BANT İLE SARILMIŞ DURUMDA	84
ŞEKİL 4.23 ÜST VE ALT BORULARIN İLK KATMAN SARIMLARI TAMAMLANMIŞ VE ZIMPARALANMIŞ	84
ŞEKİL 4.24 KATILAŞMASI TAMAMLANMIŞ İLK KATMAN. SÖKÜLEN PVC BANTLARIN İZLERİ GÖRÜLMEKTE.	85
ŞEKİL 4.25 İKİNCİ KATMANLAR SONRASI KADRONUN GÖRÜNÜMÜ.....	85
ŞEKİL 4.26 İKİNCİ KATMANLAR SONRASI KADRONUN GÖRÜNÜMÜ	86
ŞEKİL 4.27 ORTA GÖBEK İLE OTURMA BORUSU BAĞLANTISI	86
ŞEKİL 4.28 BEŞİNCİ KATMANLAR SONRASI ÖN TARAFIN GÖRÜNÜMÜ.....	87
ŞEKİL 4.29 SON KATMANLAR SARILIRKEN KADRONUN VE TEZGAHIN GÖRÜNÜMÜ	87
ŞEKİL 4.30 KADRONUN SARIM İŞLEMLERİ TAMAMLANMIŞ VE ZIMPARALANMIŞ	88

ŞEKİL 4.31 KABLO STOPERLERİ	88
ŞEKİL 4.32 KADRO BOYANMIŞ VE VERNİKLENMİŞ DURUMDA	89
ŞEKİL 4.33 KADRONUN TAMAMLANMIŞ HALİ, ORTA GÖBEK VE ÇEKİ BORUSU KÖPRÜSÜ	89
ŞEKİL 4.34 TAMAMLANMIŞ OLAN KADRO KOMPONENTLER İLE TOPLANARAK SÜRÜŞE HAZIR HALDEDİR	90
ŞEKİL 4.35 AĞIRLIK VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ YAPILACAK NUMUNELER.	91
ŞEKİL 4.36 AĞIRLIK VE HACİM ÖLÇÜMÜ YAPILACAK OLAN HASSAS TARTI	91
ŞEKİL 4.37 HACİM ORANI TAYİN EDİLECEK OLAN NUMUNELER VE SERAMİK KAYIKÇIKLAR	92
ŞEKİL 4.38 HACİM ORANI TAYİNİ SIRASINDA KULLANILAN HASSAS TERAZİ	93
ŞEKİL 4.39 HACİM ORANI TAYİNİ SIRASINDA KULLANILAN FIRIN.....	93
ŞEKİL 4.40 YAKILDIKTAN VE EPOKSİ İÇERİĞİ UÇURULDUKTAN SONRA NUMUNELERİN GÖRÜNÜMÜ	94
ŞEKİL 4.41 DARBE DENEYİ CİHAZI	94
ŞEKİL 4.42 DENEY NUMUNELERİNİN CİHAZ MESNETLERİNE YERLEŞİMİ.	95
ŞEKİL 4.43 DENEY NUMUNELERİNİN KIRILMADAN ÖNCEKİ GÖRÜNÜMLERİ.....	95
ŞEKİL 4.44 DARBE DENEYİNDEN SONRA NUMUNELERİN GÖRÜNÜMÜ	96
ŞEKİL 4.45 DARBE DENEY NUMUNELERİ BOYUTLARI.....	96
ŞEKİL 4.46 DARBE DENEYİ SONUÇLARININ ÇİZGİSEL GÖSTERİMİ	97
ŞEKİL 4.47 MİKRO EĞME DENEY CİHAZININ GÖRÜNÜŞÜ	97
ŞEKİL 4.48 MİKRO EĞME DENEYİ SIRASINDA NUMUNEDEKİ DEĞİŞİM.....	98
ŞEKİL 4.49 MAKSİMUM YÜKLENME DURUMUNDA NUMUNENİN GÖRÜNÜMÜ	98
ŞEKİL 4.50 NUMUNELERİN DENEY ÖNCESİ VE DENEY SONRASI HASARLI GÖRÜNTÜLERİ. KATMANLARIN AYRILMASI VE FİBERLERDE PULL- OUT'LAR NET BİR ŞEKİLDE GÖRÜLMEKTEDİR	98
ŞEKİL 4.51 MİKRO EĞME DENEY SONUÇLARININ ÇİZGİSEL GÖSTERİMİ..	99
ŞEKİL 4.52 HALKA EĞME DENEY NUMUNELERİ	100
ŞEKİL 4.53 DENEY SIRASINDA KARBON-FİBER HALKANIN BASMA YÜKÜ ETKİSİYLE HASARA UĞRAMASI	100
ŞEKİL 4.54 SAĞLAM VE HASARLI HALKALARIN GÖRÜNÜMÜ	101
ŞEKİL 4.55 DENEY SONRASI HALKALARIN GÖRÜNÜMÜ	101
ŞEKİL 4.56 HALKA ÜZERİNDEKİ KUVVET ETKİSİ İLE OLUŞAN KAYMA GERİLMELERİ	101
ŞEKİL 4.57 BORU DENEY NUMUNELERİ VE DIŞ ÇAP ÖLÇÜMÜ	102
ŞEKİL 4.58 EĞME VE ÇEKME DENEY CİHAZI.....	103
ŞEKİL 4.59 EĞME DENEYİ SIRASINDA BORU NUMUNELERDE OLUŞAN HASAR	103
ŞEKİL 4.60 MAKSİMUM KUVVET ALTINDA BORUDAKİ EĞİLME.....	104
ŞEKİL 4.61 YÜK KALDIRILDIKTAN SONRA BORUNUN GÖRÜNÜMÜ	104
ŞEKİL 4.62 DENEY SONRASI HASAR UĞRAMIŞ VE SAĞLAM BORULAR	104
ŞEKİL 4.63 ÜÇ NOKTADAN EĞME SIRASINDA BORU ÜZERİNE GELEN YÜK VE MESNET MESAFESİ	105
ŞEKİL 4.64 DENEYLER SONRASI NUMUNELERİN HASAR GÖREN BÖLGELERİNİN YAKINLAŞTIRILMIŞ FOTOĞRAFLARI	106
ŞEKİL 4.65 ÇEKME DENEYİ NUMUNELERİNİN BOYUTLARI	106

ŞEKİL 4.66 ÇEKME DENEY NUMUNELERİ	107
ŞEKİL 4.67 ÇEKME DENEY CİHAZINA NUMUNELERİN YERLEŞİMİ VE KOPMA SONRASI NUMUNENİN GÖRÜNÜMÜ	108
ŞEKİL 4.68 ÇEKME DENEYİ SONRASI NUMUNELERİN GÖRÜNÜMÜ	108
ŞEKİL 4.69 ÇEKME DENEY NUMUNELERİN KOPMUŞ DURUMLARI	109
ŞEKİL 4.70 KOPMA YÜZEYİNİN YAKINLAŞTIRILMIŞ GÖRÜNÜMÜ	109
ŞEKİL 4.71 EPOKSİ MATRİKS İÇİNDEKİ KARBON FİBERLERİN DEĞİŞİK BÜYÜTMELERDE IŞIK MİKROSKOBU ALTINDAKİ GÖRÜNTÜLERİ	111

TABLO LİSTESİ

TABLO 2.1 KOMPOZİT MALZEMELER İLE DİĞER ALIŞAGELMİŞ MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	5
TABLO 2.2 BELLİ BAŞLI TERMOPLASTİK REÇİNELERİ VE İŞLEM ISILARI ...	9
TABLO 2.3 BAZI TERMOPLASTİK MATRİKS MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI.....	11
TABLO 2.4 PROPİLEN VE DİĞER POLİMERLERİN ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	15
TABLO 2.5 PROPİLENİN ÇEŞİTLİ ÖRGÜ TİPLERİNDE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	15
TABLO 2.6 EPOKSİ REÇİNELERİN GENEL MEKANİK ÖZELLİKLERİ	18
TABLO 2.7 EPOKSİ VE POLYESTERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI	20
TABLO 2.8 EŞ-YÖNLÜ BAZI İLERİ KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİ	23
TABLO 2.9 KARBONİZASYON İŞLEMİNDE UYGULANAN SICAKLIK ÜRETİLEN FİBERLERİN SINIFINI BELİRLER.....	30
TABLO 2.10 KARBON FİBERLERİN ÖZELLİKLERİ VE E-CAMI FİBERLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	31
TABLO 2.11 DEĞİŞİK TÜRLERDEKİ CAMLAR	34
TABLO 2.12 E VE R TİPİ CAMLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	34
TABLO 2.13 ARAMİD MONOFİLAMANLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	36
TABLO 2.14 ÇEŞİTLİ BOR FİBERLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	37
TABLO 3.1 DAYANIM – AĞIRLIK ORANI.....	53
TABLO 3.2 BİSİKLET ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN AVANTAJLARININ VE DEZAVANTAJLARININ KARŞILAŞTIRILMASI ...	54
TABLO 3.3 ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI – 1.....	62
TABLO 3.4 ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI – 2.....	63
TABLO 3.5 ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI - 3	64
TABLO 4.1 KADRO’NUN ÇEŞİTLİ BÖLGELERİNDEKİ KATMAN SAYILARI VE BORU ÇAPLARI.....	72
TABLO 4.2 WEST SYSTEM EPOKSİLERİNİN DEĞİŞİK REÇİNE – SERTLEŞTİRİCİ KARIŞIMLARINDA ELDE EDİLEN ÖZELLİKLER.....	74
TABLO 4.3 NUMUNELERİN AĞIRLIK VE YOĞUNLUK ÖLÇÜM SONUÇLARI	91
TABLO 4.4 HACİM ORANI TAYİNİ SONUÇLARI.	92
TABLO 4.5 DARBE DENEYİ SONUÇLARI	96
TABLO 4.6 MİKRO EĞME DENEY NUMUNELERİNİN BOYUTLARI VE DENEY SONUÇLARI	99
TABLO 4.7 HALKA EĞME DENEY NUMUNELERİ BOYUTLARI VE DENEY SONUÇLARI	102
TABLO 4.8 ÇEKME DENEYİ NUMUNE BOYUTLARI VE DENEY SONUÇLARI	107

Önsöz

Tez çalışmam boyunca üstün sabır gösterip maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim. Ayrıca tez danışmanım Yr. Doç Dr. Deniz Uzunsoy'a ve tezimin gelişmesinde yardımcı olan Prof. Dr. Ahmet Ünal hocama da yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Kadrolar bisikletlerin sürüş özelliklerini ve ağırlıklarını belirleyen en önemli parçalarıdır. Bisiklet endüstrisinde gitgide artan bir şekilde metal malzemelerin yerini kompozit malzemeler almaktadır. Bu çalışmanın amacı karbon fiber kompozit bir bisiklet kadrosunun tasarlanması ve üretimidir. Bisiklet kadrolarında kullanılan malzemeler incelenmiş ve karbon kompozit malzemedan üretilen kadrolar ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Deneysel çalışma kadronun tasarlanması ve malzeme testleri ile başlamıştır. Ardından kadronun imali için gerekli tezgâh tasarlanmış ve imal edilmiştir. Geleneksel kadro geometrisine sadık kalınarak tasarlanan kadro üst, alt ve oturma boruları ile alın borusu karbon kompozitten el yatırması yöntemi ile üretilirken, arka maşa kısımlarında alüminyum kullanılmıştır. Kompozit malzeme bileşenleri olarak tek eksenli 12k karbon fiber ile epoksi reçine kullanılmıştır. Tamamlanan kadro gerekli donanım ile toplanarak test sürüşüne tâbi tutulmuş, rijitlik ve sürüş karakteristiği olarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Kompozit, karbon fiber, epoksi, bisiklet, kadro, el yatırması

ABSTRACT

Frames are the most important parts of the bicycle that effects the riding characteristic and total weight. There has been a progressive increase in the number of metal parts and structures replaced by composite materials in cycling industry. The goal of this research is to design and manufacture a carbon fiber composite mountain bicycle frame. Materials that using in the frame building was studied and compared with carbonfiber composite frames as a begining. Experimental work began with designing of the frame and material tests. Designing and manufacturing of the jig fallowed. While top tube, down tube, seat stay and head tube manufactured of carbon-composite by using handlay-up process, aluminum was used in chain stays and rear fork of the frame which had designed based on the traditional frame geometry. 12k unidirectional carbon fiber and epoxy resin used as composite components. While test riding of the completed frame with required components, positive riding characteristic and rigidity were achived.

Keywords: Composite, carbonfiber, epoxy, bicycle, frame, hand layup

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler günümüzde birçok alanda (spor, tıp, havacılık, otomotiv) metal malzemelerin yerlerini almaktadır. Özellikle dayanım/ağırlık oranını çok yüksek olması ileri seviyedeki ürünlerde tercih sebebi olmalarını sağlamaktadır. Uzun, havacılık, otomobil sporları, tıp ve spor donanımları sektörlerinde kompozit malzeme kullanımı artık standart hale gelmiştir, önümüzdeki yıllarda hızla gelişen teknoloji sayesinde bu ileri seviye malzemelerin günlük kullanıma indirgenmesi de beklenmektedir.

Bisiklet sporu geçmişten günümüze ileri seviyede malzemelerin kullanıldığı bir alan olmuştur. Önceleri çelik malzeme tek alternatif iken buna alüminyum, titanyum, magnezyum gibi alaşımlar eklenmiş ve günümüzde üst seviye donanımların üretilmesinde karbon-kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler sayesinde donanımların ağırlıkları en düşük seviyelere çekilirken rijitlik, dayanım, yorulma gibi özellikler ise en üst seviyelere taşınmıştır.

Bu çalışmada öncelikle kompozit malzemelerin genel özellikleri, bisiklet sektöründeki kullanımı ve üretimi araştırılmış daha sonra elle yatırma yöntemi ile karbon fiber takviyeli kompozit malzeme kullanarak Türkiye'deki ilk karbon fiber bisiklet kadrosu imal edilmiştir.

Çalışmanın 2. bölümünde kompozit malzemelerin özellikleri, bileşenleri ve genel üretim yöntemleri anlatılmıştır. 3. bölümde ise kompozit malzemelerin bisiklet kadrolarının üretimine değinilmiş, farklı firmaların kullandıkları yöntemler ve malzemelerin karşılaştırılmaları yapılmıştır. 4. bölümde ise bir kompozit dağ bisikleti kadrosunun tasarlanması ve elle yatırma yöntemi ile üretilmesi, malzeme deneylerinin yapılması anlatılmış ve deney sonuçları verilmiştir. 5. ve son bölümde ise sonuçlar irdelenmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin kimyasal bağ olmaksızın fiziksel ara yüzey oluşturarak birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir. Genel olarak ise kompozit malzeme denildiğinde fiber ile güçlendirilmiş plastik malzemeler anlaşılmaktadır. İlk modern sentetik plastiklerin 1900’lerin başında geliştirilmesinin ardından, 1930’ların sonunda plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeyde gelişmeye başlamıştır. Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve çevresel etkenlere karşı dayanımı plastiğin yükselmesindeki en önemli özelliklerdir. Birçok üstün özelliğinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950’lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozitler, özellikle polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek olmasına rağmen çok daha hafiftirler. CT ve diğer kompozit birleşimleri günümüzde tercih edilmesinin ve kullanımlarındaki artışın mutlak sebepleri sağlamlıkları ve hafiflikleridir. Çeşitli plastik malzemelerin seramik, metal bazen de sert polimerlerin fiberleri ile güçlendirilerek ileri derecede faydalar sağlayan malzemeler üretmek mümkündür. İçindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilen ve takviye fiberler sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme birleşimleri, kompozitler her gün yepyeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar. Kompozit malzemeler reçine (Matrix) ve takviye (Reinforcement) bileşenlerinden oluşur. Kompozitler temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış fiberlerden oluşmaktadır. Bu bileşenler birbirleri içinde çözünmezler veya karışmazlar. Kompozit malzemelerde fiber sertlik, sağlamlık gibi yapısal özellikleri, plastik reçine malzemesi ise fiberin yapısal bütünlüğü oluşturması için birbirine bağlanması, yükün fiber arasında

dağılmasını ve fiberin kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar. (Reinforced Plastics, 2003)

Kompozitlerin genellikle katmanlardan meydana gelmesinin sonucu olarak fiber ve matriksten beklenen özellikler birçok yönde elde edilebilmektedir. Bu sayede yüksek dayanım-ağırlık veya modül-ağırlık oranları yakalanmış olur. Kompozit malzemeler avantajları olduğu şekilde dezavantajlara da sahiptirler. (C.Quian, 2001)

Avantajları:

- Hafiflik
- Değiştirilebilir özellikler
- Uzun ömür (çevresel etkenlere dayanım)
- Parça sayılarının azalması ile daha düşük üretim maliyetleri
- Tamir olanaklarının fazla olması (C.Quian, 2001)

Dezavantajları:

- Fiber yerleşimine bağlı olarak enine ve çapraz yönde özelliklerin zayıf olması
- Düşük tokluk
- Matriksin hidrotermal bozulmaları (C.Quian, 2001)

Fiber takviyeli polimer kompozitler 2. Dünya Savaşından sonra sadece egzotik malzemeler olmaktan çıkmış çeşitli uygulama alanlarında kullanılan birer mühendislik malzemesi haline gelmişlerdir. Kompozitler artık uçaklarda, helikopterlerde, uzay mekiklerinde, uydularda, denizaltılarda, otomobillerde, kimyasal işlem donanımlarında, spor malzemelerinde, medikal protezlerde ve mikro elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. Kompozitler, çelik ve alüminyum gibi bilinen metalik alaşımlara göre daha düşük ağırlıkları, yüksek spesifik rijitlikleri, yüksek spesifik dayanımları, mükemmel yorulma ve korozyon dayanımları nedeniyle önemli malzemeler olarak ortaya çıkmışlardır. Kompozitlerin diğer avantajları ise yönlü mekanik özellikler ile üretilibilmeleri, düşük ısıl genleşme özellikleri ve yüksek boyut mukavemetleridir.

Özellikle ağırlık tasarrufunun önemli olduğu yerlerde kompozitlerin bu fiziksel, termal ve mekanik özellikleri birçok uygulamada metallerin yerlerini almalarını sağlamıştır.

FRP (fiber reinforced polimer) kompozitleri basit olarak, takviye fiberlerinin rijit bir polimer matriksin içerisine gömüldüğü çoklu bileşenlerden oluşan malzemeler olarak tarif edilebilirler. FRP kompozitlerinde kullanılan fiberler küçük parçacıklar şeklinde, iğnecik (whisker) şeklinde veya sürekli filamanlar şeklinde bulunurlar. Çoğu mühendislik uygulamalarında kullanılan kompozitler cam, karbon veya aramidden imal edilmiş fiberler içerirler. Nadiren kompozitler bor, Spectra® (Allied Signal firmasının ürettiği balistik amaçlı kullanılan polietilen lif) veya termoplastikler ile takviye edilirler. Çeşitli polimerler FRP kompozitler için matriks malzemesi olarak kullanılabilir ve bunlar genellikle termosetler ve termoplastikler olarak sınıflandırılırlar.

Yüksek rijitlik, dayanım ve yorulma ömrü istenen neredeyse bütün mühendislik uygulamalarında, kompozitler küçük parçacıklar veya iğnecikler şeklindeki fiberler yerine sürekli fiberler ile takviye edilirler. Sürekli fiber kompozitleri, fiberlerin malzemenin yüzeyleri (x ve y yönlerinde) boyunca hizalandığı iki boyutlu (2B) katmanlı yapılardan oluşurlar.

Kompozit malzeme üretiminin en ciddi dezavantajı üretiminin pahalı olmasıdır. Kompozit üretimi için kullanılan en yaygın yöntemlerden, elle yatırma, otoklav ve reçine transfer kalıplamada kesim, istifleme ve ön şekil verilmiş parçaların üzerine tabakaların yerleştirilmesi için çok sayıda yüksek nitelikli işçi gerekmektedir. Bazı uçak parçalarının üretiminde 60 katmandan fazla karbon kumaş ya da karbon-epoksi prepreg şeridin elle ayrı ayrı yerleştirilmesi gerekmektedir. Aynı şekilde bazı gemi gövdelerinde de 100'den fazla cam-fiberi elle yerleştirilmek zorundadır. Kalınlık yönünde bağlayıcı madde eksikliğinden dolayı bütün katmanlar tek tek istif edilmek zorundadır, buda üretim süresini uzatmaktadır. Ayrıca kalınlık yönünde fiber olmayışı nedeniyle, katmanlar yatırma sırasında birbirleri üzerinde kayabilmektedirler, bunun sonucunda da kompozit malzemede fiber yönlenmeleri bozulmaktadır. Bu problem tam veya yarı otomatik yöntemler kullanarak giderilebilmektedir fakat kullanılan donanımların pahalı olması ve üretilebilen kompozit şekillerinin geometrik olarak sınırlı olması dezavantajdır. Kompozit üretiminde bir başka problem ise reçine matriksin yüksek sıcaklıklarda bile yavaş katılaşmasından dolayı üretim oranlarının düşük olmasıdır.

Tablo 2.1 Kompozit malzemeler ile diğer alışagelmış mühendislik malzemelerinin karşılaştırılması (C.Quian, 2001)

Malzeme	ρ (g/cm ³)	E (GPa)	R _m (MPa)	R _e (MPa)	E/ ρ (MNm/kg)	R _m / ρ (Nm/kg)
SAE 1010 çelik (soğuk işlenmiş)	7,87	207	365	303	26,3	46,3
AISI 4340 çelik (su verilmiş, menevişlenmiş)	7,87	207	1722	1515	26,3	218,8
Al 6061 - T6	2,70	68,9	310	275	25,5	114,8
Al 7178 - T6	2,70	68,9	606	537	25,5	292
Ti-6Al-4V	4,43	110	1171	1068	24,8	264
L7-7 PH Paslanmaz Çelik	7,87	196	1619	1515	24,9	205,7
INCO 718 nikel alaşımı	8,2	207	1399	1247	25,2	170,6
Yüksek dayanımlı karbon-epoksi (tek yönlü)	1,55	137,8	1550	-	88,9	1000
Yüksek modüllü karbon-epoksi (tek yönlü)	1,63	215	1240	-	131,9	760,7
Fiberglas-epoksi (tek yönlü)	1,85	39,3	965	-	21,2	521
Kevlar 49 fiber-epoksi (tek yönlü)	1,38	75,8	1378	-	54,9	998,5
Bor fiber- 6061 Al (yaşlandırılmış)	2,35	220	1109	-	93,6	471,9
Karbon fiber-epoksi (yarı yönlü)	1,55	45,5	579	-	29,3	373,5

ρ : Özgül ağırlık
E: Elastiklik Modülü

E/ ρ : Spesifik Modül
R_m: Çekme Dayanımı

R_e: Akma Dayanımı
R_m/ ρ : Spesifik Çekme Day.

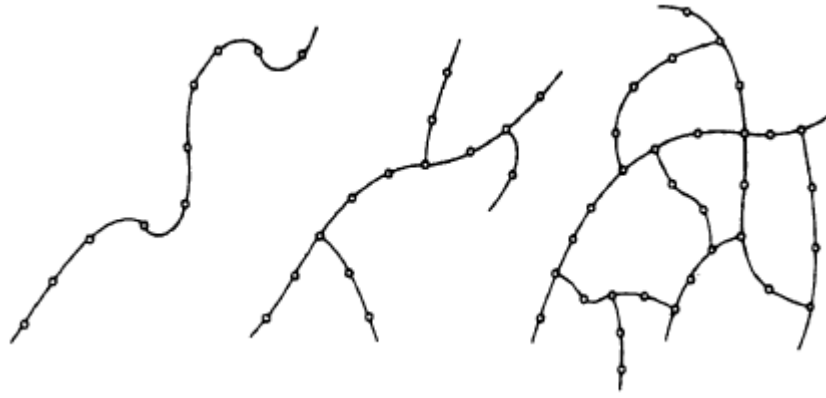
2.1 MATRİKS MALZEMELERİ

Kompozit malzemelerde polimer esaslı matrikslerin yanı sıra metal, seramik türevi malzemeler de matriks olarak kullanılmaktadır. Diğer matrikslerin kullanılmasına rağmen kompozit malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrikslerle üretilmektedir. Matriks malzemelerinin genellikle plastik esaslı olmasından dolayı kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. Metal matriksler büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için çok pahalı ve çalışmaları çok zordur. Seramik matriksler ise yüksek oranda kırılğan olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip olmamaları nedeniyle kullanım alanları yüksek ısı ile kullanılan yerlerle sınırlanmaktadır. Karbon matriksli kompozit malzemeleri üretmek çok zor ve çok pahalıdır. En çok tercih edildikleri uygulamalar yarış arabalarının ve uçakların fren balatalarıdır. (A. Enşici, 2004)

Tüm diğer matriks alternatifleri arasında ticari olarak en uygun olanı plastik matrikslerdir. Bunların arasında ise en çok kullanılanlar termoset esaslı olan polyester ve epoksi reçineleridir. (A. Enşici, 2004)

2.1.1 Polimer Matriksler

Polimerler monomer adı verilen kimyasal ünitelerin zincir şeklinde bir araya gelerek oluşturdukları sentetik malzemelerdir. Polimerler doğrusal, dallanmış ve çapraz bağlı olmak üzere 3 ana formdan meydana gelirler. Bir doğrusal polimer basitçe monomerlerden oluşmuş bir zincirdir. Dallanmış bir polimer zinciri merlerden oluşan birincil bir zincire ve buna 3 boyutta eklenmiş diğer zincirlerden oluşur. (Şekil 1.1)



Doğrusal

Dallanmış

Çapraz Bağlı

Şekil 2.1 Farklı polimer yapılarının şekilleri (C.Quian, 2001)

Polimerler yapısal olarak metallere ve seramiklerden çok daha karmaşıktır. Kolayca işlenebilirler. Diğer yandan, polimerler daha düşük çalışma sıcaklığına ve daha düşük gerilme ve modüle sahiptir. Uzun süreli ultraviyole ışına ve bazı solventlere maruz kaldığında polimer özelliklerini kaybederler. (C.Quian, 2001)

Polimerler termoplastik ve termoset olarak ikiye ayrılır. Termoplastikler çapraz bağ içermeyen dallanmış zincirlerden oluşurlar. Bu nedenle defalarca ısı ile sertliği değiştirilebilir. Naylon, polietilen, polisülfon en çok bilinen örneklerdir. Termosetler üç boyutlu bir ağ içerisinde geri dönüşümü olmayan çapraz bağlı polimerlerdir. Termosetler için örnekler epoksiler ve fenoliklerdir. (C.Quian, 2001)

Termal büzülmeden dolayı yüksek performans kompozitleri artık gerilmeler barındırırlar. Bununla birlikte, katkı maddeleri ile birlikte bu büzülme kontrol altına alınabilir. (C.Quian, 2001)

Polimerlerin ticari ve teknik bakımından önemli olmasının sebepleri şöyle özetlenebilir:

- Plastiklerle genellikle ekstra işleme gerek kalmadan karmaşık geometriye sahip parçaların kalıplanabilmesi
- Metal ve seramiklere göre düşük yoğunluğa sahip olması ve dayanım/yoğunluk oranının iyi olması,
- Yüksek korozyon direnci ve düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olması,
- Maliyet yönüyle metallerle yarış halinde olması,

- e) Hacimsel bazda genellikle polimerleri üretmek için daha az enerjiye gerek duyulması. Çünkü malzernelerin çalışma sıcaklıkları metallere göre daha düşük olması,
- f) Bazı plastiklerin ışığı yansıtması ve saydam olması bazı uygulamalarda camla bunları rekabet eder hale getirmesi,

Polimerlerin bu avantajlarına rağmen aşağıda belirtilen dezavantajları vardır. Bunlar da şöyle özetlenebilir:

- a) Metaller ve seramiklerden daha düşük dayanıma sahip olmaları
- b) Düşük elastiklik modüle sahip olmaları,
- c) Servis sıcaklığının düşük olması,
- d) Plastiklerin visko-elastik özellikler göstermesi ve dolayısı ile de sınırlı yükleme şartlarına sahip olmasıdır.

2.1.1.2 Termoplastik Matriks Malzemeleri

Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matriks olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matriks olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme işlemi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler. Yeni gelişmelerle termoplastiğin sağladığı bu artı değerleri son dönem termoset matrikslerinden 977-3 Epoksi ve 52450-4 BMI reçineleri de sağlamaktadırlar. (A. Enşici, 2004)

Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matriks olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar, bu onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur.

Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler termosetlere kıyasla hammaddesi daha pahalıdır. (A. Enşici, 2004)

Devamlı kullanım sıcaklıkları 60°C ile 245°C arasında değişebilen termoplastik reçine çeşitleri bulunmaktadır. (A. Enşici, 2004)

Tablo 2.2 Belli başlı termoplastik reçineleri ve işlem ısıları (A. Enşici, 2004)

Malzeme	Erime sıcaklık aralığı (°C)	Maksimum işlem sıcaklığı (°C)
PP	160-190	110
PA	220-270	170
PES- polieter sülfon	-	180
PEI- polieterimid	-	170
PAI- poliamid imide	-	230
PPS- polifenilen sulfid	290-340	240
PEEK-polieter eter keton	350-390	250

Başlangıçta amorf yapılı reçinelerden polietersulfon (PES) ve polieterimid (PEI) matriks olarak kullanılmaktaydı. Sonraki dönemde ise havacılık sektörü uygulamaları için çözücülere karşı dayanım önemli bir kriter olarak ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç sonrasında Polietereterketon (PEEK) ve Polifenilin sulfid (PPS) gibi yarı-kristal yapılı plastik malzemeler geliştirilmiştir. Ayrıca sınırlı oranlarda Poliamidimid (PAI) ve Poliimid gibi plastiklerde kullanılmaktadır. Bu polimerler diğer termoplastiklerden farklı olarak polimerizasyonlarını kür aşamasında tamamlarlar. En yoğun çalışmalar ise PA, PBT/PET ve PP gibi düşük sıcaklıklarda kullanılan polimerlerin üzerine yapılmıştır. Tüm bu polimerlerin haricinde ABS, SAN, SMA (StirenMaleikAnhidrit), PSU (Polisülfon), PPE (Polifenilen Eter) matriks olarak kullanılır.

Termoplastik reçineler malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarının artırılması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen

termoplastiklerin üretiminde GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics / Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak ta üretilmektedir. Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüm sürecine uygunluğundan dolayı özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir Tablo 2.2 Belli başlı termoplastik reçineleri ve işlem ısılarını göstermektedir. (A. Enşici, 2004)

Termoplastiklerin özellikleri şöyle özetlenebilir.

- Çok düşük rijitlik
- Çok düşük çekme dayanımı ve düşük sertliğe sahip olduklarından dolayı aynı zorlama için daha büyük hacimlerde kullanılmaları gerekmektedir, bu nedenle her zaman tercih edilmezler
- Daha yüksek süneklik, yaklaşık %1 ila 500 arasında değişir.
- Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşur

Fiziksel Özellikleri şöyle özetlenebilir:

- Metaller ve seramiklerden daha düşük yoğunluğa sahiptir. Polimerlerin tipik özgül ağırlıkları $1,2 \text{ g/cm}^3$ iken seramiklerin yoğunlukları $2,5$ ve metallerin yoğunlukları ise 7 g/cm^3 civarındadır
- Çok yüksek termal uzama katsayılarına sahiptirler. Kaba olarak metallerin yaklaşık 5 katı seramiklerin yaklaşık 10 katıdır.
- Düşük ergime sıcaklığına sahiptir
- Özgül ısıları metallerin 2 katı yüksek olup seramiklerin 4 katıdır
- Termal iletkenlikleri metallerden yaklaşık 3 kat daha düşüktür
- Yalıtıcı elektriksel özelliklere sahiptirler.

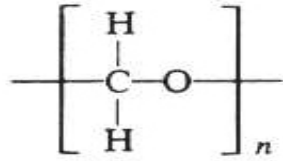
Bazı termoplastik matriks malzemelerinin özellikleri Tablo 2.3’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.3 Bazı Termoplastik matriks malzemelerinin özelliklerinin karşılaştırması (Şahin, 2000)

Özellikleri	Akrilik	ABS	PTFE (Teflon)	PA(Poliamid)
Elastiklik Modülü (MPa)	2800	2100	425	700
Çekme Dayanımı (MPa)	55	50	20	70
Uzama Miktarı (%)	5	10-30	100-300	300
Özgül ağırlık (g/cm ³)	1,2	1,6	2,2	1,14
Ergime derecesi	200	--	327	260

Termoplastikler üretilen bütün sentetik polimerlerin yaklaşık %70'ini meydana getirir ve üç tipten ticari olarak en önemlisidir. Termosetler ve elastomerler ise yaklaşık %30'unu oluşturur. Tipik olarak kullanılan termoplastikler Acetal, Acrylonitrile-butadiene-streyn (ABS), Polikarbonat (PC), Polietilen (PE), Polyester (PET), Polivinil klorür (PVC), Nylon 6.6, Polystreyn (PS), ve Polipropilen (PP)'dir. Ancak bu üç tür polimerler bazen birbiri içerisine girebilir termoplastik olan belli polimerlerden termosetler de yapılabilir. (Şahin, 2000)

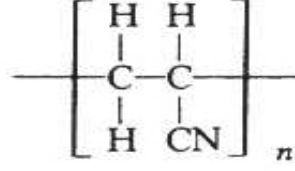
Asetal: formaldehitten hazırlanır, ticari ismi polioksimetilen (POM)'dir. Yüksek rijitlik, dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahiptir. Bunun yanında ergime noktası yüksek (180°C) olup, nem alma kapasitesi düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı çinko ve pirinç ile yarış halindedir. Bazı otomotiv parçaları, kapı kolları, pompalar ve benzer parçaların yapımında kullanılır. (Şahin, 2000)



Şekil 2.2 Poliasetalin moleküler yapısı

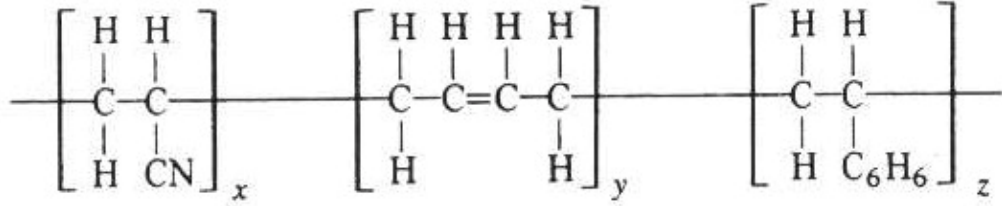
Akrilik: Polimetilmetaakrilik (PMMA) ile sembolize edilir. Lineer polimer olduğu için şekilsizdir. Bu önemli özelliği saydam olarak optik uygulamalarda cam ile yarış halinde olmasını sağlar. Örneğin otomobil stop lambaları lensleri ve uçak camlarında kullanılır. Camla karşılaştırıldığında dezavantajı ise çok düşük çizilme direncine sahip olmasıdır.

Akriliğin diğr önemli bir özelliğı de tekstik için fiberlerde kullanılmasıdır. Buna Poli akro nitrile (PAN) örnek olup ticari ismi de Du Pont ‘dur. (Şahin, 2000)



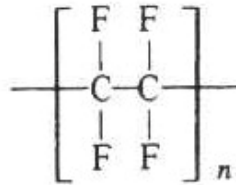
Şekil 2.3 Poliakrilonitril’in moleküler yapısı

Akronitril-Butadiene-Streyn (ABS): Mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. ABs iki fazlı olup 1 fazı sert kopolimeri (Streyn-acrylonitrile) iken diğr fazı ise Streyn-butadiene kopolimer olup kauçuktur. Üç farklı başlama maddeleri değışik oranlarda karıştırılır. (Şahin, 2000)



Şekil 2.4 ABS’nin moleküler yapısı

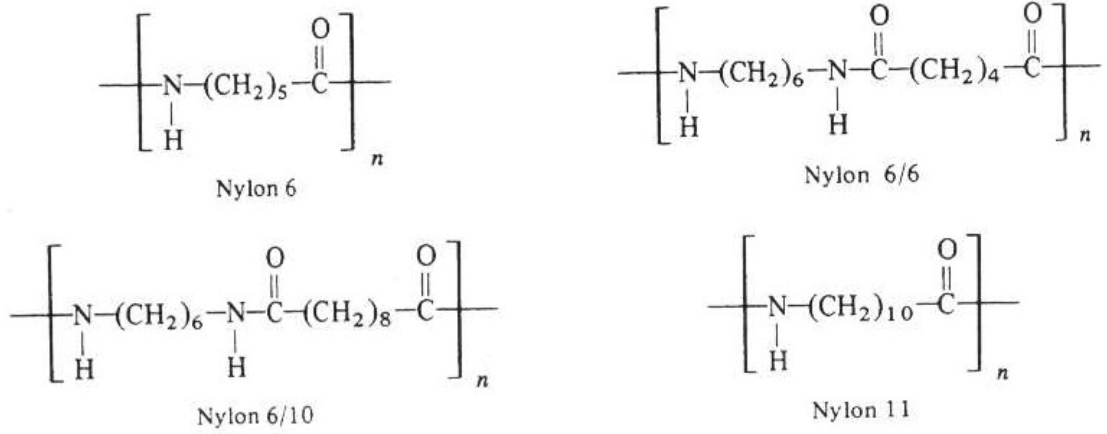
Politetra Fluorethylene (PTFE): Teflon olarak bilinir ve çevresel ve kimyasal etkilere karşı aşırı dirençlidir. Sudan etkilenmez. Elektrik ve ısı direnci iyi ve çok düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Yağlanamayan parçaların yapımı için uygundur. Kimyasal aygıtlar ile gıda sanayinde uygulama alanı bulmuştur. (Kınıkoğlu, 2001)



Şekil 2.5 PTFE’nin moleküler yapısı

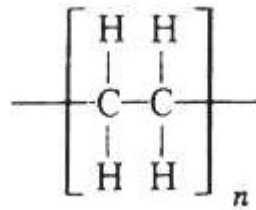
Poliamid (PA) : En önemli PA ailesi naylon olup naylon 6 ve naylon 6.6 olarak iki kalitesi vardır. Naylon dayanıklı olup elastiklik modülü yüksek ve abrasif aşınmaya karşı dirençlidir. Kendi kendini yağlama özelliğine sahiptir. 125°C civarında mekanik

özelliklerini muhafaza eder. Önemli bir dezavantajı ise suyu emmesidir. Dişli, yatak vb parçaların yapımında kullanılmaktadır. İkinci grup poliamidler aramidlerdir. Ticari ismi Kevlar olup fiber takviyeli kompozitler için önem kazanmaktadır. (Kınıkoğlu, 2001)



Şekil 2.6 Naylonların moleküler yapıları

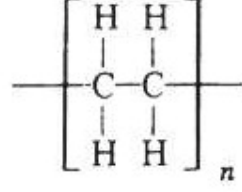
Polyesterler (PET): bunlar bağ durumuna göre termoplastik ve termoset de olabilirler. Bu yapı ya şekilsiz ya da yaklaşık %30 kristalleşmiş olabilir. Hızlı soğutma ile şekilsiz yapı oldukça saydamdır. Şişirme türü küçük kaplar, fotoğrafik filmler ve manyetik bantlar bunların uygulama alanlarıdır. (Şahin, 2000)



Şekil 2.7 Termoplastik polyesterin moleküler yapısı

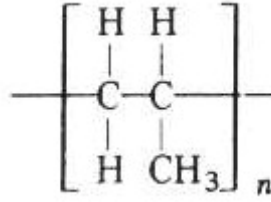
Polietilen (PE) : Düşük nem emme kapasitesine sahiptir ve deformasyon direnci iyidir. Düşük maliyet, kimyasal kararlılık ve kolay işlem görmesi PE'yi cazip yapar. Düşük ve yüksek yoğunluklu olmak üzere 2 türü vardır. Tabaka, film , tel yalıtkanı alanında uygulanmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) daha yüksek kristallik ve

lineerliğe sahip olup 0,96g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Şişeler, borular vb parçaların yapımında kullanılır. (Kımkıoğlu, 2001)



Şekil 2.8 Polietilenin moleküler yapısı

Polipropilene (PP): Enjeksiyon kalıplarında önemli en hafif plastiktir. Dayanım / ağırlık oranı yüksek olup YYPE ile karşılaştırılabilir. Yüksek ergime derecesine sahip olması belli uygulama alanında kullanılmasına müsaade eder. (Tablo 2.4)



Şekil 2.9 Polipropilenin moleküler yapısı

Polivinil Klorür (PVC) : Cam geçiş sıcaklığını azaltır. Rijit borular, su boruları, tel ve kablo yalıtımı, film, kalıplar, yiyecek paketlenme gibi alanlarda kullanılır. PVC ısı ve ışığa karşı kararsızdır. (Şahin, 2000)

Tablo 2.4 Propilen ve diğer polimerlerin özelliklerinin karşılaştırılması
(Ersoy, 2007)

Özellikleri	Polietilen	PA 6.6	Polipropilen
Elastiklik Modülü (MPa)	1000	700	1400
Çekme Dayanımı (MPa)	30	70	35
Uzama Miktarı (%)	10-1200	300	10-500
Isıl iletkenlik (W/mK°)	0,48	0,25	0,12
Isıl genleşme katsayısı ($10^{-5} \times \text{m}/^{\circ}\text{C}$)	60-110	70-120	80-100
Özgül ağırlık (g/cm ³)	0,95	1,14	0,90
Ergime derecesi (°C)	130	260	175

Tablo 2.5 Propilenin çeşitli örgü tiplerinde mekanik özellikleri (Ersoy, 2007)

Matriks	Takviye	Çekme Dayanımı, (MPa)	Elastiklik M. (GPa)	Darbe Dayanımı (J/cm ²)
PET	Çapraz Örgü	220	13,4	9,7
PP	Çapraz Örgü	270	16,2	11,1
PP	Tek yönlü kumaş	275	7,6	
PP	Hasır Örgü	120	5	7,8

2.1.1.3 Termoset Matriks Malzemeleri

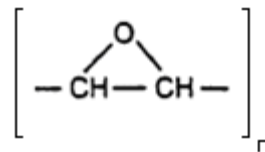
Termoset plastikler kompozit malzeme matriksleri olarak en çok kullanılanlardır. Termosetler, polimerleşme ile iki kademede elde edilir. Birincisi malzemeyi ihtiva eden monomerler lineer zincirlerin bir araya getirdiği reaktörde başlarken ikinci polimerleşme işlemi kalıplama işlemi esnasında oluşur, sıcaklık ve basınçla reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirleri üç boyutlu yapıya sahip olurlar ve rijittirler. Termosetlerin polimerleşme süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. (Şahin, 2000)

Çoğu termoset matriks sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye baslar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hâl alır ve kullanılamaz duruma gelir. Dondurucu içinde olmak şartıyla raf ömürleri ise 6 ila 18 ay arasında değişmektedir. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve olağandışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadır. Epoksi ve polyesterler fiber takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matriks malzemeleridir. Bunların fiziksel ve mekaniksel özellikleri, moleküllerin büyüklüğüne, yoğunluğuna ve çapraz bağın uzunluğuna bağlıdır. Termosetlerin dayanımları termoplastiklere göre daha yüksektir. (Şahin, 2000)

Devam eden kısımda endüstride en çok kullanılan matriksler ve genel özellikleri yer almaktadır, bunlardan kompozit sektöründe matriks malzemesi olarak en çok kullanılan ikili epoksi ve polyesterlerdir.

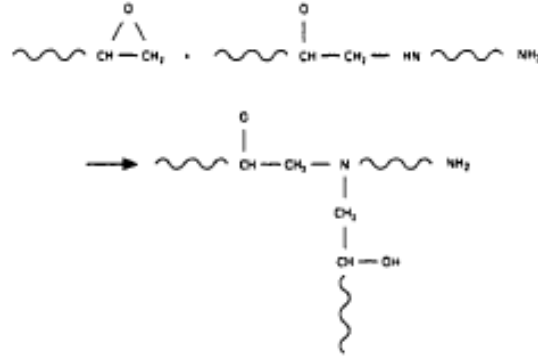
1.1.1.3.1 Epoksiler

Epoksi reçine terimi monomerleri ve katılmış reçinelerin ikisini birden içermektedir. Monomerler isimlerini aldıkları reaktif epoksi gruplarını içermektedir. (Reinforced Plastics, 2003)

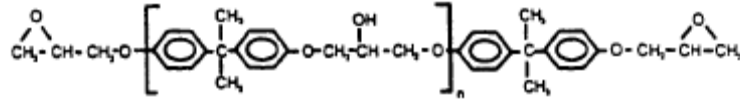


Şekil 2.10 Epoksi Grubu

Bu epoksi grubu katı yüzeylere iyi yapışma sağlayan çapraz bağlanma kabiliyeti yüksek iki karbon ve bir oksijenden oluşan üç elemanlı bir halkadan oluşmaktadır. İlk epoksi 1891 yılında sentezlenmesine rağmen bilinen endüstriyel epoksi 1940'da kullanılmaya başlanmıştır. Piyasaya çıkan ilk epoksi bifenol A ve epiklorohidrin reaksiyonunun ürünüydü, şunda da epoksi üretimi için en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Şekil 1.3'de epoksinin tipik amin katılaşma ajanı (dietilen triamin. DETA) ile nasıl tepkime verdiğini ve nasıl çapraz bağlı ağ oluşturduğunu göstermektedir. Birçok epoksi sistemi farklı ihtiyaçları karşılamak için geliştirilmiştir. En çok kullanılan epoksi reçinesinin yapısı resim Şekil 1.10'da gösterilmiştir. (C.Quian, 2001)



Şekil 2.11 Epoksi DETA ile reaksiyona girmesi ve çapraz bağlı ağ oluşturması.



Şekil 2.12 En çok kullanılan epoksinin (DGEBA) yapısı

Diğer endüstriyel polimerle karşılaştırıldığında, epoksinin pazardaki yeri fiyatının pahalı olmasından dolayı görece küçüktür. İleri kompozitler gibi değeri yüksek uygulamalarda kullanılmaktadır. (C.Quian, 2001)

Cam veya karbon fiber ile epoksi birleşimi mükemmel mekanik dayanıklılığa sahiptir. Bu yüzden uzay ve havacılık teknolojilerinde ve denizcilik alanında çok kullanılır. Genellikle iki elemanlı olan epoksiler, diğer termoset plastikler gibi belli süre sonra sıvı hâlden katı hâle geçer ve takip eden bir iki hafta içinde kür alarak final sertliğe ulaşır. (Schwartz, 1996)

Epoksi reçineler olgunlaştıklarında (çapraz bağlandıklarında) yan ürün açığa çıkarmazlar ve bu nedenle olgunlaşma büzülmesi gösterirler. Diğer malzemelerle kolaylıkla yapışır ve kimyasal etkilerle çevre koşullarına karşı iyi dirence sahiptirler, mekanik özellikleri ve elektrik yalıtım özellikleri iyidir. (Kınıkoğlu, 2001)

Yapı ve özellikler:

Sıvı haldeki olgunlaştırılmamış epoksi reçinelerin düşük molekül ağırlığı onlara işleme sırasında üstün molekül hareketliliği verir, bu özellik sıvı epoksi reçinelerin, yüzeyleri çabucak tam olarak ıslatabilmesine imkân verir. Güçlendirilmiş malzemeler için ve yapışkan olarak kullanılan epoksilerde bu ıslatma etkisi önemlidir. Elektrik devrelerinin kaplanması uygulamalarında son biçimde dökülebilmek yeteneği de önem taşır. Epoksi gruplarının aminler gibi olgunlaştırma maddeleriyle yüksek tepkinliği, yüksek derecede çapraz bağlanma, iyi bir sertlik, dayanım ve kimyasal direnç meydana getirir. Olgunlaştırma işlemi sırasında yan ürün oluşmadığından sertleşme esnasında büzülme azdır. (Kınıkoğlu, 2001)

Epoksi reçineler genel mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 2.6 Epoksi reçinelerin genel mekanik özellikleri

Yoğunluk	1,1-1,5 g/cm ³
Çekme Modülü	3-5 GPa
Çekme Dayanımı	60-80 MPa
Eğilme Dayanımı	100-150 MPa
Kopma Uzaması	% 2-5
Kesme Dayanımı	30-50 MPa
Çalışma sıcaklığı	290°C

Epoksi reçineleri yukarıda da belirtilen özellikleri sayesinde yüksek performans vermektedirler. Ancak bu performans değerlerine ulaşmak için göreceli olarak yüksek sıcaklıkta (50-100°C) çok uzun dönüşüm süreçlerinden ve kür sürelerinden geçmeleri gerekmektedir. (Kınıkoğlu, 2001)

Epoksi reçinelerin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Polyesterlere göre çok daha iyi mekanik özellikler (çekme, eğme, basma, darbe)
- Yüksek sıcaklıklarda kullanım (150–190°C' ye kadar, sürekli kullanım)
- Mükemmel kimyasal dayanım
- Kalıplama ve kür sırasında düşük büzülme
- Takviye elemanlarını çok iyi ıslatabilme
- Metalik malzemelerle mükemmel yapışma

Dezavantajları ise şu şekildedir;

- Uzun polimerleşme zamanı
- Yüksek maliyet, 5–25 \$/kg
- Üretim esnasında alınması gereken önlemler
- Çatlamaya karşı hassasiyet

2.1.1.3.2 Polyester

Özellikle denizcilik ve inşaat alanında en çok kullanılan termoset reçinedir. Kompozit malzemelerde kullanılan 2 tür polyester reçine vardır; daha ekonomik olan ortoftalik ve suya dayanım gibi daha iyi özelliklere sahip olan isoftalik polyester. Polyester reçinelerini polimerleşme süreçlerinin tamamlaması için katalizör ve hızlandırıcı olarak adlandırılan ek maddelere ihtiyaç duyarlar. (Kınıkoğlu, 2001)

Reçinelerin avantaj ve dezavantajları;

- Kolay kullanım
- Çok düşük maliyet, 0,5 – 1 \$/kg
- Sertleşme sırasında yüksek oranda çekme
- Zehirli Sitiren gazı yayma
- Orta mekanik özellikler
- Kısa raf ömrü

Tablo 2.7 Epoksi ve Polyesterin mekanik özelliklerinin karşılaştırması (Şahin, 2000)

Mekanik Özellik	Polyester	Epoksi
Çekme Dayanımı (MPa)	40–90	55–130
Elastiklik Modülü (GPa)	2,0–4,4	2,8–4,2
Eğilme Akma Dayanımı (MPa)	60–160	125
Çentik Darbe Dayanımı (Izod) (J/m)	10,6–21,2	5,3–53
Yoğunluk (g/cm ³)	1,10–1,46	1,2–1,3

2.1.1.3.3 Vinil ester

- Son derece yüksek kimyasal/çevresel dayanım gösterirler
- Polyesterden daha yüksek mekanik özelliklere sahiptirler
- Aşırı sitiren içerir
- Polyesterden daha pahalıdır, 4 – 7 \$/kg
- İyi özellikler için ikincil kür işlemi gerekir.
- Sertleşme sırasında yüksek oranda çekme gösterirler (Şahin, 2000)

2.1.1.3.4 Bismaleimid (BMI)

Uçak motorlarında ve yüksek ısıya maruz kalan parçalarda kullanılır

- Son derece yüksek ısı dayanımı, 250°C
- Çok yüksek maliyet, 80 \$/kg (Şahin, 2000)

2.1.1.3.5 Fenolikler

Ticari ismi bakalit olup tahta unu, selüloz fiberler ve kalıplama malzemesi olarak kullanılan mineraller gibi dolgu malzemeleri ile her zaman birleştirilir. Bunlar gevrek fakat ısı, kimyasal ve boyutsal kararlılıkları iyidir. Renk verme ise sınırlıdır koyu renkleri vermek mümkündür. Kalıplama üretiminde sadece toplam kullanılan fenoliklerin %10'unu oluşturulur. Diğer uygulamalar tahta yapıştırıcısı, baskı devre plakaları, abrasif volanları ve fren balatası için bağlama maddesidir. (Kımkıoğlu, 2001)

Ateşe dayanım ihtiyacı olan yerlerde kullanılır. Kür işleminin buharlaşma özelliği hava boşlukların oluşmasına ve yüzey kalitesinin düşmesine neden olur. Uçakların iç bölümlerinde, deniz araçlarının motorlarında ve demiryollarında kullanılır. (Kınıkoğlu, 2001)

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Düşük maliyet, 4 – 8 \$/kg
- Son derece zararlı
- Oldukça kırılğan
- Düşük yüzey kalitesi

2.1.1.3.6 Silikon

İnorganik ve yarı-inorganik polimer molekül yapılarındaki tekrarlanan siloksane bağının varlığı farklılık gösterir. 3 şekilde üretilebilir. Bunlar

1. Yağlayıcı
2. Elastomerler
3. Termosetlerdir

Yağlar, düşük moleküler ağırlıkta polimer olup yağlama parlatma, mum yapımında kullanılır. Termoset silikon çapraz bağlıdır. Boyama, parlatma, kaplama ve laminatlarda kullanılabilir. (Kınıkoğlu, 2001)

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Yüksek ısılarda ürün özelliklerini koruyabilme
- Kür işlemi için yüksek ısı gereklidir
- Maliyeti 30 \$/kg' dan az

2.1.1.3.7 Amino Reçineleri

İki termoset polimerden üre formaldehit ve melamin formaldehitten oluşan amino grupları ile karakterize edilir. Belirli uygulamalarda, özellikle de çok katlı ve parçacık plaka yapıştırıcılarda kalıplama bileşeni olarak kullanılabilir. Ancak fonelikten biraz pahalıdır. Kalıplama malzemesi olarak kullanıldığı zaman fazla oranda dolgu maddesi ve selüloz içerirler.

2.1.2 Elastomerler

Elastomerler termoset plastikler gibi çapraz bağlı olan uzun zincir moleküllerinden oluşur. Bunlar, çok düşük gerilmelere maruz kaldığı zaman büyük elastik deformasyon yapma yeteneği olan plastiklerdir. Bazı polimerler % 500 ve daha fazla uzama yaparlar ve tekrar orijinal şekline dönerler. Çok meşhur olan plastikler ise elbette kauçuktur. Kauçuk iki kategoriye ayrılabilir. (Kınıkoğlu, 2001)

- a) Doğal kauçuk: Belli biyolojik bitkilerde çıkartılan kauçuktur.
- b) Sentetik polimerler: Termoset ve termoplastik polimerler için kullanılır ve benzer polimerizasyon işlemleri ile üretilir

Daha fazla çapraz bağlanma sağlanması halinde elastomerler daha rijit olur ve elastik modülü daha lineerdir. (Şahin, 2000)

2.1.3 Seramikler

Seramikler, metal ve metal olmayan elemanlardan meydana gelen inorganik bileşikler olup doğada kayaların dış etkilere karşı parçalanması sonucu oluşan kaolen, kil vb. maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Bunlar farklı şekilde silikatlar, alüminatlar ile birlikte metal oksitlerinden oluşurlar. Genelde bunlar ya iyonik veya iyonik+kovalent bağ karışımına sahip oldukları için çok kararlıdır Bu nedenle de çok sert, gevrek ve yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Seramik malzemeler endüstriyel fırınlar tuğla, betondan elektronik ve optik araçlarda kullanılan yeni malzemelere kadar geniş bir alanı kapsarlar. Son seramik gurubu ince seramik malzemeler olarak adlandırılır. Camlar kimyasal olarak çok taraflı fakat cam geçiş sıcaklığından geçerken dayanımını kaybederler ancak bunlar da kırılmandır. Bunun anlamı küçük yüzey hataları varlığı kopma gerilimini hızlı şekilde azaltırlar. Keza

termal direncide düşük ve iyi birer yalıtıcıdır. Seramikler, gevrek olduklarından mikro yapısal kusurları çentikler ve mikro-çatlaklar gerilme yığılmasına yol açtıklarından çekme dayanımı düşüktür. Basma dayanımları ise çok yüksektir. Ancak mikro yapısal kusurları azaltacak şekilde çok ince çaplı fiberler üretilerek daha dayanıklı kompozit üretmek mümkün olmaktadır Bu malzemelerde kayma direnci çok yüksek olduğundan plastik şekil verme olmaksızın gevrek tarzda kırılırlar. (Ersoy, 2001)

Bu seramik malzemelerin yüksek sıcaklık özellikleri iyidir. Kompozit yapmak için böyle seramik malzemeler takviye elemanı olarak kırılabilirliği azaltmak için kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan seramik mühendislik malzemeleri obruk silisyum karbür, silisyum nitrür ve alüminyum oksit gösterilebilir. Bu seramik mühendislik malzemeleri ile kompozit malzeme oluşturulduğunda yaklaşık 1200°C' ye kadar kullanılabilir. Karbon matris içine gömülen karbon fiberlerden oluşan kompozit malzemeler ise yüksek sıcaklıklarda yaklaşık 3000°C'de olağanüstü özelliklere sahiptir. (Ersoy, 2001)

Tablo 2.8 Eş-Yönlü Bazı İleri Kompozitlerin Özellikleri

Özellik	Bor/ Epoksi	Bor/ Poliamid	S-Cami/ Epoksi	Grafit/ Epoksi	Aramid/ Epoksi	Grafit/ epoksi
Takviye içeriği (% h)	50	49	72	70	54	60
Yoğunluk (g/cm ³)	2,02	1,99	2,13	1,61	1,36	1,58
Çekme Dayanımı (MPa)						
Boyuna	1370	1040	1290	1500	1190	1520
Enine	56	11	46	40	11	55
Elastiklik Modülü (GPa)						
Boyuna	201	221	61	145	84	110
Enine	22	14	25	10	4,8	15
Basma Dayanımı (MPa)						
Boyuna	1600	1090	850	1700	290	1240
Enine	123	63	162	246	65	248
Tabakalar arası Kesme Gerilmesi (MPa)	63	26	45	68	28	69
Termal Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ / °C)						
Boyuna	6,1	4,9	3,8	0,02	-2,88	0,72
Enine	30,4	28,4	16,7	22,5	56,3	29,5

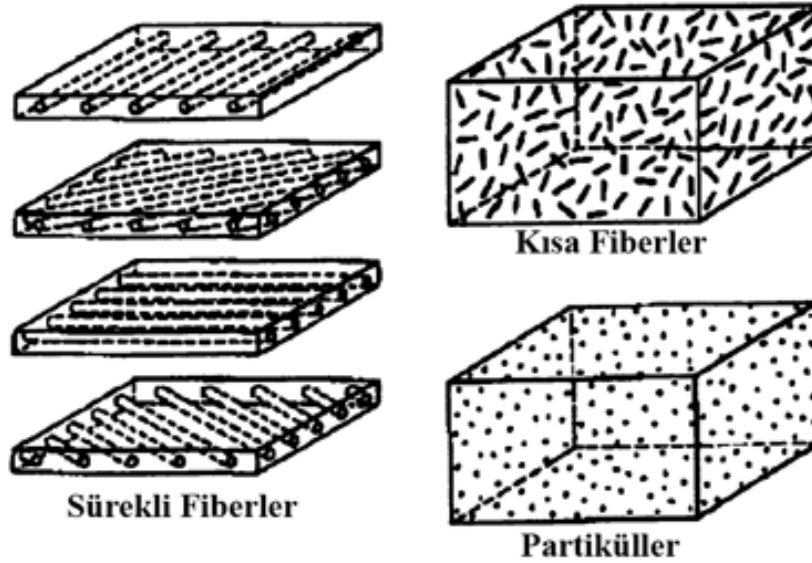
2.2 TAKVİYE ELEMANLARI

Takviye elemanları kompozitlere rijitlik, dayanım, sertlik vb gibi mekanik özellikleri verirler. Kompozit yapı üzerindeki gerilmelerin büyük bir kısmını taşıyan elemanlardır. Bu takviyeler ayrıca termal özellikler, yanmazlık, aşınma dayanımı, elektriksel özellikler gibi bazı fiziksel özellikleri de geliştirme imkânı verirler. Takviye elemanları için aranan özellikler şunlardır; yüksek mekanik özellikler, düşük yoğunluk, reçineler ile iyi uyumluluk, üretim kolaylığı, düşük maliyet vb. Kullanım sahasına göre takviye elemanları, bitkisel, mineral, yapay, sentetik vb. kaynaklı olabilirler. Takviye elemanları genelde fiber veya türetilmiş formlardan oluşur ve kompozit malzemenin hacimsel olarak %30 ile %70'ini oluştururlar.

Fiber takviyeler çeşitli endüstriyel formlarda bulunurlar: (Schwartz, 1996)

- Doğrusal formlar (iplik, tel, fitil)
- Kumaşlar(dokunuş kumaşlar, matlar)
- Çok yönlü formlar (karmaşık kumaşlar, önformlar)

Mekanik özellikleri yüksek özel kısa fiberler ve iğnecik şeklindeki (whisker) takviyeler geliştirilme aşamasındadır. Kullanımları üretim zorlukları nedeniyle sınırlıdır. Fiberler sürekli veya süreksiz şekilde takviye elemanı olarak kullanılabilirler. (Schwartz, 1996)



Şekil 2.13 Kompozit takviye elemanı tipleri (Ochteau, 2001)

2.2.1 Fiber Formları

Fiberler birkaç mikron çapında üretilmektedir, bu nedenle tek başlarına kullanılamazlar. Bu yüzden pratik kullanım için iplik gibi tutamlar (strand) halinde bir araya getirilirler. Tek bir fiber genellikle temel filaman veya mono filaman şeklinde isimlendirilir. Monofilamanlarda bir araya gelerek iplikleri oluşturur. Sürekli veya süreksiz iplikler birim uzunluktaki ağırlığı ifade eden “doğrusal yoğunlukları” ile karakterize edilirler. Doğrusal yoğunluk ipliklerin inceliğinin bir ölçüsüdür, çapa ve mono filaman sayısına bağlı olarak değişir. Doğrusal yoğunluk, 1000 metre uzunluğundaki ipliğin ağırlığını ifade eden "tex" numarası ile verilir. (Schwartz, 1996)

$$1 \text{ tex} = 1 \text{ g/km veya } 1 \text{ tex} = 10^{-6} \text{ kg/m}$$

2.2.1.1 Kumaşlar ve Dokumalar

İplikler, matlar, dokunmuş kumaşlar veya bant gibi çok çeşitli kumaşlar elde etmek için kullanılırlar. (Schwartz, 1996)

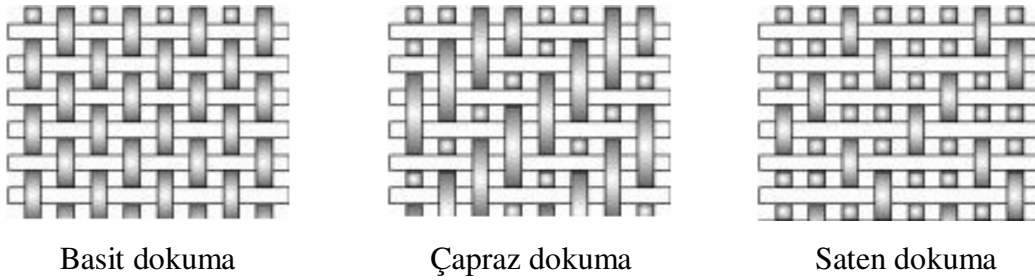
2.2.1.2 Hasırlar

Hasırlar, ipliklerin bir düzlem üzerinde rastgele yerleştirildiği plakalardır. Fiberler birbirleri ile yüksek veya düşük çözünürlüğü olan bir bağlayıcı madde ile bağlırlar. Özellikle seçilmiş bir yönlendirme olmaması hasır yüzeyinde izotropik mekanik özelliklere neden olur.

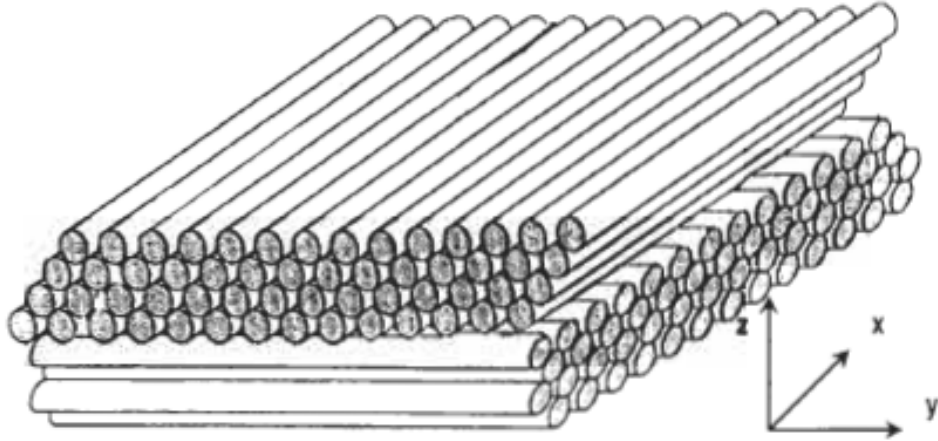
Kırpılmış ipliklerden yapılmış hasırlar ile sürekli ipliklerden yapılmış hasırlar arasındaki farkı deforme edilebilme özelliklerinin seviyesi belirlemektedir. Kırpılmış ipliklerinden yapılmış hasırlar zorlukla deforme edilebilmesine karşın, diğer hasırlarda her yönde düzgün bir gerilmeye maruz bırakıldığında karmaşık kavisler elde edilmektedir. Bu sürekli ipliklerden yapılmış hasırlar kapalı kalıp sisteminde derin kalıp boşluklarını doldurması için ve karmaşık yapıların basınçlı, enjeksiyonla veya vakum kalıplama yöntemi ile üretilmesi için uygundur. (Schwartz, 1996)

2.2.1.3 Dokunmuş Kumaşlar

Bir dikey iki boyutlu dokunmuş kumaş birbiri içerisine geçmiş ipliklerden oluşur.(Şekil 2.13). Boyuna uzunlukta olan gruba “çözüğü ipliği” enine olan gruba ise atkı denir. Her sarım belli bir çözgü veya atkı sayından sonra tekrar eder. Kumaşlar içerdikleri fiberlerin tipine göre (iplik, fitil) , doğrusal yoğunluklarına ve örgü biçimine göre değişiklik gösterirler. Değişik sarım tipleri, her iki yönde tekrar eden şablon ile tanımlanır. (Schwartz, 1996)



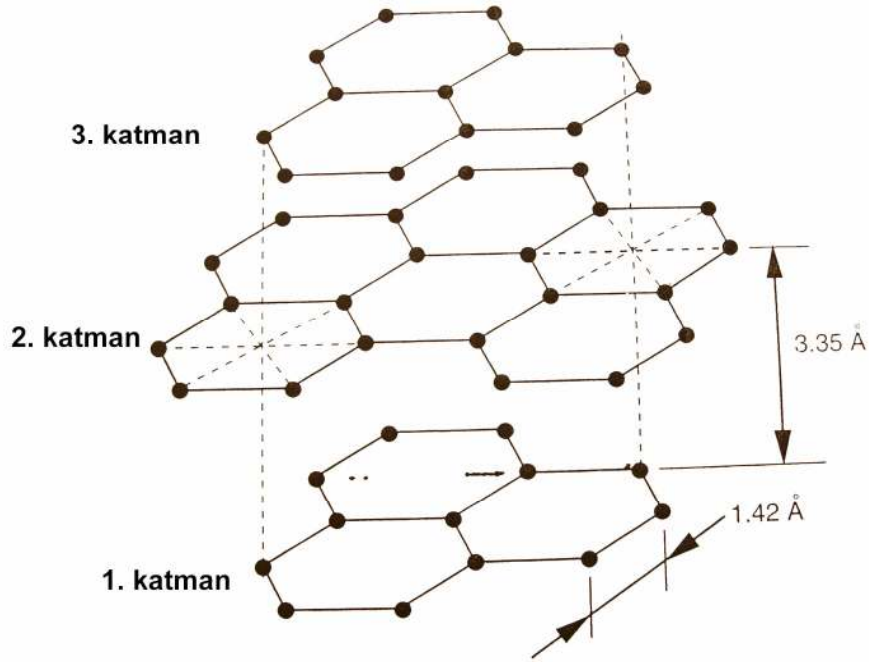
Şekil 2.14 Fiber dokuma türleri (Schwartz, 1996)



Şekil 2.15 2 Boyutlu katmanlardan oluşan fiber yapısının şematik gösterimi

2.2.2 Karbon Fiberler

Karbon lifi ilk defa karbonun çok iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmiştir. Cam fiberin metale göre sertliğinin çok düşük olmasından dolayı sertliğin 3–5 kat artırılması çok belirgin bir amaçtı. Karbon fiber epoksi matriksler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon fiber üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbon fiberlerin çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon fiberin üretimi çok pahalı olduğu için ancak uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır. (Bauccio, 1987)



Şekil 2.16 Grafit yapısı (Schwartz, 1996)

Grafit karbonun paralel kristalografik düzlemlerde yerleştiği hegzagonal bir yapıya sahiptir. Bu düzlemler karbon atomunun komşu düzlemin altıgeninin ortasında olacak şekilde yerleşmişlerdir. Komşu düzlemlerdeki karbon atomları arasındaki bağın zayıf olması grafitin çok iyi elektriksel ve termal iletkenliğe sahip olmasını sağlar. Buna karşılık aynı düzlemlerde bulunan karbon atomları arasındaki bağlar çok kuvvetlidir ve grafitte kristalografik düzleme paralel yönde yüksek mekanik özellikler sağlar. Bağın

teorik elastiklik modülü 1200 GPa ve çekme direnci 20000 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek dayanımları elde edebilmek için fiber aksisine paralel yönde kristalografik düzlemleri oluşturmaya çalışmak birçok imalat yönteminin gelişmesine neden olmuştur. Fakat endüstriyel karbon fiberler kristal yapı içerisindeki mevcut boşluklar nedeniyle bu teorik mekanik değerlere ulaşmamaktadır. Fakat fiberlerin karakteristik özellikleri yine de yüksek olmaktadır, şu anda karbon fiberlerin ulaşabildiği en yüksek mekanik mukavemet değerleri 650 GPa elastiklik modülü ve 4000 MPa çekme dayanımıdır. (Schwartz, 1996)

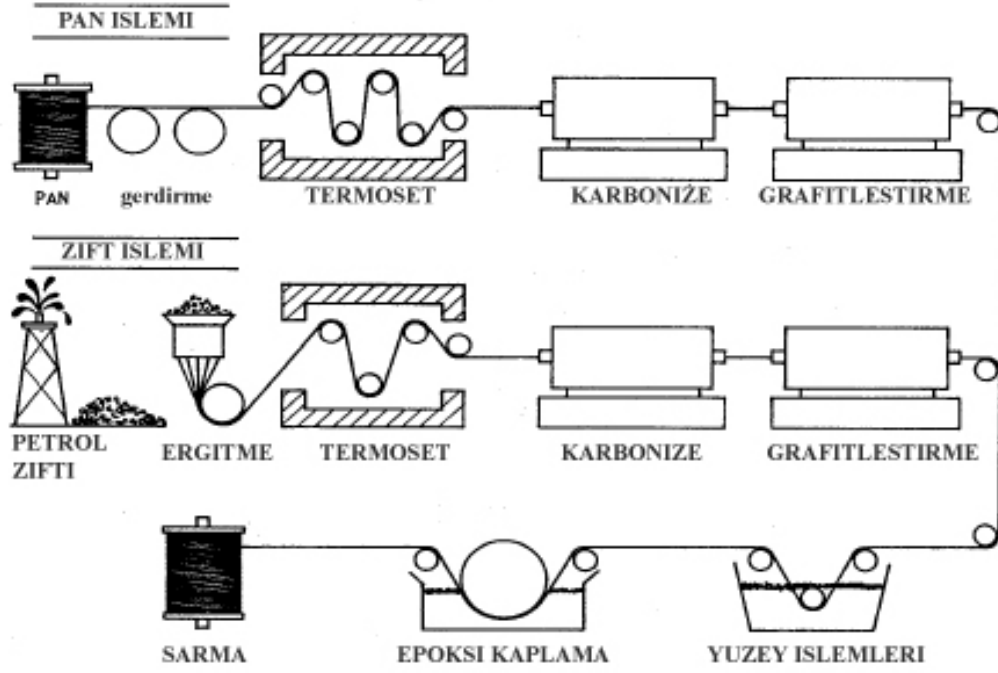
2.2.2.1 Karbon Fiberin Üretim Süreci

Karbon fiberler çoğunlukla iki malzemeden elde edilir;

- Zift
- PAN (Poliakrilonitril)

Zift tabanlı karbon fiberler göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. PAN tabanlı karbon fiberler kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir. (Schwartz, 1996)

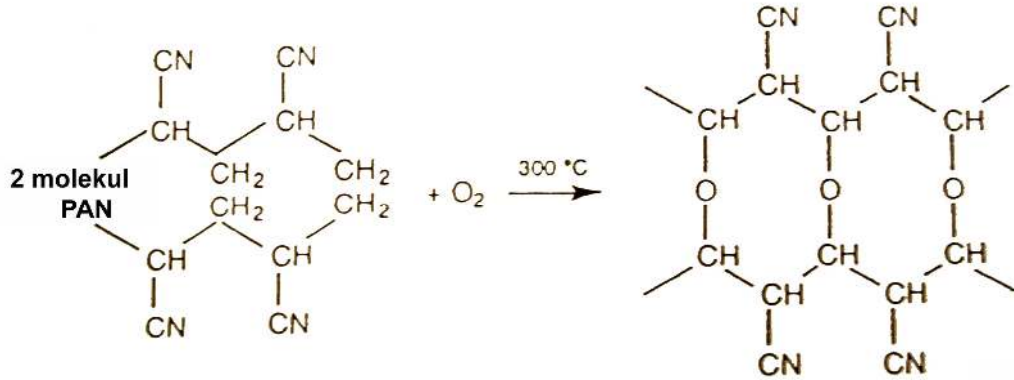
Bu fiberler ile önce gerdirilerek termoset işlemlerle 400°C' nin üzerine ısıtılır. İlk aşama organik malzemenin oksidasyonuna neden olur. Daha sonra malzeme yaklaşık olarak 800°C' de vakum altında karbonizasyon işlemine tabii tutulur ve karbon dışındaki empüritelerden arındırılır. Malzemenin karbonizasyonundan sonra fiberler %50 ile %100 arasında gerdirilerek 1100° C ile 3000° C arasında ısıtılarak grafitleştirme işlemi yapılır. Son olarak fiberler yüzey işlemlerinden geçerler ve epoksi-fiber bağının güçlenmesini sağlamak amacıyla epoksi kaplanırlar. (Schwartz, 1996)



Şekil 2.17 PAN ve zift proseslerinin şematik gösterimi (Hong, Chun ve Carvajal, 2001)

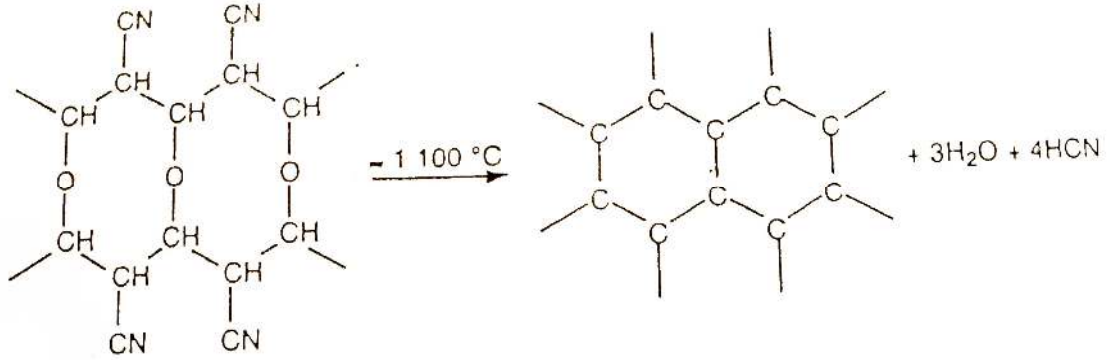
PAN karbon fibre birbirini takip eden dört aşamada dönüştürülmektedir;

1. Oksidasyon: Bu aşamada fiberler hava ortamında 300 derecede ısıtılır. Bu işlem, fiberlerin yapısındaki hidrojenin ayrılmasını daha uçucu olan oksijenin eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için fiberler kesilerek grafit teknelerine konur. Polimer, merdiven yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında fiberin rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyah olur. (Schwartz, 1996)



Şekil 2.18 Karbon fiberlerin oksidasyon işlemi (Schwartz, 1996)

2. Karbonizasyon: Fiberlerin yanıcı olmayan atmosferde 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşma sağlanması aşamasıdır. Yapıdaki su ve CH uzaklaştırılarak zincirin tamamen karbon içermesi sağlanır. (Schwartz, 1996)



Şekil 2.19 Karbon fiberlerin karbonizasyon işlemi (Schwartz, 1996)

Tablo 2.9 Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen fiberlerin sınıfını belirler (Schwartz, 1996)

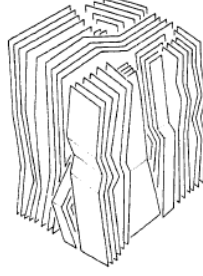
Karbonizasyon Isısı (°C)	1000'e kadar	1000–1500	1500- 2000	(Grafit) 2000 +
Karbon fiber sınıfı	Düşük modül	Standart Modül	Orta modül	Yüksek modül
Elastik modül (GPa)	200'e kadar	200 – 250	250 – 325	325 +

3. Yüzey İyileştirmesi: Karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve fiberin kompozit malzemenin reçinesine daha iyi yapışabilmesi için elektrolitik banyoya yatırılır. (Schwartz, 1996)

4. Kaplama: Fiberleri sonraki işlemlerden (prepreg gibi) korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Fiberler reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır. Kompozit malzemede kullanılacak olan reçine ile fiber arasında bir ara yüz görevi görür. (Schwartz, 1996)

Tipik bir karbon fiberin yapısı Şekil 1.18'de görülmektedir. Fiber yüzeyi genellikle matriks ve fiber arasındaki adhezif bağlantının güçlü olması için oksitlendirilir. Bu işlemler sodyum hipoklorid veya nitrik asit ile sıvı kimyasal yöntemlerle yapılır. Bu işlemlerin karbon fiber üzerinde iki etkisi bulunmaktadır; birincisi en dıştaki zayıf fiber

yüzeyi kaldırılmakta, ikicisi ise dış yüzeyde reçine matris ile etkileşime girecek olan oksijen grupları ilave edilir. (Schwartz, 1996)



Şekil 2.20 Karbon fiberin iç yapısı, karbon atomlarının oluşturduğu yüzeyler
(Schwartz, 1996)

2.2.2.2 Karbon Fiberlerin Mekanik Özellikleri

Karbon fiberler düşük yoğunluklarına (genellikle $2,0 \text{ g/cm}^3$ 'den az) göre çok iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Tablo 1.10 değişik özellikteki karbon fiberler ile e-cam fiberi karşılaştırmaktadır. (Schwartz, 1996)

Tablo 2.10 Karbon fiberlerin özellikleri ve e-camı fiberleri ile karşılaştırılması
(Schwartz, 1996)

Özellik	E-Camı	Karbon	Y.M * Karbon	Ç.Y.M** Karbon	Y.M Karbon (zift)
Yoğunluk $\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$	2,6	1,75	1,81	1,95	2,0
Çap (μm)	10-20	5-7	5-7	5-7	12
Elastiklik Modülü E (GPa)	73	230	400	600	280
Spesifik Modül E/ ρ (MNm/kg)	28	130	210	310	140
Çekme Day. σ_{fu} (MPa)	3400	3000-4000	2800	2000	2000-2400
Spesifik Day. σ_{fu}/ρ (kN m/kg)	1,30	1,71-2,29	1,55	1,03	1,00-1,20
E camına göre maliyet	1	10-15	30-50	200-400	50-100

*Y.M: Yüksek modüllü, ** Ç.Y.M : Çok yüksek modüllü

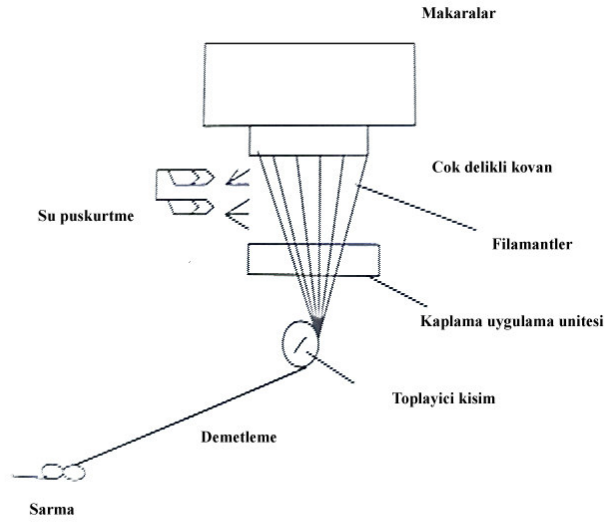
Bütün bu mekanik özelliklerin yanında karbon fiberler oksidize olamayan atmosferlerde yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Mekanik özelliklerini yaklaşık 1500 °C' ye varan sıcaklıklarda muhafaza edebilmektedirler. Bu özellik sayesinde karbon/karbon kompozitler roket nozullarında, fren bloklarında (tırlar, Formula 1, uçaklar) ve fırın elemanlarında vb. kullanılmaktadır. Bu malzemeler bir anoksidant tabaka ile kaplıdır ve bu sayede oksitleyici atmosferlerde de kullanılabilirler.

2.2.3 Cam Fiberleri

Cam fiberi silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam fiberi, fiber takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır. Cam fiberi özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camın itilmesiyle üretilir. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammadde olarak nakliye edilir. Özellikle cam fiberi ile matriks arası yapışma gücünü arttıran "silan" bazlı ve fiber üzerinde ince film oluşturan kimyasalların geliştirilmesinden sonra kullanım sahaları artmıştır. Fiberler işlem sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Fiber kumaşları genellikle sürekli cam fiberlerin lifleri ile üretilmektedir. İşlemler sırasında değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam fiberleri üretilmektedir; (Schwartz, 1996)

2.2.3.1 Mekanik Lif Çekme Yöntemi

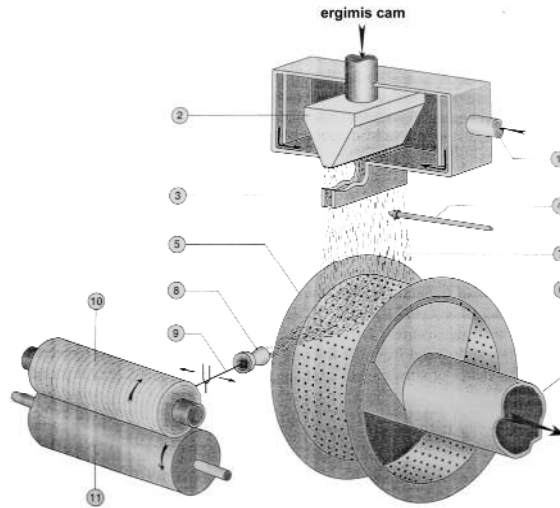
Filamanlar kovan çıkışında mekanik yöntem ile çekilir ve daha sonra sarılırlar. Şekil 2.21'de yöntem şematik olarak gösterilmektedir. Bu yöntem cam fiberi yönteminde en çok kullanılan yöntemdir. (Schwartz, 1996)



Şekil 2.21 Mekanik Lif Çekme Yöntemi ile cam fiberi üretimi (Schwartz, 1996)

2.2.3.2 Pnömatik Lif Çekme Yöntemi

Bu üretim yönteminde ısıtıcıdan çıkan fiberler içerisinden vakum geçen delikli bir tambura püskürtülür. Bu yöntemle elde edilen fiberler süreksizdir ve boyları 5 ila 80mm arasında değişmektedir. Bu süreksiz liflerin bir araya getirilmesi ile elde edilen fiberler sürekli fiberlerden cam yününe benzer görüntüleri ile ayrışmaktadır. (Schwartz, 1996)



(1) Basınçlı hava girişi; (2) Joule etkisi ile ısıtılmış kovan; (3) etekler; (4) spray boyutunu ayarlayan aparat; (5) delikli tambur; (6) tambur vakumu; (7) akan fiberler (8) fiberler için toplama çemberi (9) iplik (10) şekillendirme makarası (11) sarıma makarası

Şekil 2.22 Pnömatik lif çekme yöntemi.

Bileşenlerine bağlı olarak, kullanışlı fiberlere dönüştürülebilen çeşitli cam tipleri mevcuttur. (Tablo 2.11)

Tablo 2.11 Değişik türlerdeki camlar (Schwartz, 1996)

Tip	Genel Karakteristik
E	Genel kullanım, iyi elektriksel özellikler
D	Yüksek dielektrik değerler
A	Yüksek alkali içerir
C	İyi kimyasal dayanım
R,S	Yüksek mekanik özellikler

Tablo 2.12 E ve R tipi camların mekanik özellikleri (Schwartz, 1996)

Özellikler		E-Camı	R-Camı
Yoğunluk	ρ g/cm ³	2,6	2,55
Elastiklik Modülü	E_f GPa	73	86
Çekme Dayanımı	σ MPa	3400	4400
Maksimum Uzama	ϵ %	4,4	5,2
Poisson Oranı	ν_f	0,22	-

Cam fiberlerin kullanım amacına bağlı olarak fiber sarma biçimleri farklı olabilir. Fiber çapı ve demetteki lif sayısı farklılaşabilir. Cam fiberi biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımının artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle fiberin kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır. Fiber ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. İyi yapışmamaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matriks, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için fiber kimyasallarla kaplanır. (Schwartz, 1996)

2.2.4 Aramid Fiberleri

Aramid kelimesi bir çeşit naylon olan aromatik poliamid maddesinden gelmektedir. Aramid fiberi piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar (DuPont) ve Twaron (Akzo Nobel) olarak bilinmektedir. Farklı uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için birçok farklı özelliklerde aramid fiberi üretilmektedir. (Schwartz, 1996)

- Önemli Özellikleri;
- Genellikle rengi sarıdır
- Düşük yoğunluktur.
- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanımı
- Kevlar fiberli kompozitler Cam fiberli kompozitlere göre 35% daha hafiftir
- E Cam türü fiberlere yakın basınç dayanıklılığı

Aramid fiberlerin dezavantajları:

1- Bazı tür aramid fiberi ultraviole ışınlar maruz kaldığında bozulma göstermektedir. Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekmektedir.

2- Fiberler çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durumda reçinede mikroskobik çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır.

Genellikle plastik matriksler için takviye elemanı olarak kullanılan aramid fiberinin bazı kullanım alanları; (Schwartz, 1996)

- Balistik koruma uygulamaları; Askeri kasklar, kurşungeçirmez yelekler...
- Koruyucu giysiler; eldiven, motosiklet koruma giysileri, avcılık giysi ve aksesuarları
- Yelkenliler ve yatlar için yelken direği
- Hava araçları gövde parçaları
- Tekne gövdesi

- Endüstri ve otomotiv uygulamaları için kemer ve hortum
- Fiber optik ve elektromekanik kablolar
- Debriyajlarda bulunan sürtünme balatalarında ve fren kampanalarında
- Yüksek ısı ve basınçlarda kullanılan conta, salmastra vb.

En çok bilinen ve kullanılan aramid fiberi Dupont firmasının tescilli ismi olan Kevlar'dır. Kevlar 29 ve Kevlar 49 olarak iki çeşidi bulunmaktadır. Kevlar 29 üstün darbe dayanımı özelliğine sahiptir ve bu nedenle çoğunlukla kurşungeçirmez yelek gibi uygulamalarda kullanılırlar. (Schwartz, 1996)

Tablo 2.13 Aramid monofilamanların mekanik özellikleri (Schwartz, 1996)

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, (μ m)	12	12	12	12	12
Elastiklik Modülü, E (GPa)	60	120	160	60	90
Spesifik Modül, E/ρ (MNm/kg)	42	82	110	42	65
Çekme Dayanımı, R_m (MPa)	3000	3000	2400	2600	2800
Spesifik Dayanım, R_m/ρ (kNm/kg)	2080	2070	1630	1800	2010
Maksimum Uzama, %	3,6	1,9	1,5	3	4

2.2.5 Bor Fiberleri

Çeşitli refrakter veya seramik fiberleri buhar fazında kimyasal biriktirme yöntemi ile üretilmektedir. Üretilen bazı fiber türleri aşağıdaki gibidir: (Schwartz, 1996)

- Bor (B) fiberleri
- Bor-karbür (B₄C) fiberleri
- Silikon-karbür (SiC) fiberleri
- Bor-silikon karbür (BorSiC) fiberleri

Bu fiberler büyük çaplarda (yaklaşık 100 mikrona kadar) üretilmektedir. Yaklaşık 20 mikron çapındaki bir tungsten veya karbon destek çubuğu etrafına aşağıdaki seramiklerin kaplanması ile üretilmektedirler. (Schwartz, 1996)

- 40 mikron kalınlığında bor katmanı (bor fiberleri)
- 40 mikron kalınlığında bor katmanı ve 4 mikron kalınlığında bor-karbür katmanı (B-B₄C fiberleri)
- Silikon-karbür katmanı (SiC fiberleri)
- Bor ve Silikon-karbür katmanı (BorSiC fiberleri)

Tablo 2.14 Çeşitli bor fiberlerinin mekanik özellikleri (Schwartz, 1996)

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

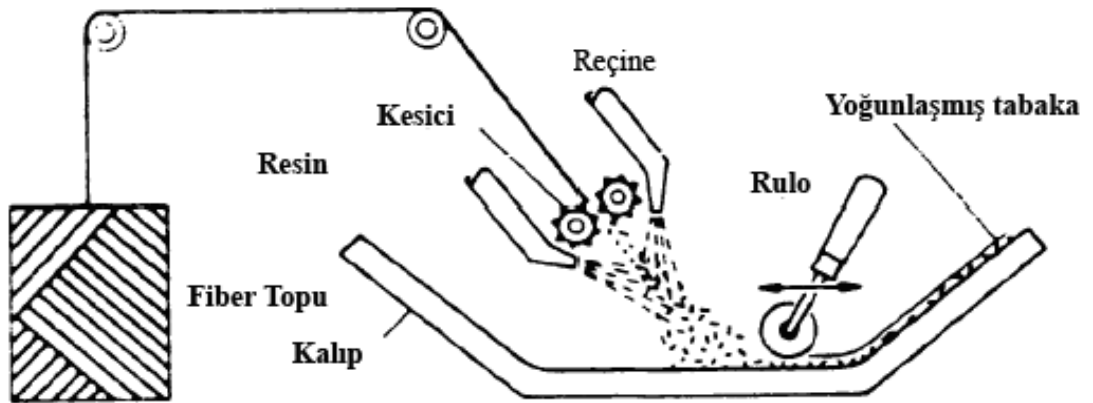
2.3 ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerini fiberlerin matriksin içine yatırılma tekniklerine göre imalatı sınıfladığımızda şu ana yöntemlerle karşılaşırız:

2.3.1 Islak yatırma

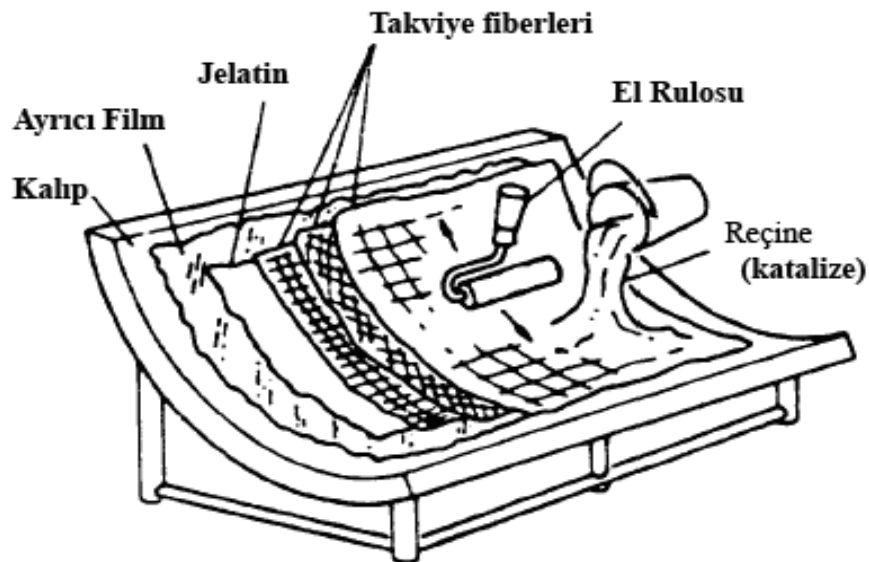
Kuvvetlendirici fiberlerin kuru olarak kalıp üzerine konarak orada reçine ile ıslatılmasına **ıslak yatırma** denir. Islak yatırma şu şekillerde yapılır:

1) Makine ile: (Püskürtme) Fiberler ve reçine bir makine tarafından karışım halinde püskürtülür. Seri imalat için kolay bir yöntemdir. Sürekli bir şekilde kesici ağzın bulunduğu spreyl tabancasına beslenen fiberler istenilen uzunluklarda kesilerek yüzeye reçine ile birlikte püskürtülürler. Bu yöntem düşük gerilmelere maruz kalan yapıların imalatında kullanılmaktadır. (banyo küveti vb.) Ancak çok kötü reçine/fiber oranları ve dolayısıyla mukavemet özellikleri yüzünden bu yöntem örneğin uçak sanayinde pek kullanılmaz.



Şekil 2.23 Püskürtme Yöntemi (Octeau, 2001)

2) Elle: Reçine fibere rulo veya fırça ile tatbik edilir. Bu durumda istenen reçine/fiber oranı reçine ve fiberin ağırlık kontrolü ile sağlanır ve oldukça zordur. Fiberlerin tam ıslanması da problemlidir. Islanan fiberlerin renk değiştirmeleri bilinen en sağlıklı kontrol yöntemidir. Elle yatırma yapısal boşluk muhteviyatı (void content) en fazla olan imalat yöntemlerindendir.

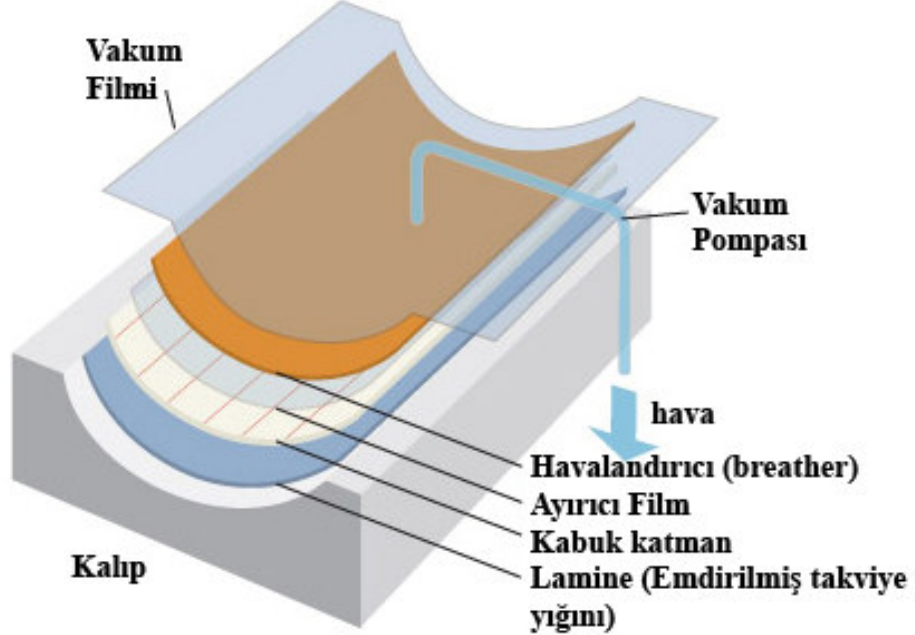


Şekil 2.24 El Yatırması Yöntemi (Octeau, 2001)

2.3.2 Ön-emprenye (prepreg)

Kuvvetlendirici fiberlerin önceden reçine ile ıslatılarak tatbika hazır hale getirilmesi yöntemine “**prepreg**” denir. Bu yöntemde ıslak yatırmada olduğu gibi boşluk sorunları daha azdır. Prepreglerde genelde epoksi reçineler kullanılır. Reçine/fiber oranının sıkı bir şekilde kontrol edilebildiği bu yöntem uçak sanayinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Prepregler vakum hatta basınç (7 bar) altında piştiklerinden katlar arası yapışma çok başarılıdır ve boşluk muhteiyatı (void content) asgariye indirilmiştir. En önemli dezavantajı karmaşık şekil parçaların imalatının zor olmasıdır.

Havası boşaltılan bir örtü altında atmosfer basıncından yararlanarak fiberler reçine ile ıslatılır. Bu baskı sistemi hem iyi bir ıslanma sağlar, hem de fazla reçineyi dışarı alarak reçine/fiber oranını istenen seviyeye getirir. Vinylester ve epoksi reçine sistemleri ile vakumla ıslatma, prepreg mertebesinde iyi sonuçlar vermektedir. Reçine elle (rulo/fırça) veya emdirme yoluyla tatbik edilebilir. Emdirme sistemlerinde DuPont de Nemours şirketinin “Scrimp” yöntemi son zamanlarda başarı kazanmaktadır

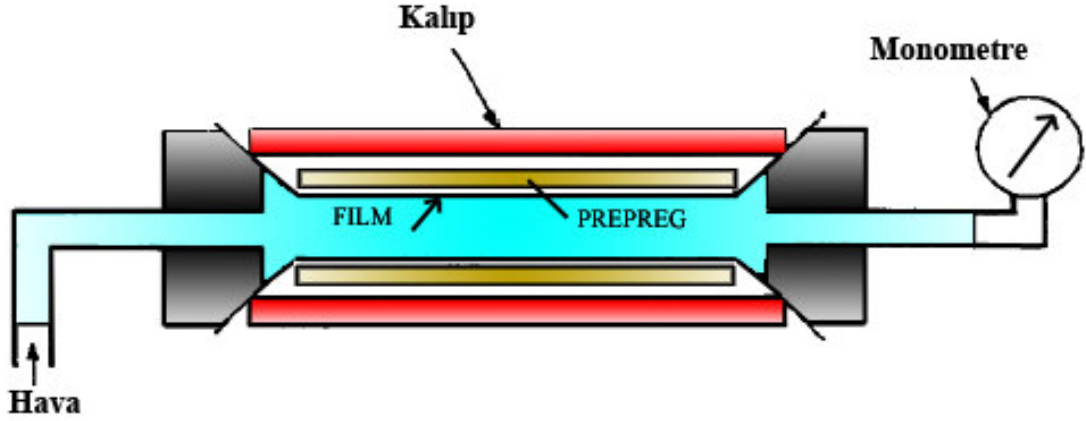


Şekil 2.25 Vacuum-Bag Yöntemi (Fibertex)

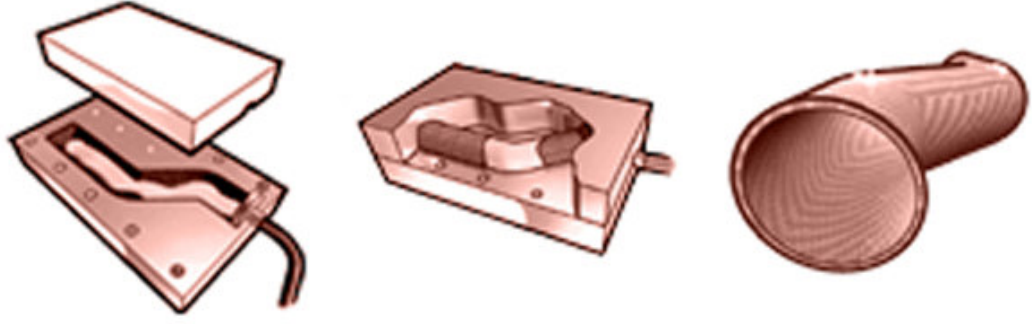
2.3.3 Keseli Kalıplama

Bu üretim yönteminde prepreglerin dâhili bir iç kese yardımı ile şişirilerek şekil verildiği ve tekrar kullanılabilen 2-3 parçadan oluşan kalıplar kullanılmaktadır. Bu nedenle yöntem tekrar kullanılabilen alüminyum, epoksi, fiberglas veya başka bir malzemeden yapılmış kalıba ihtiyaç duyar. Emdirilmiş takviye yığını kalıp içerisine dizildikten sonra iç kese yerleştirilerek kalıp kapatılır. Ardından kesenin şişirilmesi ile kompozit yapının şekli verilir ve kürün hızlandırılması için fırında bekletilir.

Bu yöntemde mükemmel yüzey kalitesi elde edilir. Bu yöntem şu anda en çok kullanılan bisiklet kadrosu üretim yöntemidir. Orta ve büyük ölçekteki üretimleri yapmak için uygun bir yöntemdir. Ufak sayılardaki üretimler için pahalı bir yöntemdir, ürün sayısı arttıkça maliyeti de düşmektedir. İçerisinde diğer yöntemlerdeki gibi köpük yerine hava olduğu için nispeten daha hafif yapılar elde edilmektedir. Keseyi oluşturan ince naylon film üretim sonunda yapının içerisinde kalmaktadır. Yöntem kolay ve hızlıdır, ıslak yatırma yöntemi ile 2-3 günde üretilebilen bir kadro bu yöntemle 2-3 saat içerisinde üretilebilmektedir. Kompozit malzemenin kalıp içerisine dizilimi elle yapıldığı için tamamen otomatik bir şekilde üretim yapılamamaktadır. Şekil 2.26'da yöntemin şematik gösterimi görülmektedir.(Quatrocomposites)



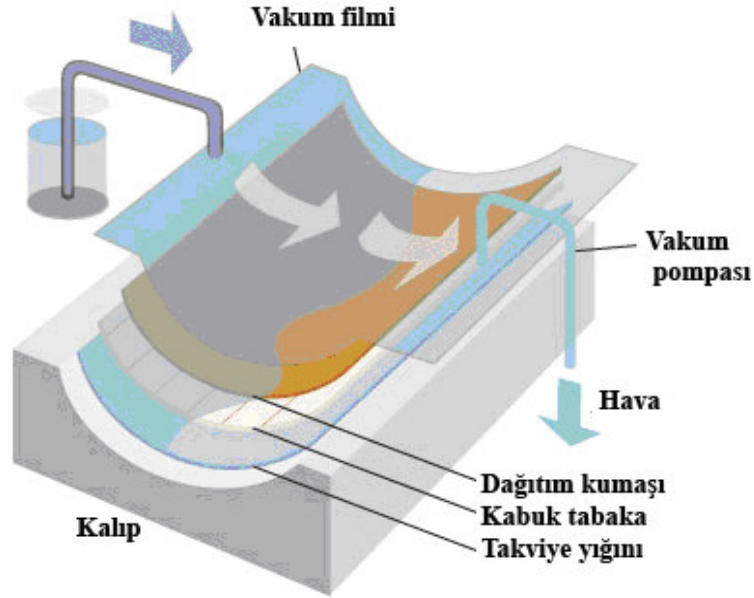
Şekil 2.26 Keseli Kalıplama yönteminin şematik gösterimi (Quatrocomposites)



Şekil 2.27 Keseli kalıplamanın akım şeması (Exelcomposites)

2.3.4 İnfüzyon

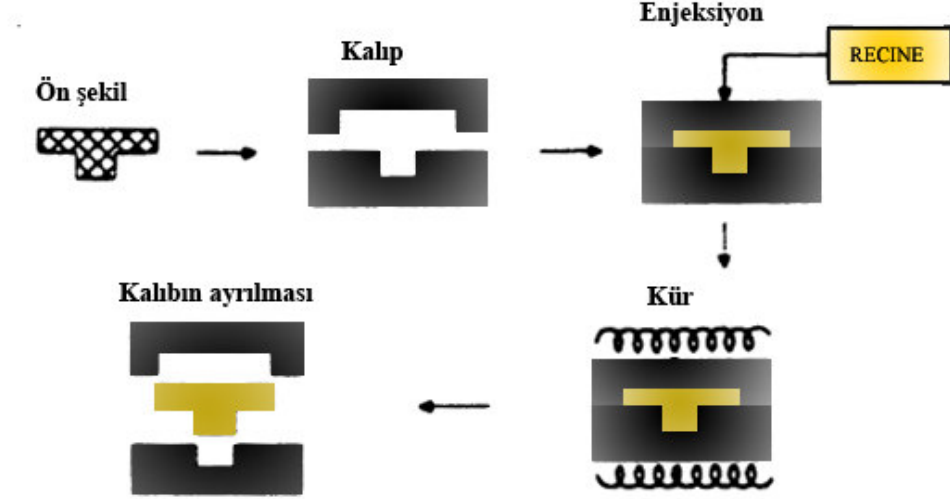
Bu yöntemde kuru haldeki fiber kumaşları (tek eksenli, örgülü ya da mat şeklinde) üzeri vakum filmi ile kapatılmış açık kalıp üzerine yerleştirilmiştir. Epoksi reçine ve sertleştirici ayrı bir kapta karıştırılır. Bu kap kalıbın üzerinde bulunmakta ve bir boru ile kalıba bağlanmaktadır. Karışan reçine yer çekimi etkisi ile kalıba akar, vakum etkisi ile süreç hızı ve kompozit parçanın kalitesi yüksektir. Vakum filmi kolay şekil alabilen esnek bir yapıdır. Ancak reçine kalınlığını ayarlamak bu proste zordur. Islak yatırmada ki gibi bütün kesitlerde eşit kalınlığı yakalamak zor olduğu için bu yöntem daha çok düşük dayanım istenilen yapılarda kullanılmaktadır. (Oceau, 2001)



Şekil 2.28 İnfüzyon Yöntemi (Fibertex)

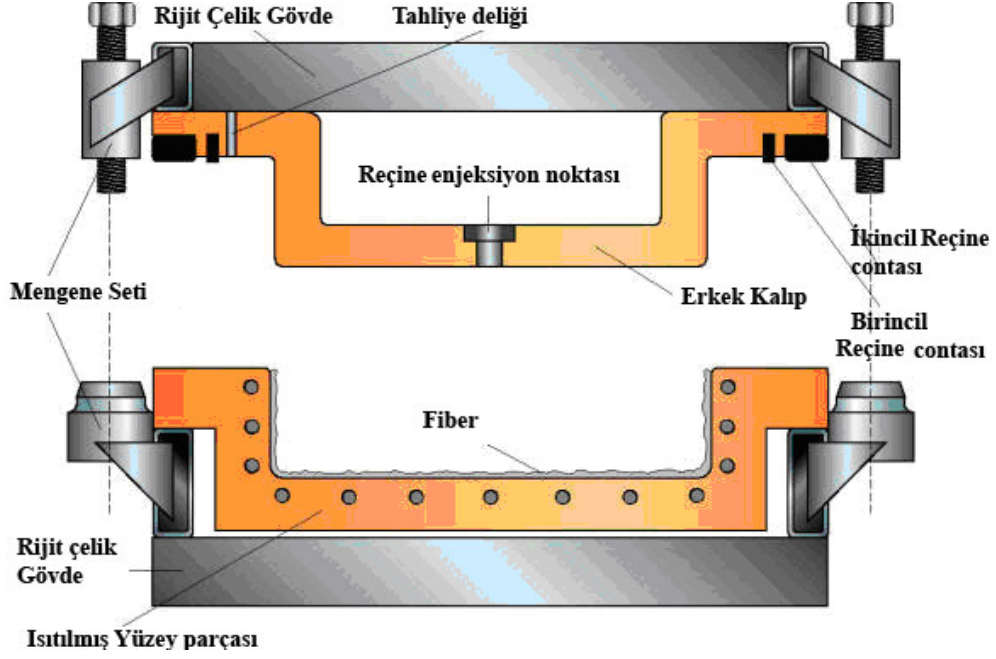
2.3.5 Reçine Transferli Kalıplama (RTM: Resin Transfer Moulding)

Reçinenin kapalı bir kalıp içerisine reçine enjekte edilerek takviye kumaşının ıslatılması esasına dayanır. (bkz. Şekil 1.25)



Şekil 2.29 RTM yönteminin akım şeması (Octeau, 2001)

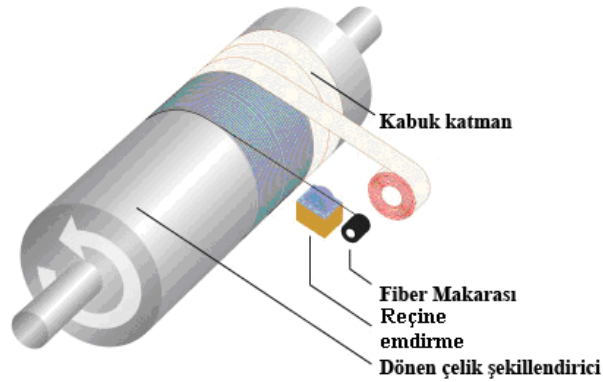
Reçine akışı kalıplama işlemi sırasında kullanılacak vakum ile enjeksiyona yardımcı olmaktadır. Bu yöntem Vakum Destekli Reçine Transferli Kalıplama ismi verilmiştir (VARTM: Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding). Bu sayede reçine içerisindeki hava kabarcıkları ve boşlukların sayısı en aza indirilirken, parçaların genel kalitesi artırılmış ve RTM yöntemi optimize edilmiştir. Ayrıca reçine akışı ve enjeksiyon basıncı bilgisayar kontrollü ünitelerle de yapılabilmektedir. (Octeau, 2001)



Şekil 2.30 Vakum Destekli Reçine Transferli Kalıplama yöntemi (VARTM)
(Plastech)

2.3.6 Fiber sarma (Filament winding)

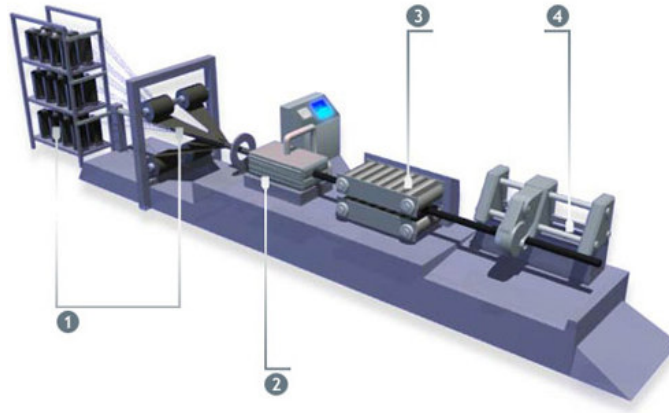
Bu yöntem özel biçime sahip ürünlerin seri üretimine uygundur. Fiber sarma yöntemi sürekli fiber liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Sürekli liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilebilir. Yeterli sayıda fiber katının sarılmasından sonra ürün sertleşir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler genellikle silindirik, borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tanklarıdır. (Enşici, 2004)



Şekil 2.31 Fiber sarma yönteminin şematik gösterimi (Fibertext)

2.3.7 Profil çekme / Pultrüzyon (pultrusion)

Pultrüzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Pull ve Extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120–150 °C’ ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçilerek sertleşmesi sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli fiber kullanılmasından dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir. Enine yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar kullanmak gerekmektedir. (Enşici, 2004)



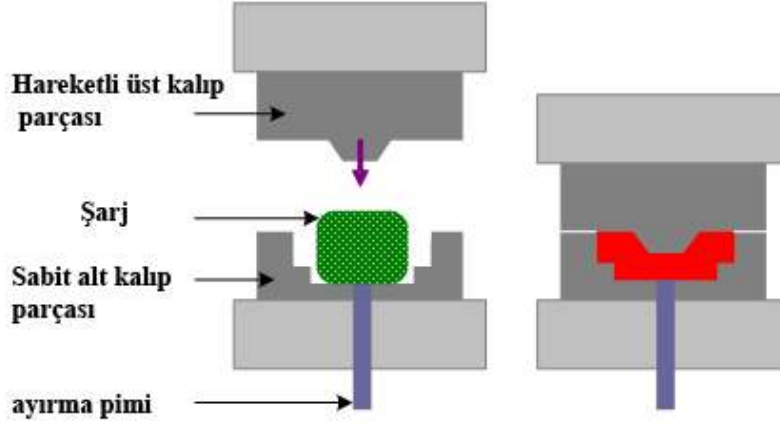
Şekil 2.32 Profil Çekme yönteminin şematik gösterimi ve kullanılan elemanlar
(Substech)

(1: Takviye fiberleri, 2: Pultrüzyon kalıbı, 3: Çekme ünitesi, 4: Kesme ünitesi)

2.3.8 Basıncılı Kalıplama (Compression Molding, SMC, BMC)

Hazır kalıplama bünyesinde cam fiberi, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi karışık şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır. Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik

göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır. (Enşici, 2004)



Şekil 2.33 Basınçlı kalıplama yöntemi (Pezcyclingnews)

2.3.8.1 Hazır kalıplama pestili / SMC (sheet moulding composites)

SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25–50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25–30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3mm kalınlığında üretilir.

2.3.8.2 Hazır kalıplama hamuru / BMC (bulk moulding composites)

BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir.

Hazır Kalıplama Bileşimlerinin avantajları;

- Çok geniş tasarım esnekliği
- Düzgün yüzey
- Boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi
- Geri dönüştürülebilme ve hazırlığında geri dönüşümlü malzeme kullanabilme
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı
- Yüksek alev dayanımı

- Isı dayanımı
- Soğukta tokluk

3. BİSİKLETLERDE KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI

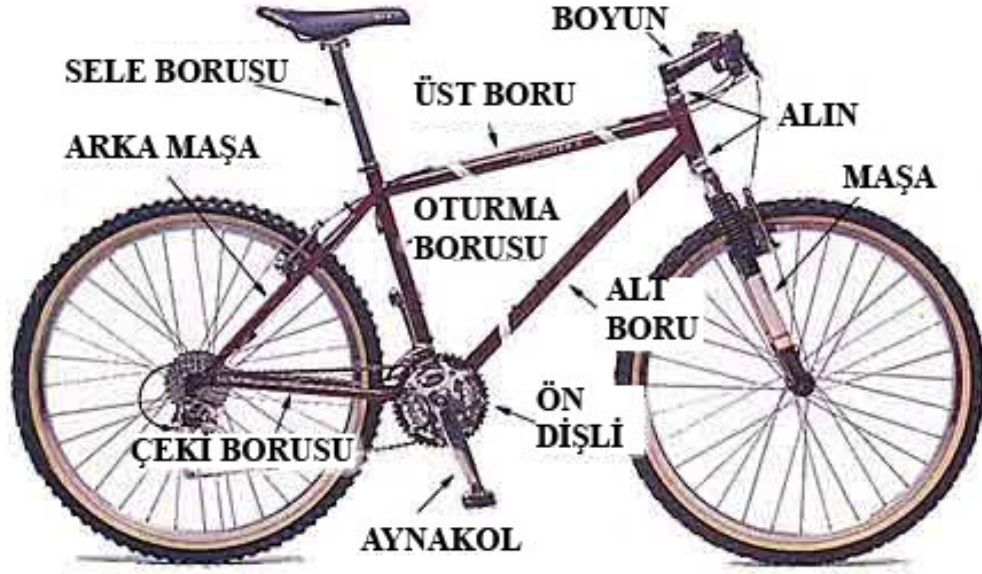
20 yıl önce, bisiklet kadrosu seçimi son derece basit ve sınırlıydı. Hafif ve akıcı bir sürüş için Columbus' un SL modeli ve benzer hafif çelikler kullanan firmaların modelleri kullanılıyordu. Daha ağır ve güçlü bisikletçiler ise Columbus SP ve benzer daha mukavemetli çeliklerden üretilen modelleri kullanıyorlardı. Özel kadro üreticileri değişik ağılıktaki boruları farklı yerlerde kullanarak hem hafiflik hem de mukavemet kazanıyorlardı. (Calfee ve Kelly, 1997)

Alüminyum için ise seçenekler Alan, Vitus yada çok rijit ama çok pahalı olan özel Klein markaları ile sınırlıydı. Graftek Carbon Fiber ve Teledyne titanyum gibi birkaç egzotik seçenek ise pahalı olmalarının yanında kırılabilirlik ve değişken sürüş tutarsızlıkları gibi sorunlara sahiptiler. (Fibersource, 2001)

Malzeme bilimindeki gelişmeler ve yüksek teknolojiye bisiklet ürünlerinin genişleyen piyasası 1980'lerde bisiklet kadrolarının gelişimini hızlandırdı. Cannondale ve Trek firmaları alüminyum kadroların kullanımında öncü oldular. Çelik üreticileri alüminyumun bu atağına karşı yeni alaşımlar, ısıl işlemler, karmaşık tasarımlar ve standart dışı boru çapları kullanarak ağırlığı azaltmaya, konfor ve etkinliği arttırmaya çalıştılar. (Calfee ve Kelly, 1997)

İdeal bisiklet kadrosu şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Sürücünün fiziksel yapısına uygun ve hafif olmalıdır.
 - Yoldaki darbeleri sönümlemeli ama aynı zamanda kontrol edilebilmesi için yanal rijitliğe sahip olmalı ve pedal kuvvetini de minimum kayıpla çekiş sistemine aktarmalıdır.
 - Uzun ömürlü olmalı, yorulma dayanımı yüksek olmalı ve beklenmeyen çarpma ve bükülme kuvvetlerine karşı dayanımlı olmalıdır.
 - Ayrıca dış görünümü çekici olmalı ve korozyon direnci yüksek olmalıdır.
- (Calfee ve Kelly, 1997)



Şekil 3.1 Sabit kadrolu (hardtail) bir dağ bisikletini oluşturan parçaların isimleri

3.1 Kompozit Bisikletlerin Tarihçesi

Karbon fiber takviyeli kompozit kadrolar ilk kez 1970'lerin ortasında ortaya çıkmıştır. 1980'lerde ise bu kadroların sayısı artarken ayrıca büyük firmalar bazı özel parçaları kataloglarına koymaya başlamışlardı. Fakat bu girişimler mühendisliğin zayıf olmasından dolayı sadece ağırlık azaltmaya yaramaktaydı, çoğu ürün kırılğan, esnek ve çok pahalıydı. (Calfee ve Kelly, 1997) Seri üretime geçen ilk başarılı denilebilecek karbon fiber kadro, uzay ve havacılık alanında kullanılan malzemeler ve o alanda kendilerini geliştirmiş mühendislerin destekleri ile Kestrel firması tarafından üretilmiştir.

Son 15 yıldır birçok karbon fiber kadro piyasaya girdi ve bunların çoğu performans-ağırlık oranı ve sürüş konforu konularında metal kadrolarla başarılı bir şekilde mücadele ettiler. Fakat birkaç firmanın ilk ürünleri güvenilirlik kazanamadı. Çatlaklar, ayrılan teker bağlantı noktaları (drop-out) ve diğer yapışmamış metal parçalar yüzünden birçok kadro garantisi dolmadan geri döndü. (Calfee ve Kelly, 1997)

Bu nedenlerden dolayı birçok büyük firma karbon fiberi gereksiz olarak görmeye başlamıştı. Bazı firmalar metal dışı kadro üretimi konusunda kendilerini ilerletseler de diğerleri, kompozit teknolojisini öğrenmek için para, zaman ve enerji harcama konusunda motive olamadılar. Birçok firma karbon fiber boruları alüminyum ve

titanyum kadrolara (genellikle sele altı borularına) yapıştırarak basit uygulamalar yaptılar. Bu kadroların titreşim sönümleme kabiliyetinde ufakta olsa bir iyileştirme görülmesine rağmen, tamamı karbon olan kadroların avantajlarına karşı üstünlük kuramadılar. (Calfee ve Kelly, 1997)

Bunlara rağmen kompozitler, 1980'lerin ortasından beri birçok ilerleme kaydettiler. Reçineler, fiberler ve epoksiler bugün çok daha dayanıklı durumdadır. Kompozitler bir ileri teknoloji ürünü ağırlık azaltıcılardan daha çok, bisiklet üretiminde devrim yaratan üstün nitelikli bir yapı malzemesi haline geldiler. İyi tasarlanmış bir kompozit kadro metal olanlara göre çok daha başarılıdır.

3.2 Malzemeler Arasındaki Farklar

Çelik, alüminyum, titanyum ve karbon fiber ideal bir bisiklet kadrosu için gerekli olan özellikleri karşılayabilmektedirler fakat dayanım, rijitlik, ağırlık, yorulma dayanımı, korozyon dayanımı gibi özelliklerde farklılıklar göstermektedirler. Örneğin alüminyum ya da titanyum geleneksel çelik borular ile aynı boru çaplarında kullanıldıklarında aşırı esnek olmaktadır. Bu yüzden demir dışı metallerden oluşan kadrolarda, rijitlik elde etmek için çeliklere göre daha geniş boru çapları (over-sized) kullanılmaktadır. (Calfee ve Kelly, 1997)

Metal kadrolar genellikle tek bir yıkıcı yük etkisinde kaldıklarında dayanıklı olmalarına rağmen, daha ufak ama sürekli kuvvetler altında metal yorgunluğu göstermektedirler. Çelik ve titanyum minimum yorulma limitlerine sahiptir, eğer gerilimler bu sınırın altında ise yorulma ömrünü kısaltacak bir etki yapmazlar. Alüminyumun belirli bir yorulma dayanımı sınırı bulunmamaktadır, ufakta olsa her gerilim çevirimi kadroyu yorulma dayanımı hatalarına, çatlaklara biraz daha yaklaştırır. Fakat tüm bunlara rağmen bu limitlerin farkında olan tasarımcılar kadroları ömür boyu kullanmak için tasarlayıp üretmektedirler.

Titanyumun, yüksek dayanım, hafiflik, esneklik ve yüksek korozyon dayanımı özellikleri onu kadro malzemesi için çok uygun bir seçenek yapmaktadır. Bütün bu özelliklerine rağmen titanyumun, alüminyum ve çelik gibi diğer metallerde olduğu gibi özelliklerinin bir sınırı bulunmamaktadır, en önemlisi ise her yönde eşit dayanım özelliklerine sahip olmamalarıdır (tane yönelmesi, kristal yapıları). Metal boruların

kesiti ele alındığında bir düzlemde gerekli olan dayanım ve rijitlik değerleri elde edildiği zaman, başka bir düzlemde farklı değerlere ulaşmak mümkün olmamaktadır. Metal borularda, çap ve et kalınlığı gerekli dayanımı sağlaması için ayarlandığında, bükülme dayanımı ve yanal eğilme özellikleri otomatik olarak belirlenmiş olmaktadır. (Calfee ve Kelly, 1997)

Metal kadrolar kompozitlere göre sadece bir tür malzemenin varyasyonundan oluşmaktadır. Kompozitler matriks malzemesinin içerisine gömülmüş olan takviye fiberlerinden oluşmaktadır. En çok bilinen kompozit olan fiberglas, cam fiberleri ile takviye edilmiş polyester reçine matriksinden oluşmaktadır. İleri kompozitler, karbon, plastik, metal ya da seramik gibi mühendislik fiberlerinden oluşmaktadır. Genellikle bu fiberler termoset bir matriks içerisinde kullanılır. Diğer matriks malzemeleri ise termoplastik, metal ve seramiklerdir. Bu ileri kompozitlerden, metaller kadar dayanımı yüksek ama daha hafif yapılar oluşturulmaktadır. Ayrıca, matriks malzemesi kimyasal reaksiyonla ya da ısı ile sertleşmeden önce reçine ile ıslatılmış olan fiberler neredeyse her türlü şekli alabilmektedirler. (Calfee ve Kelly, 1997)

İzotropik metallerin aksine, kompozitler anizotropi göstermektedirler, kompozitlerin dayanımını ve rijitliği, istenilen şekillerde yerleştirilen fiberlerin yönü ile belirlenmektedir. Bu yüzden kompozit kadrolarda, bisiklet üzerine gelen çeşitli gerilmeleri sönmemesi için değişik fiber açılarına sahip farklı katmanlar kullanılmaktadır. Bu yöntem istenilen bölgelerde, değişik dayanımlar elde edilmesini sağlarken, ağırlığında minimuma indirilmesini sağlar. (Calfee ve Kelly, 1997)

Geleneksel dairesel profilli ve birleştirmeli tasarımlarla birlikte, kompozit kadrolar bir iç katman ya da köpük kullanılarak tek parça halinde (monokok) ya da çok parçalı şekilde üretilmektedir. Ayrıca bütün kadro borularını bir araya getiren yüksek basınçlı bir katmanlama (laminasyon) işlemi ile de üretilmektedir. (Calfee ve Kelly, 1997)

3.2.1 Endüstrideki Örnekleri

Diğer spor endüstrilerinde olduğu gibi, bisikletin geleceği de metal malzemelerden uzaklaşmaktadır. Havacılık, otomotiv ve gemi inşaatı endüstrilerindeki hızlı ilerlemenin devam etmesi kompozitleri geleceğin yapı malzemesi haline gelmesini sağlayacaktır.

Tenis, golf, kayak, tekneçilik, okçuluk ve balıkçılık gibi diğer spor donanımları endüstrileri eski malzemeleri yenileri ile değiştirmektedir. Kompozitler önceki malzemelerin yerine alırken, fiyatları daha makul düzeylere inmektedir. (Calfee ve Kelly, 1997)

Eskilerin yeni malzemeler ile değişiminin birçok sebebi bulunmaktadır. Örneğin tenis racketleri önceden sadece ahşap malzemeden imal edilmekteydi. Mükemmel darbe emiciliği göstermesine karşın değişik hava koşullarında genleşmekte veya büzülmeekteydi, bu da çerçevenin formunun bozulmasına ve bağların gerginliğini değiştirmekmekteydi. Gerekli dayanıma sahip ağacı elde ettiğinizde, ağırlığı da artmaktaydı. 1970'lerin başında boru şeklinde çelik ve alüminyum racketler üretilmişti. Ahşaptan hafif ve hava şartlarından etkilenmiyorlardı ve salınım sırasında daha yüksek potansiyel enerji sağlamaktaydılar. Fakat birçok oyuncu bu racketlere alışmadı ve çoğu çarpışma darbesinin dolayı ellerinde ve kollarında sakatlıklar yaşadılar. 1970'lerin sonunda kompozit racketler piyasaya girdi. Bunlar ahşap racketlerin esnekliğini ve darbe emiciliğini sağlarken, metallerin hava koşullarına olan dayanımını da içermektedirler, ayrıca hafiftirler. Altı yıl içerisinde, kompozit racketler düşen fiyatları ile elde edilebilir oldular ve ahşap racketleri neredeyse sildiler. Günümüzde tenis racketlerinin %95'i kompozit malzemelerden imal edilmiştir. (Fibersource, 2001)

3.3 Bisiklette Karbon Fiberin Avantajları

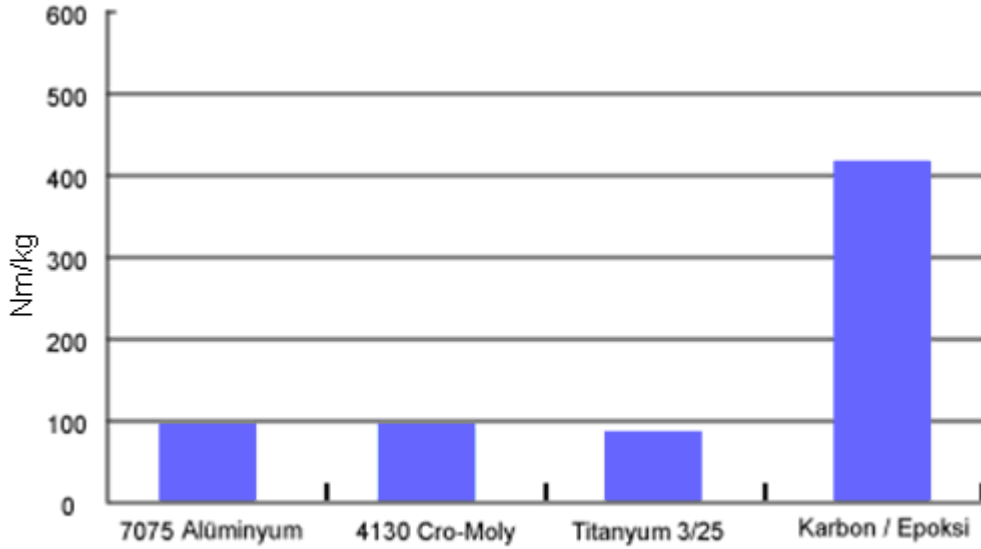
Bir bisiklet kadrosu hafiflik, uzun ömürlülük, rijitlik ve darbe emicilik gibi performans özelliklerini barındıran çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Alüminyum ve titanyum kadrolar çelik kadrolar ile hafiflik ve korozyon dayanımı konularında üstünlük sağladıkları için popüler olmuşlardır. Fakat endüstrinin tepe noktasında kompozitler bütün performans özelliklerinde metal kadroları gölgede bırakmaktadırlar. (Bikethink, 2006)

Bir metal borunun metalürjik bileşimini boru uzunluğu boyunca değiştirmek imkânsızdır. Ayrıca metalik malzemelerin kaynaklı birleştirilmesi sırasında oluşan farklı özellikteki yapılar, ısı tesiri altındaki bölge gibi sorunlar mevcuttur. Buna karşın kompozitler boru uzunluğu boyunca değişik özelliklere sahip olabilmektedirler. Bu değişimlerden bazıları şunlardır:

- Fiber açıları
- Farklı tabakalar
- Tabaka kalınlıkları
- Farklı malzemelerin birleşimi

Bu yüzden kompozit ürünün özellikleri en yüksek şekilde ayarlanabilmektedir. Ayrıca kompozit borularda farklı derecelerde rijitlik elde etmek metal borulara nazaran daha kolaydır. Ek olarak metal boru üretimi için gerekli olan işlemlerin maliyeti kompozit boru üretimi için gerekli olanlardan daha fazladır.

Şekil 3.2 bisiklet kadrosu üretiminde kullanılan 4 ana malzemenin özgül rijitliklerini göstermektedir (özgül rijitlik: elastiklik modülünün yoğunluğa oranı, basitçe elastiklik modülünün ağırlığa oranı). Karbon fiber bu kadar yüksek özgül rijitliğe sahipken neden karbon fiber kadroların ağırlıkları daha düşük değil? Bu sorunun cevabı karbon fiberin yüksek dayanım avantajına sahip olmasına karşın, bütün yükü kadroya dağıtma işlemi oldukça zordur. Gerilmelerin fibere en iyi şekilde aktarılmasını sağlamak tasarımcıya kalmıştır. (Calfée ve Kelly, 1997)



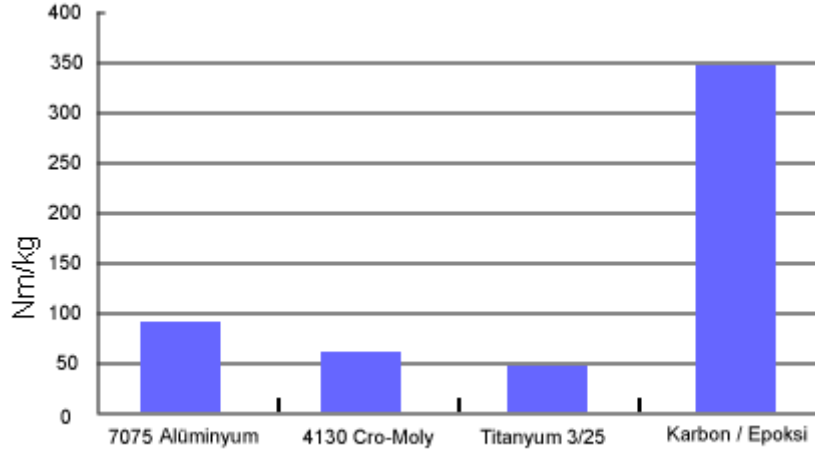
Şekil 3.2 Rijitlik – Ağırlık oranlarının kıyaslanması (Gerilmede) (Materials Selector, 2002)

Kompozitler yapısal elemanlarla, karmaşık kesitlerde kolayca birlikte kalıplanabilirler. Ayrıca çok etkileyici mekanik özelliklere sahiptirler. Bisiklet kadrolarında en çok kullanılan Alüminyum alaşımları olan Al 6061 ve Al 7000 serileri, çeliklerin $\frac{1}{3}$ 'ü kadar ağır, $\frac{1}{3}$ 'ü kadar rijit ve en iyi ihtimalle 4130 krom-molibden çeliğinin %80'i kadar dayanıma sahiptir. Titanyum çeliğin $\frac{2}{3}$ 'ü kadar hafif, yarısı kadar rijit ve çeliğin %60'ı kadar akma dayanıma sahiptir. Karbon fiber kompozit kadrolar, çelik kadroların $\frac{1}{4}$ 'ü kadar ağırlığa sahip olup, çelik kadar rijittir (ağırlıkla oranlandığında 4 katı olmaktadır) ve dayanımları da çelikten 4 kat fazladır. Karbon fiber ayrıca çelik, titanyum ve alüminyumdan daha iyi bir yorulma dayanımına sahip olup, fiberleri bir arada tutan epoksi çok iyi titreşim sönümleme kabiliyetine sahiptir. (Calfee ve Kelly, 1997)

Analiz programları ve tabakalı levha teorisi kompozit yapının özelliklerini bulmakta yardımcı olmaktadır. Kompozitleri metallerden ayıran doğal farkları, kompozitlerin katmanlardan ve yöne bağlı olarak üretilmeleridir. İleri kompozit tasarımı yapılırken, ara yüzey yapışması ve bükülme sonucu oluşabilecek delaminasyon üzerinde durulması gereken faktörlerdir. Bu bilgiler bisikletin çeşitli özelliklerini belirlemekte esastır. (Calfee ve Kelly, 1997)

Tablo 3.1 Dayanım – Ağırlık oranı (Materials Selector, 2002)

BİSİKLET ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI					
Malzeme	İçeriği	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kullanım Alanı
6061 Al	Al, Mg, Cu, Si	2,7	180-270	70000	Kadro-gidon vs
7005 Al	Al, Zn, Mg, Mn	2,8	290-350	70000	Kadro-gidon vs
7020 Al	Al, Zn, Mg, Mn	2,8	420-490	70000	Amortisör parçaları vs.
7075 Al	Al,Cu,Si,Mg,Mn	2,8	500-550	72000	Gidon, Gidon boğazı,ayna kollar
Skandiyum	Al, Sc	2,8	470-490	72000	Kadro
Titanyum	Ti, Al,V	4,5-4,7	900-950	120000	Kadro, Sele Kızağı
CFRP	Poliakilinitril, Epoksi	1,7	2500-5000	150000- 300000	Kadro,gidon,ayna kol vs.
Cr-Mo	Fe,Cr,C,V,Mo	7,6-7,9	1000-1400	210000	Kadro, vidalar vs.

**Şekil 3.3 Dayanım-ağırlık oranlarının kıyaslanması** (Materials Selector, 2002)

Tablo 3.2 Bisiklet üretiminde kullanılan malzemelerin avantajlarının ve dezavantajlarının karşılaştırılması

Bisiklet Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması		
MALZEME	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
ÇELİK	• Ucuz • Yüksek dayanım • Rijitlik • Esnek • Üretimi ve tamiri kolay	• Ağır • Korozyon • Sınırlı tasarım seçenekleri • Kaynaklı bölgelerde zayıflık
ALUMİNYUM	• Ucuz • Hafif • Yeterli dayanım • Yüksek rijitlik/ağırlık • Korozyon dayanımı	• Yorulma riski • Düşük esneklik • Tamir zorluğu • Birleşim yerleri hataya yatkın • Isıl işlemde mümkün tutarsızlıklar
TİTANYUM	• Hafif • Yüksek dayanım • Esnek • Darbe emicilik • Korozyon dayanımı	• Pahalı • Sınırlı tasarım seçenekleri • Tamir zorluğu • Düşük ağırlık için rijitlikten ödün verilmesi
KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT	• En hafif • En yüksek dayanım • En iyi darbe emicilik • Limitsiz tasarım seçenekleri • Korozyon dayanımı • Yorulma dayanımı • Bazı tasarımların kolay tamiri	• Pahalı • Gelişmekte olan teknolojisi • Dayanım ve rijitlik tasarıma bağlı • Tamamen kalıplanmış olan tasarımlar sınırlı boy seçeneklerine sahip

3.4 Karbon Kadroların Üretimi

Karbon fiber bisikletler ilk tasarımlarını metal bisikletlerden almışlardır. Bunlar birleştirilmiş alüminyum kadroların bazı borularının ya da hepsinin kompozitler ile değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu deltoid şeklindeki tasarımın kullanılmasının başlıca nedenleri tasarımın kendini kanıtlaması, özellikleri, dayanımı, konforu konusunda bilgi sahibi olunması ve en önemlisi de farklı boylarda ve açılarda üretilmeye müsait olmasıdır. (Calfée ve Kelly, 1997)

Birçok firma geleneksel olmayan yollar ile üretim yapmayı seçmişlerdir. Köpük çekirdek ve kalıplanmış kadrolar tek parça halinde üretilmeye başlanmıştır. İlk tasarımlarda kadrolar sadece tek bir parçadan monokok şekilde üretilmekteydi. Fakat bazı tasarımcılar tek parça halinde üretmek yerine birkaç parçayı bu yollarla üreterek birleştirme yöntemini seçmişlerdir. Bu yöntem zor olmasına rağmen mühendislere fiber yerleşimini istedikleri gibi yapmalarını sağlamaktadır. (Calfée ve Kelly, 1997)

Diğer bir metot ise yüksek basınçlı katmanlama işlemidir. Taşıyıcı birleşme noktaları (rekor, flanş, lug) olmayan kadronun yapısal elemanları ve boruları epoksi emdirilmiş karbon kumaşlardan yapılmaktadır. Kumaşlar boruların birleşmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemdeki tasarım özgürlüğü ve rekorların olmaması diğer tasarımlardaki boru ve rekorlar arasındaki birleşmelerdeki muhtemel zayıflıkları da ortadan kaldırmaktadır. Fiberin kadro boyunca kesintisiz bir şekilde yayılması gerilmelerin kadro üzerinde mükemmel bir biçimde taşınmasını sağlamaktadır ve yorulmayı engellemektedir. (Calfée ve Kelly, 1997)

3.4.1 Tasarımın Önemi

Düzgün bir tasarım sayesinde karbon fiber borulardan oluşmuş bir bisiklet çelik, alüminyum ve titanyum kadrolara göre daha sağlam, hafif ve rijit olmaktadır. Bu özellikler karbon fiber malzemenin karakteristik özellikleri göz önünde bulundurularak yapılan tasarımlar sayesinde elde edilebilir. (Calfée ve Kelly, 1997)

Karbon bisikletlerin geliştirilmesi esnasında birçok zorluklar yaşanmıştır. Boru ve taşıyıcılar yapışma hataları, kalıp eklerinden ayrılmalar, parça eklerinde ayrılmalar (kablo stoperi vb.), orta göbek ve alın borularında delaminasyon hataları şimdiye kadar karşılaşılan sorunlardan bazılarıdır. (Calfée ve Kelly, 1997)

Karbon fiber kadroların tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken konular aşağıdaki gibidir.

- **Deneyim ve Deneyler**

Kompozit mühendisleri kadro özelliklerini geliştirebilmek amacıyla birçok yola başvurmuş, geniş kompozit bilgisi ve bilgisayar teknolojisi kullanılarak karmaşık kadro analiz programları yapılmıştır. Tüm bunlara rağmen sonuçta, sürüş kalitesini belirlemek için gerekli tecrübe deneme-yanılma yolu ve sürüş testleri sonucunda elde edilmiştir. Karmaşık bilgisayarlı analiz programları tasarım işlemlerinde sıçrama yapılmasını sağlamıştır fakat deneme-yanılma metodu da tasarım ve geliştirme için çok önemlidir. En önemli test sürücü yorumlarıdır. (Calfée ve Kelly, 1997)

- **Sürüş Kalitesi**

Mühendisler rijitlikten ödün vermeden ağılıktan tasarruf yapacak karbon fiber kullanma yolları aramışlardır. İlk modellerin aşırı esnek olmaları, kompozit kadrolara kötü bir ün kazandırmıştır, bugünkü kadrolarla bu olumsuz ün yok edilmiştir. Bazı firmalar ise rijitliği yatay ve dikey yönde o kadar arttırmışlardır ki, bisiklete ölü hissi vermişlerdir. (Calfée ve Kelly, 1997)

Bu gibi problemlerden dolayı üreticiler eski tip alüminyum ve çeliklerde kullanılan standart ve büyük boy (oversize) boru ölçülerine geri dönüş yapmışlardır. İleri kompozitler iyi darbe emici özelliği göstermelerine rağmen bu özelliği kadro yapısı

içerisinde gerekli yerlerde kullanarak optimize etmeleri gerekmiştir. Bunun en önemli amacı ise rijitliği yatay yönde arttırmak, dikey yöndeki esnekliği ise korumaktır. (Calfee ve Kelly, 1997)

Diğer sürüş kalitesi problemi ise yapıştırılmış eklerden kaynaklanmaktadır. Aynı özellikte olmayan iki malzeme (alüminyum- karbon) birleştirildiğinde, malzeme süreksizliğinin olduğu bir bölge oluşmaktadır. Bu nedenle gerilmeler kadro boyunca düzgün bir şekilde akmamaktadır. Bunun sonucunda ise bu birleşme kısımlarında gerilmeler birikmektedir. Bu bölgelerde malzemelerin ayrılarak kadro hasarı oluşma ihtimalinin yanında biriken gerilmeler nedeniyle bu bölgelerde titreşimlerinin ve darbelerin emilmesi de güçleşmektedir. (Calfee ve Kelly, 1997)

- **Boyutlandırma**

Bisikletlerde aynen giyeceklerde olduğu gibi çeşitli boylara (bedenlere) sahiptir. Bisikletçinin boyuna, kol ve bacak uzunluğuna bağlı olarak değişen ölçülerde kadrolar bulunmaktadır. Bu boyut performansın yanında sürüş konforunun da sağlanması için çok önemlidir. (Calfee ve Kelly, 1997)

Birçok karbon fiber kadro tasarımı, özellikle tamamen kalıplanan tasarımlar, geniş bir aralıkta boyutlara sahip kadrolar vermekte zorlanmaktadır. Kalıplanmış ve özel bir aerodinamik özelliğe sahip kadro üreten firmaların çoğu bu karmaşık kalıpların maliyeti nedeniyle boyut konusunda daha az seçenek sunmaktadır. Fakat hiçbir aerodinamik özellik veya boru şekli uygun bir sürüş pozisyonundan daha önemli değildir. (Calfee ve Kelly, 1997)

- **Karbon ve Metal Arayüzeyi**

Metal borulu kadroların en önemli dezavantajı birleştirmelerdir. Neredeyse bütün kadro hataları bileşim yerlerinin yakınlarında meydana gelmektedir. Bunun genellikle iki nedeni vardır: Birleşim yerlerinin imalatı (kaynak, yapıştırma) sırasında boruda meydana gelebilecek zayıflıklar (ısıl), veya gerilmelerin birikmesine neden olabilecek bir tasarım. (Calfee ve Kelly, 1997)

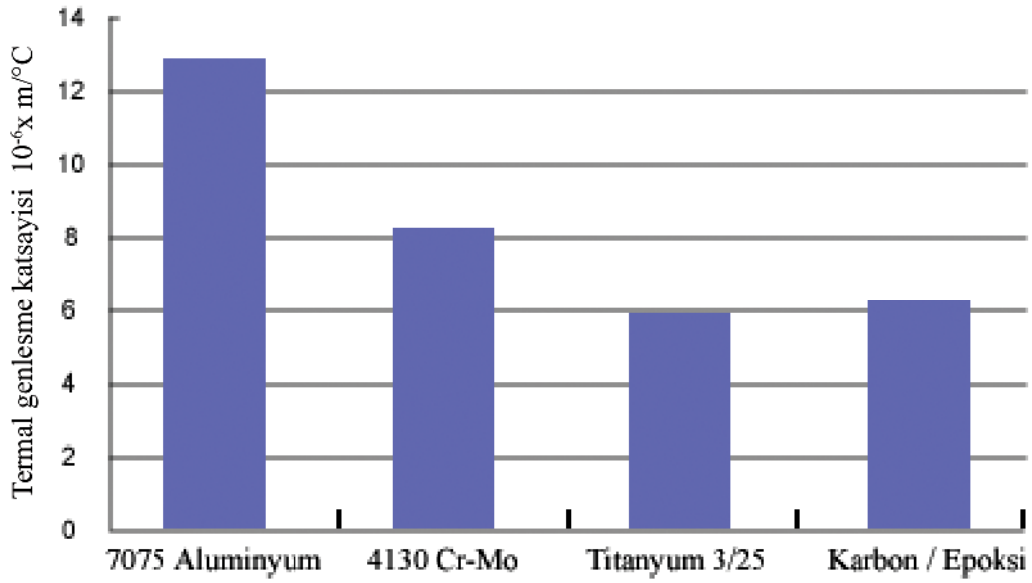
Konvansiyonel karbon fiber kadro üretim yollarından biri olan alüminyum taşıyıcılara, karbon boruların yapıştırılması yöntemi çok fazla tartışma yaratmıştır. Adhesif

yapıştırmanın dayanımı, karbon fiber ile alüminyum arasında oluşabilecek galvanik korozyon ve sıcaklık etkisi altındaki malzemelerdeki farklı termal genişlemenin etkisi en çok tartışılan konular olmuştur. Metal borular yerine basitçe karbon fiber boruların konulması birleşme yerlerindeki problemleri yok etmemiştir. Kadro üzerindeki yapıştırmış bölgeler en yüksek gerilmelerin bulunduğu yerlerdedir (Özellikle orta göbek grubu ve alt-üst boru birleşim yeri). İki farklı malzemenin birleştirilmesi sonucu oluşan malzeme süreksizliği gerilmelerin artmasına ve yoğun gerilme bölgeleri oluşmasına neden olur. Galvanik korozyon, termal genişleme veya yetersiz yapışmanın da etkisi ile bu bölgelerde kalıcı hasar oluşması mümkündür. (Fibersource, 2001)

Yapıştırmada oluşan birleşme hataları genellikle bisikleti güneş ışığı altında 80°C' ye ulaşabilecek bir araba bagajında ya da aşırı soğuk olabilecek bir uçağın kargo bölümünde taşınması sonucu meydana gelebilmektedir. Termal ısı farklarının sürekli bir şekilde devam etmesi sonucu malzemelerde ve onların yapıştırılmış kısımlarında, farklı malzemelerin kullanılmasıyla birlikte hatalar oluşmaya başlar. Hatalar boru ve taşıyıcı birleşimlerinde, orta göbek kabuğunda, alın borusunda ve kablo stoperlerinde meydana gelebilir. (Fibersource, 2001)

Termal genişmesi birbirine yakın malzemeler kullanmak ve birleşim yerlerinde mekanik tutucu görevi görecektir yapısal değişiklikler yapmak bu tür hataların oluşmasını engelleyebilir. Eğer metal parçaların mutlaka kullanılması gerekiyorsa Titanyum kullanılmalıdır. Titanyum, alüminyum ve çeliğe göre daha yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Ayrıca metal olmasına rağmen titanyumun termal genişmesi çelik ve alüminyuma göre karbon fibere daha yakındır. (Calfee ve Kelly, 1997)

Paçaların birleştirilmesi kompozit bisiklet üretiminde başka bir zorluk ortaya çıkarmaktadır. Alüminyum karbon fiber ile birleştirildiğinde iki malzeme arasındaki galvanik korozyon potansiyeli nedeniyle korozyon meydana gelmektedir. Korozyon sorunu sadece alüminyum rekorlarda değil orta göbek çevresinde alın borusu ve oturma borusu içerisindeki alüminyum kısımlarda ve diğer alüminyum kadro parçalarında da ortaya çıkmaktadır. Galvanik korozyonun yanında iki malzeme arasındaki farklı yorulma özellikleri, termal genişleme özellikleri birleştirme yerlerindeki hata riskini arttırmaktadır. (Calfee ve Kelly, 1997)



Şekil 3.4 Termal Genleşme Katsayılarının karşılaştırılması (Materials Selector, 2002)

Karbon kadro üreticileri için karbon fiberin yapıştırma işlemleri her zaman bir problem haline gelmiştir. Adhezif yapıştırmaya etki eden birçok parametre mevcuttur (ömür, karıştırma ve ölçüm kesinliği, insan etkisi vs.) Eğer alüminyum kullanılması gerekiyorsa karbon fiberden yalıtılmalıdır. Bazı tasarımcılar alüminyum anodize ederek bundan korunmaya çalışmaktadır. Fakat bu yöntem sadece birkaç yıl koruma sağlamaktadır. Diğer bir yöntem ise yapıştırma sırasında özel cam takviyeli yapıştırıcılar kullanılmasıdır. (Calfée ve Kelly, 1997)

Yapıştırma ikilemlerinin çözülmesi için kullanılan başka bir yöntem ise yapıya delikler açarak ve kör perçin kullanarak bazı destek plakaları kullanmaktır. Kompozit delikler açmak katmanlar arasındaki bağlantıyı fiberleri keserek engellendiğinden delaminasyona neden olacak başlangıç noktaları oluşturmaktadır. Delaminasyonun başlaması ile kritik bölgelerde gerilme artışı oluşmaktadır ve malzemenin yorulma dayanımı düşmektedir. (Calfée ve Kelly, 1997)

Bu sorunların çözümü metal parça kullanılması gereken yerlerde karbon fiber ile benzer özelliklere sahip metallerin kullanılmasıdır. Önemli bir gereklilik karbon ile yakın termal genleşmeye sahip malzemeler kullanılmasıdır. Titanyum bu duruma en çok uyan

malzemedir. Ek olarak birleştirilme yapılması gereken yerlerde ayrıca mekanik birleşmede sağlayacak tasarımlar yapılmalıdır.

3.4.2 Üretim Yöntemlerindeki Farklar

Karbon fiber ile üretim yöntemlerindeki farklılıklar birçok üreticiyi kapsamaktadır. Her yöntem kendi zorluklarını ve avantajlarını içermektedir.

Kalıpla üretilen kadrolarda her ölçüde kadro için farklı bir kalıp gerekmektedir. Kalıp boşluğunu doldurabilmesi için boruların içerisinde yeterli basınç bulunmalıdır. Bu basınç genişleyen kauçuk mandreller, lastik veya kompozitin katılaşmasına yardımcı olan köpük çekirdek vasıtası ile elde edilir. Bu katılaşma işlemi mutlaka yükseltilmiş bir sıcaklıkta yapılmalıdır, bunun nedeni köpüğün bu sıcaklıkta genişleyerek kompozit malzemeye baskı uygulayabilmesidir. İç lastikli kalıplarda ise kadrolar içeriden bir gaz ya da hava yardımıyla basınçlandırılır. Şişirme kalıp içerisindeki lastik gibi köpük malzemede kadro içerisinde sürekli bir yapı elemanı olarak kalırlar. Şişirme kalıp yöntemi ve köpük ile yeterli basıncı istikrarlı bir şekilde uygulamak zordur. Özellikle dar kavisli bölgelerde iç lastiğin tam şekil alamaması gibi durumlar meydana gelebilir. Yeterli basıncın elde edilememesi durumlarında kompozit malzemede delaminasyona neden olabilecek hava kabarcıkları ve düzensiz sıkıştırmalar meydana gelir.

Ek olarak, kalıp izleri genellikle karbonun birleştiği veya üst üste geldiği kısımlarda oluşmaktadır. Bu irileşmiş izler son yüzey işlemleri için düzgün bir şekilde zımparalanmak veya bir dolgu malzemesi ile doldurulmak durumundadırlar. Çok fazla zımpara veya dolgu işlemi fiberleri ayırabileceğinden kritik bölgelerde dayanım düşüşüne neden olacaktır.

Bir mil etrafında form verilerek oluşturulan karbon borularda istikrarlı bir kalite yakalamak daha kolaydır. Kompozit borular elle yatırma(hand lay-up), örgü ya da helisel sarma (filament winding), gibi bir ya da daha fazla yöntem ile üretilir. (Calfee ve Kelly, 1997)

Helisel sarma ve örgü yöntemlerinin elle yatırma ve tabakalı birleştirme yöntemlerine göre belirgin yapısal avantajları bulunmaktadır. Helisel sarma yönteminde fiberler gerilmeleri en iyi transfer edebilecekleri şekilde yerleştirilirler böylece bütün kompozit

yapı boyunca gerilmeler karşılanabilir. Fiberlerin gergin bir şekilde sarılması ile matriks malzemesinin donması sonucu ön gerilmeli bir yapı oluşturulmuş olur.

Helisel sarılı borularda, malzemede ek yeri ve üst üste binmeler olmadığı için yüksek yapısal verim ve maksimum yorulma ömrü elde edilir.

3.4.3 Hasar Dayanımı

Sönümleme gibi, darbe dayanımı da her kompozitte bulunmaz fakat tasarımla elde edilebilir. Bir bisiklet kadrosu birçok küçük çarpışmalara, düşüşlere, nakliye sırasında kötü koşullarda depolanmaya maruz kalır. Bunlar gibi çok sayıda aşındırıcı etkiyle ya da kadro ile dişli arasına zincir sıkışması gibi yıkıcı bir etkiyle başa çıkabilmek için kompozit üreticileri farklı yöntemler geliştirmiştir. (Calfée ve Kelly, 1997)

Bazı üreticiler üzeri karbon fiber ya da kevlar ile sarılmış alüminyum çekirdekli borular kullanmışlardır. Bu metalik çekirdek birçok yıpranmaya karşı dayanım sağlarken aynı zamanda diğer metalik parçalar ile birleştirmede de kolaylık sağlamaktadır. Fakat metalik çekirdek çok daha ağır borular üretilmesine neden olduğu için çok fazla tercih edilmez. Ufak boyutlardaki aşınma ve yıpranmaları önlemek için diğer yöntemler ise dış yüzeyde üretilen, enamel kaplama yapılması, kurban edilebilir dış katman kullanılması ya da borunun dış katmanlarında kevlar ya da bor fiberleri kullanılmasıdır. (Calfée ve Kelly, 1997)

Mil etrafında form verilen ön imalatlı kompozit borular genellikle en yüksek hasar toleransına sahiptir. İç lastikli (keseli) kalıp yöntemi (inner-bladder molding) ile üretilen kadrolar düşük basınç ve tutarsız et kalınlığı nedeniyle hasarlara karşı daha dayanıksızdır. Herhangi bir boru üretiminde bisikletin en iyi sürüş karakteristiğini ve hasar dayanımını sağlaması için minimum et kalınlığı uygun boru çapı ile dengeli olmalıdır. (Calfée ve Kelly, 1997)

3.4.4 Üretim Metotlarının Karşılaştırılması

Aşağıda karbon bisiklet kadrosu üretiminde en çok kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 3.3 Üretim yöntemlerinin karşılaştırılması – 1

Üretim Yöntemi	Karbon borular / Alüminyum rekorlar (lug)
Avantajları	• Ucuz karbon tasarımı • Çelik kadrolardan daha hafif • Geleneksel görünüm • Basit tasarım • Genellikle borularda iyi darbe dayancı
Dezavantajları	• Metal taşıyıcılar yüzünden sınırlı tasarım • Birleşme yerlerinde yıkıcı hasar riski (galvanik korozyon, termal genleşme yada yetersiz yapışma) • Karbonun avantajlarını geliştirmede başarısız • Yapıştırılmış ve kör perçinli parçalar • Birleşme kısımlarında yüksek gerilme • Malzeme süreksizliği nedeniyle konforsuz sürüş • Tamir edilemez
Örnekler	• Look KG serisi • Time Helix • Eski Trek 2000'ler
Üretim Yöntemi	Alüminyum borularla birleştirilmiş karbon borular
Avantajları	Kaynaklı bir kadroya karbon eklemenin en ucuz yolu Çelik kadrolardan hafif Geleneksel görünüm Basit tasarım Genellikle borularda iyi darbe dayancı Özel geometri mümkün
Dezavantajları	Karbonun avantajlarını geliştirmede başarısız Zamanla alüminyum-karbon arasında galvanik korozyon İki malzemenin üst üste binmesi sonucu yapıda fazlalıklar Tamir edilemez Malzeme süreksizliği nedeniyle konforsuz sürüş
Örnekler	Pinarello Prince Bir çok Tayvan kaynaklı firma
Üretim Yöntemi	Karbon borular ile birleştirilmiş titanyum borular
Avantajları	Kaynaklı kadroya karbon ilave etmenin ucuz bir yolu Çelik kadrolardan hafif Geleneksel görünüm Basit tasarım Genellikle borularda iyi darbe dayancı Özel geometri mümkün
Dezavantajları	Karbonun avantajlarını geliştirmede başarısız Titanyuma adeziv birleştirme zorluğu Malzeme süreksizliği nedeniyle konforsuz sürüş İki malzemenin üst üste binmesi sonucu yapıda fazlalıklar ve gereksiz ağırlık Tamir edilemez
Örnekler	Seven Odonata Serotta Ottrott Bir çok Tayvan kaynaklı firma

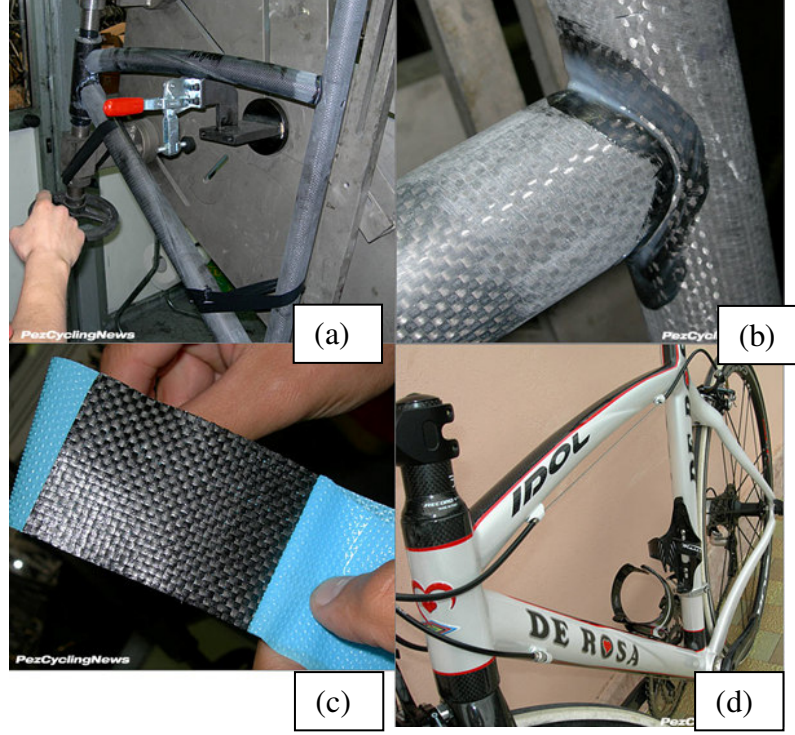
Tablo 3.4 Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması – 2

Üretim Yöntemi	Karbon borular / Kalıplanmış karbon rekorlar (lug)
Avantajları	Düşük ağılık Birleşim yerlerinde galvanik korozyon sorunu yok Metal taşıyıcılara göre daha iyi bir yaklaşım İyi fiyat/avantaj oranı (Trek OCLV ve Calfee Luna) Özel tasarım mümkün (lakin
Dezavantajları	Birleşme yerlerindeki gerilmelerin izlediği kararsız yol, yapışma bölgelerinde birikmelere ve muhtemel sorunlara yol açmaktadır. Kalıplanmış taşıyıcı kısımlarda belirgin ek yerleri ve düzensiz et kalınlığı (Trek) Alın borusunda, orta göbekte ve drop-outlarda fazlaca alüminyum kullanımı Gövdede dolgu kullanımı ve dolguyu kapatmak için boya uygulanması (Trek only) Birleşmelerde kararsız gerilme dağıtımı (Luna and Dragonfly have tapered lugs)
Örnekler	Trek OCLV Parlee Colnago C-40 Calfee Luna and Dragonfly

**Şekil 3.5 Trek OCLV (Optimum Compaction Low Woid: Yüksek Sıkıştırma Düşük Boşluk) Karbon-kompozit alın rekoru (Lizotte, 1996)****Şekil 3.6 Keseli kalıplama (Bladder Molding) yöntemi ile üretilen Trek alın rekoru (Lizotte, 1996)**

Tablo 3.5 Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması - 3

Üretim Yöntemi	Köpük Çekirdek
Avantajları	Karmaşık şekillerde form alabilme özelliği (aerodinamik, estetik) Rijit bir kadro imal edilebilir Tek parça halinde üretilen modellerde yüzey kısmında fiberler sürekli olarak bulunur
Dezavantajları	Yüksek boşluk içermesi Köpük üzerinde düzensiz basınçlar Pahalı olması Alüminyum iç borular ve drop-outlar kullanılması Kalıplanma sonrasında kalıp izleri ve ek yerleri oluşması Ağırlık tasarrufu sağlamaması Köpük su emilimine neden olabilir Pahalı kalıplar nedeniyle sınırlı ölçülerde yapılabilir
Örnekler	Softside Ironman Zipp 2001 Aegis ve Kestrel
Üretim Yöntemi	Karbon borular/Karbon birleşimler/Basınçlı Tabakalama
Avantajları	Düşük ağılık Fiber takviyeli birleşimlerin yorulma dayanımı adhezif birleştirmelerden daha yüksektir Karbon – karbon laminasyonu en iyi birleşim dayanımını ve gerilme akışını sağlar Taşıyıcı olmayan kadro tasarımı Yapısal karbon üzerinde desteksiz delikler bulunmaz Ek yerlerinde kullanılan yapısal güçlendirme kumaşlarının sayesinde yanal rijitlik elde edilmesi Bütün birincil metal parçalar titanyumdan yapılmıştır. Özel sürücü boyutlarına, geometrisine ve ağırlığına göre üretilebilir. Kolay tamir edilir
Dezavantajları	Sınırlı aerodinamik getiriler
Örnekler	Carbonframes Sapphire and Tetra Calfee Tetra 1991-1993 LeMond Carbon



Şekil 3.7 Karbon boruların birleştirilmesi yöntemiyle üretilen DeRosa Idol kadrosunun üretiminden resimler.

- (a) Karbon borular uygun açılarda ve boylarda kesilerek eklenmekte. (b) Borular birbirlerine epoksi ile yapıştırılmakta. (c) Ek bölgelerine ekstra karbonfiber bantlar ile takviye yapılmakta. (d) Kadronun tamamlanmış hali. (Pezcyclingnews)

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT BİSİKLET KADROSUNUN İMALİ VE UYGULANAN DENEYLER

4.1 ÖN ÇALIŞMALAR

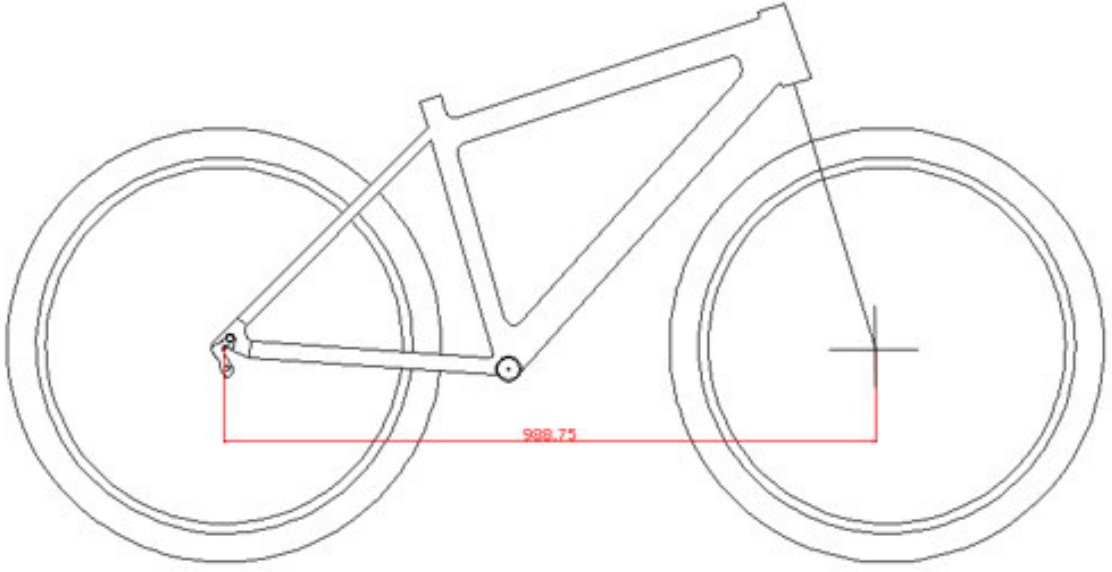
4.1.1 Tasarım

4.1.1.1 Boyutlandırma ve CAD tasarımı

Tasarımın ilk aşamalarında polistiren köpük kullanarak bir çekirdek oluşturmak ve bu çekirdeğin etrafına fiber ile sararak kadronun oluşturulması amaçlanmıştır. Fakat daha sonra kadro içerisinde kalacak olan polistrinenin ağırlık artışına ve kadro içerisine girebilecek olan suyu emmesi ihtimali düşünülerek çekirdek kullanımından vazgeçilmiştir. Bunun yerine aynı zamanda hem dayanımı arttırıcı bir etkisi olacak hem de ağırlık artışını azaltacak karbon fiber iç borular kullanılması düşünülmüştür. Bu iç borular uygun çaplarda metal veya polietilen borular üzerine sarılarak üretilmiştir.

Elle Yatırma yönteminin seçeneklerinin kısıtlı olmasından dolayı tasarım standart diagonal kadro temel alınarak oluşturulmuştur. Önceleri tamamen karbondan yapılması tasarlanan kadro daha sonra karbon fiber-alüminyum melezi olarak değiştirilmiştir. Bunun öncelikli sebeplerinden biri bazı parçaların (özellikle arka çatal kısımları) el yatırması yöntemi ile üretiminin zorlukları ve çekirdek olarak aynı formda köpük kullanılması gerekliliğidir.

Aşağıdaki resimlerden de görüleceği gibi CAD çizimleri ile kadro geometrisi, boru açıları, uzunlukları ve alüminyum parçaların boyutları belirlenmiştir. 3 boyutlu tasarımlarda kadronun tamamlanmış halinin görüntüsü elde edilmiştir. Bu görüntüler kompozitin yapımı sırasında kullanılacak tezgâhın da tasarlanmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.3 Tasarlanan kadronun 100mm sıkışma mesafesine sahip ön amortisör ile tekerlekler arası mesafesi



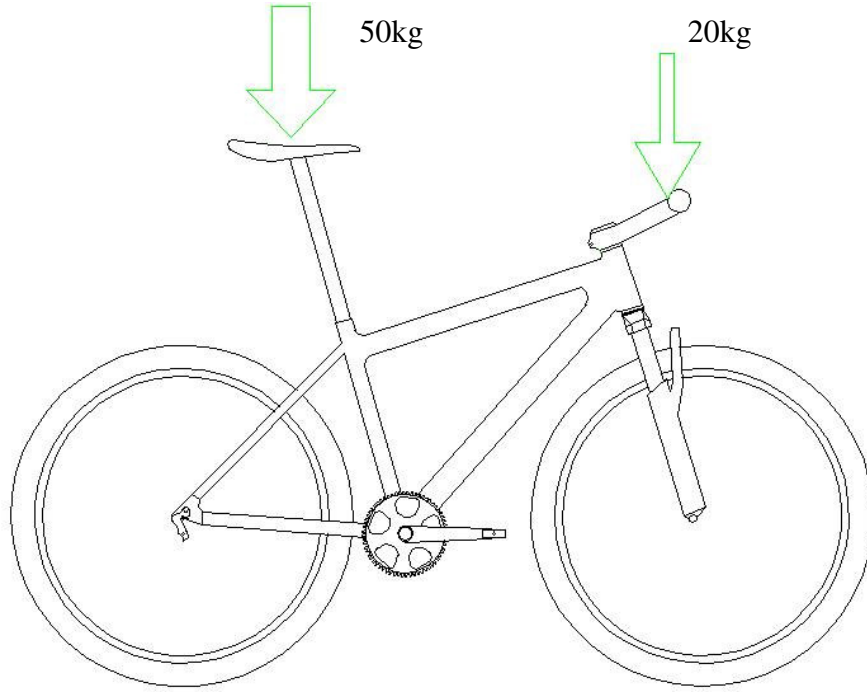
Şekil 4.4 Tasarlanan kadronun 3B görünümü



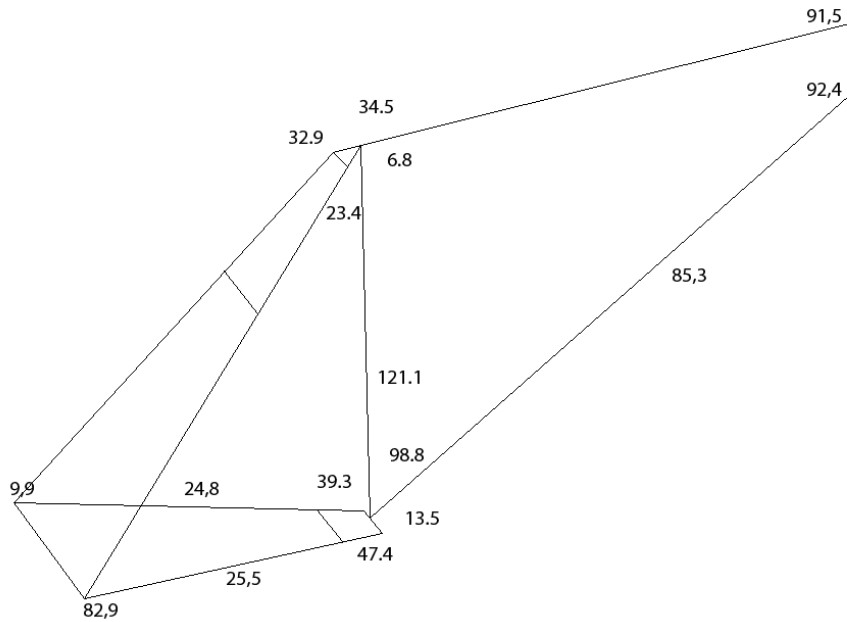
Şekil 4.5 Tasarlanan kadronun 3B görünümü (profil)

Hibrit kadronun ön üçgen kısmı (üst boru (top tube), alt boru (down tube) ve oturma borusundan (seat post) oluşan kısım karbon-epoksi kompozit, arka üst (seat stay) ve alt çatal (chain stay) kısımları alüminyum kullanılarak yapılmıştır. Arka bölümü oluşturmak için, ölçülere uygun şekilde bir alüminyum kadro sadece arka çatal kısımları kalacak şekilde kesilmiştir. Şekil 4.2 'de alüminyum bölgenin CAD çizimi görülmektedir.

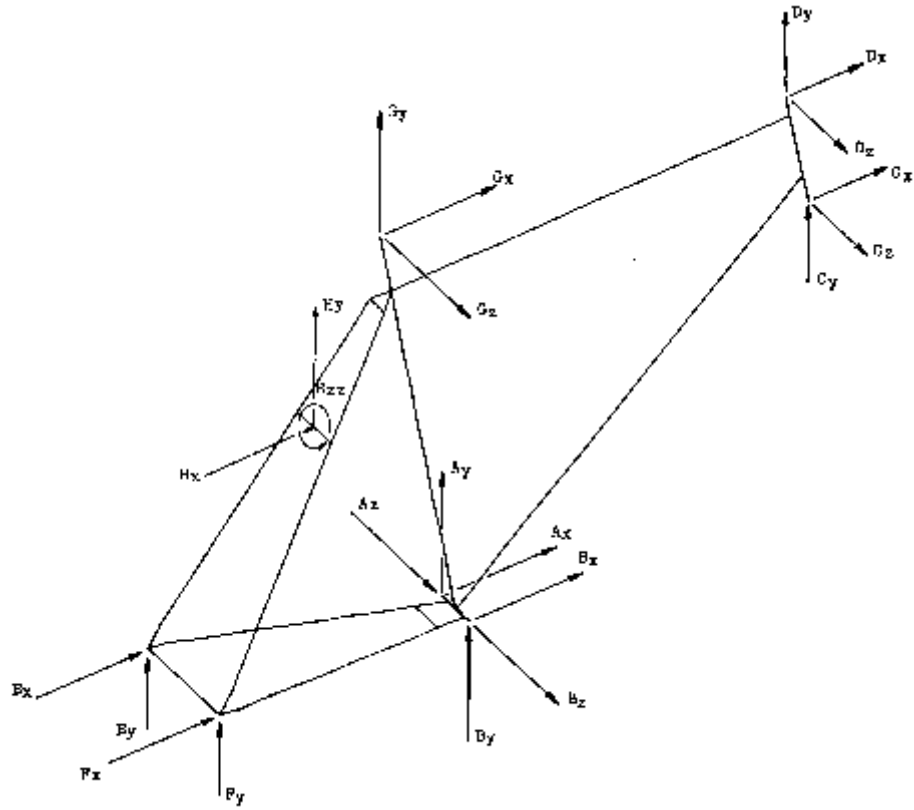
Şekil 4,6'da 70 kg ağırlığındaki bir bisikletçinin kadro üzeride ağırlığının dağılımı görülmektedir. Bisikletçi ağırlığının yaklaşık %70'i sele üzerinde, %30'u gidon üzerinde dağılmaktadır. Bisiklet kadroları üzerinde en fazla gerilme yokuş tırmanışları sırasında oluşmaktadır. Şekil 4,7'de yaklaşık 70 kg ağırlığındaki bir bisikletçinin yokuş tırmanışı sırasında kadro üzerinde oluşan gerilmeler görülmektedir. Bu gerilmeler bulunurken analiz sırasında kadro üzerinde bisikletçi ağırlığının yanı sıra pedal çevrimi sırasında oluşan kuvvetlerde eklenmiştir, Şekil 4.8 de bu kuvvetlerin yönleri gösterilmektedir. Gerilmelerin en fazla olduğu kısımlar Şekil 4.7 'de de görülebileceği gibi sırasıyla oturma borusu alın borusu birleşimleri ve alt boru şeklindedir. Kadronun tasarımı sırasında bu bölgelerde gerilmelerin yüksek olduğu göz önünde bulundurularak fiber katman sayıları diğer bölgelere göre daha fazla tutulmuştur.



Şekil 4.6 70kg ağırlığındaki bir bisikletçinin kadro üzerindeki yük dağılımı, bisikletçi yaklaşık ağırlığının %70'i sele üzerine, %30'u gidon üzerine binmektedir.



Şekil 4.7 70 kiloluk bir bisikletçinin yokuş tırmanırken kadro üzerinde oluşan gerilmeler (MPa) (Peterson ve Londry, 1986)

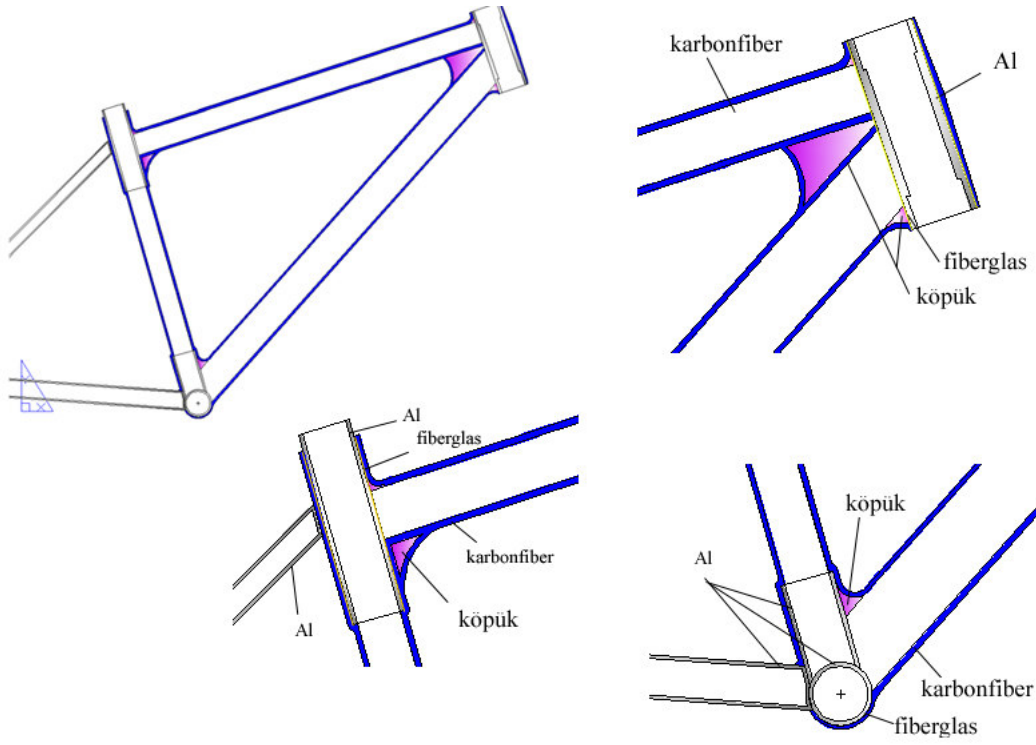


Şekil 4.8 Gerilmeler bulunurken kadro üzerinde uygulanan kuvvetler ve yönleri (Peterson ve Londry, 1986)

4.1.1.2 Boru Çapları, Fiber Yönleri ve Yerleşimi

Kullanılan karbon iç borular ve üzerine ilave edilen karbon lifleri sayesinde boru çapları ve et kalınlığı bisiklete gelebilecek yükleri karşılayabilecek şekilde ayarlanmıştır. Gerilmelerin muhtemel yönlerine paralel fiber açıları kullanılmıştır.

Kadronun yapısını oluşturan borular, bisiklet üzerindeki gerilmeleri taşıyabileceği test edilmiş bir seri üretim alüminyum kadroda kullanılan boruların çaplarında kullanılmıştır. Alüminyum kadronun boru çaplarına bağlı kalarak üretim yapıldığından karbon borularında bu kuvvetleri karşılaması beklenmektedir. Karbon fiber, kullanılan kumaşın tek eksenli olması sebebi ile katmanlar boruların yatay eksenine $+30^\circ$, -30° açı yapacak şekilde yönlendirilmiştir. Gerilmelerin fazla olduğu kesişme noktalarında bu katmanlara ilave olarak gerilmelerin yönlerine paralel açılarda ekstra güçlendirme katmanları ilave edilmiştir.



Şekil 4.9 Kadronun sarım işlemleri bittikten sonraki kesit görünümü

Tablo 4.1 Kadro'nun çeşitli bölgelerindeki katman sayıları ve boru çapları

Bölge	Katman Sayısı	Dış Çap (mm)
Üst boru	6	36
Alt boru	6	48
Oturma borusu	6	33.5
Alın borusu	6	46
Ön kesişme bölgesi	8	-
Arka üst kesişme bölgesi	8	-
Arka alt kesişme bölgesi	10	-
Çeki borusu köprüsü kaplaması	3	-

4.1.2 Malzemelerin Seçimi ve Temini

Kadronun yapımı sırasında kullanılan başlıca malzemeler şunlardır;

- **Karbon Fiber:** Metyx Unidirectional (Tek Eksenli) 12K, 330gr/m²



Şekil 4.10 12K Tek eksenli karbon fiber.

- **Epoksi:** West System 105 reçine / 206 sertleştirici

Kullanılan reçine ve sertleştirici karışımının mekanik özellikleri ve diğer sertleştiriciler ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması Tablo 4.2’de verilmiştir.

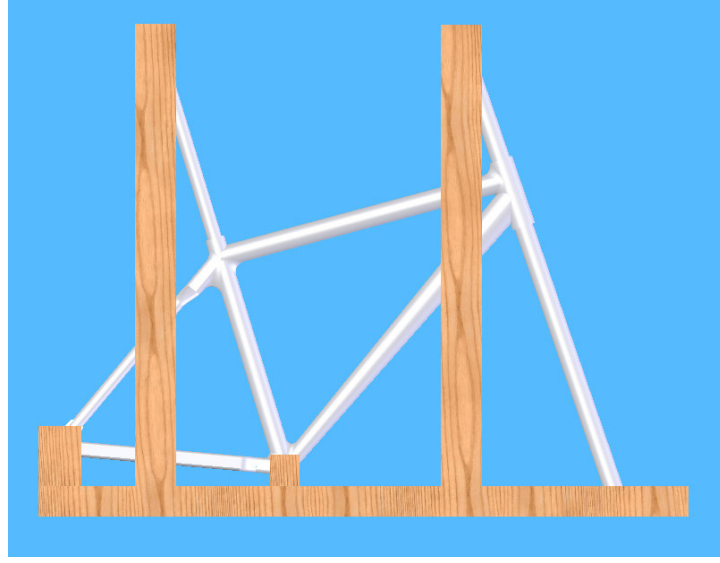
Tablo 4.2 West System epoksilerinin değişik reçine – sertleştirici karışımlarında elde edilen özellikler

Özellik	KARIŞIM			
	105/205	105/206	105/207	105/209
Hacimce karışım oranı	5.07:1	5.0:1	3.4:1	3.56:1
Karışım viskozitesi 22°(cPs)	975	725	775	650
Pot ömrü 100 g, 22°C (dak.)	12	21.5	26.4	62
Katılaşmış Reçinenin özellik ağırlığı	1.180	1.180	1.16	1.16
Sertlik, 1 gün (Shore D)	80	80	78	77
Sertlik, 2 hafta (Shore D)	83	83	82	82
Basma Dayanımı, 1 gün (MPa)	69.7	55	41.4	26
Basma Dayanımı, 2 hafta (MPa)	78	79.2	74.7	82.4
Çekme Dayanımı (MPa)	54	50.4	51.7	50.2
Kopma Uzunluğu (%)	3.4	4.5	3.4	3.6
Çekme Modülü (MPa)	2813	3171	2826	2744
Eğilme Dayanımı (MPa)	97.2	81.4	89.7	85.9
Eğilme Modülü (MPa)	3178	3102	3543	2737

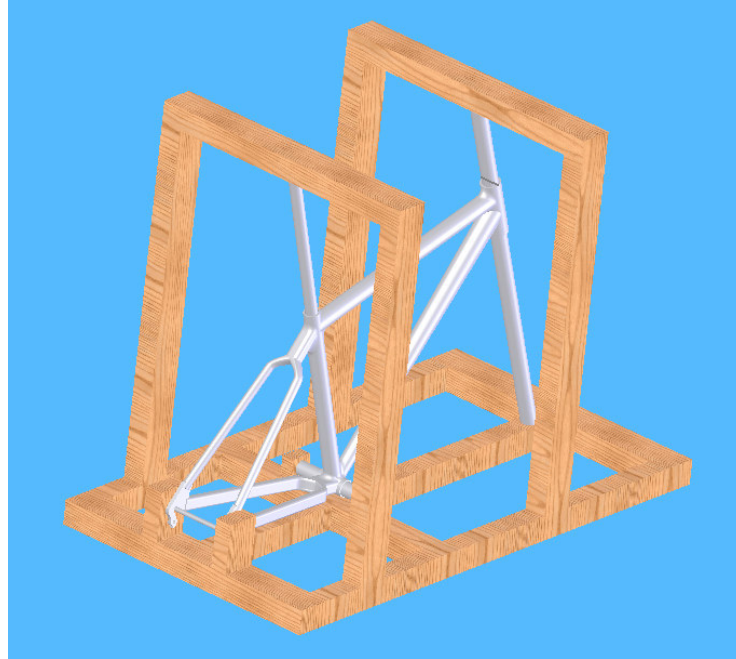
- **Cam Fiber:** West System plain weave tape
- **Çekirdek:** Polistiren Köpük
- **Alüminyum Parçalar:** Al 7005

4.1.3 Kadro Yapımında Kullanılacak Tezgahın (Jig) Yapımı

Alüminyum arka çatal ve ön kısmı oluşturacak olan karbon boruların birleştirilmesi ve diğer katmanların sarılması işini rahat bir şekilde yapabilmek için kadronun sabit bir şekilde doğru açılarda ve geometride durması gerekmektedir. Bunu sağlamak için kadroyu belirli bölgelerden sabitleyecek bir tezgâh tasarlanmıştır. Ahşap malzemeden üretilen tezgâha şaft borusu, orta göbek, oturma borusu ve arka teker bağlantı noktalarından kadroyu sabitlemek için gerekli aparatlar yapılmıştır.



Şekil 4.11 Tezgahın 3B görünümü (profil)



Şekil 4.12 Tezgâhın 3B görünümü

4.2 KADRONUN ÜRETİM AŞAMALARI

4.2.1 Alüminyum Kısımların Hazırlanması

- Arka üçgeni oluşturan, arka çatal ve çeki boruları hazır bir Alüminyum kadrodan kesilerek elde edilmiştir. Kullanılan alüminyum arka üçgenin boyutları ve CAD resmi Şekil 4.2 de verilmiştir.
- Orta göbek ve sele borusu yatağını içeren alüminyum kısımlar, kadrodan kesildikten sonra kesilen bölgelerin ağızları taşlanarak temizlenmiştir. Daha sonra Alüminyum üzerindeki boya ve parlak yüzeyler zımpara ile kaldırılmıştır. Özellikle Karbon fiber ile bağlantı sağlayacak olan kısımlar daha kalın zımparalar ile pürüzlü hale getirilmiştir, bu bölgelerde alüminyum ile karbonun korozyonunu engellemek için alüminyum üzerine bir fiberglas katman ilave edileceği için mekanik bağlantının sağlam olması için bu işlemler gereklidir.
- Maşa şaft borusunun geçtiği yatağı oluşturan “alın borusu” yine var olan alüminyum kadrodan kesilerek elde edilmiştir. Kaynaklı bölgeleri taşlanarak düzleştirilmiş ve yüzeyi zımpara ile temizlenmiştir. Alın borusu da karbon fiber ile temas halinde bulunacağından burada da fiberglas katman kullanılmıştır.
- Alüminyum kadrodan kesilerek parçalar tezgaha monte edilmeye hazır hale getirilmiştir. Arka üçgen mil bağlantılarından (drop-out) ve orta göbek kısmından, alın borusu ise içerisinden geçen bir şaft yardımıyla uygun açılarda tezgâha monte edilmiştir. (Şekil 4.13)

4.2.2 Kompozit İç Boruların Hazırlanması

- Kompozit yapının iç kısmını oluşturacak olan karbon boruları üretmek için bu boruların iç çapında sarım sırasında çekirdek görevi görecek borular kullanılması gerekmektedir. Bunun için üretim sırasında 32mm ve 40mm çaplarında PTE borular kullanılmıştır.

- Karbon fiber boruların sarım işlemlerinden sonra PTE boruların kolayca içeriden çıkarılmasını sağlamak için yüzeyleri yağlayıcı ile kaplanmıştır. Yağlayıcı üzeri ise streç film ile kaplanarak sarım sırasında epoksi ile yağlayıcının boru üzerinden uzaklaşması engellenmiştir.
- Karbon fiber kumaş boru etrafına +30 -30 açılarında spiral şekilde sarılarak kompozit oluşturulmuştur. Açılarını sağlamak amacıyla boru çapına uygun masterlar oluşturulmuştur bu masterlar sayesinde hangi boru çapında ne kadar genişlikte fiber kullanılacağı tespit edilmiştir. İç borular tek kat sarımdan oluşturulmuştur. Böylece daha fazla katman kullanılarak oluşacak gereksiz ağırlık artışından kaçınılmıştır.
- Sarım esansında öncelikle fiberlerin altta kalan kısımları epoksi ile ıslatılmıştır. Uygun açılarda sarılan fiberlerin üst kısımları tekrar fırça yardımıyla epoksi ile ıslatılmıştır. Yeterli basıncı oluşturmak ve formu korumak için PVC bant (elektrik bandı) boru üzerine yeterli gerginlikte sarılmıştır. Bant ile katman arasında ki fazla epoksinin dışarı çıkması için ise elektrik bandına delikler açılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken bandın sarılması esnasında gerginliğin iyi ayarlanması ve yapışkan kısmın üste gelmesidir. Gerginliğin iyi ayarlanmaması durumunda epoksi bant sarımları arasında şişkinlik yaratacaktır ve bunun sonucunda katılma sonrası dalgalı bir yapı elde edilecektir. Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17’de iç boruların hazırlanışı görülmektedir.



Şekil 4.13 İç katman borularının hazırlanması. Fiberler sarılmış ve üzerleri pvc bant ile kaplanmış durumda



Şekil 4.14 İç katman borularının sarılması

- İç borular PTE borulardan ayrılarak uygun uzunluklarda kesilmiştir. Karbon iç boruların alüminyum parçalar ile birleşeceği kısımlarda kurtağızı açılmıştır. Kurt ağızları açılırken ağız açılarının formunu açık şekilde kağıda basmayı sağlayan

“Tubemitter” programı kullanılmıştır. Bu sayede boruların düzgün bir şekilde birleştirilmesi ve fiber israfından kaçınmak mümkün olmuştur.



Şekil 4.15 Üst ve alt iç katman boruları monte edilmiş durumda, oturma borusu sarımı tamamlanmış kuruması bekleniyor.

- Karbon borular ile alüminyum parçalar birleştirilmeden önce alüminyum ve karbonun birbirleri ile temas eden kısımları cam fiberi ile sarılmıştır. Böylece Karbon ile alüminyumun temas eden kısımlarındaki muhtemel galvanik korozyon engellenmiştir.
- Cam fiberlerin sarımından sonra karbon ile metal kısımlar epoksi ile yapıştırılmıştır.



Şekil 4.16 Üst ve alt borular aln borusu üzerinde kurt ağı birleşimi ile birbirlerine eklenmiş durumda.



Şekil 4.17 Üst boru – oturma borusu birleşimi ve alüminyum-karbon-epoksi arayüzünde cam fiber kaplaması



Şekil 4.18 Bütün iç borular tezgah üzerinde diğer alüminyum parçalar ile birleştirilmiş durumda

4.2.3 Karbon Fiber Üst Katmanların Sarılması Öncesi Hazırlıklar

- İç borular ile alüminyum kısımların birleşimi tamamlandıktan sonra iç boruların yüzeylerindeki parlak epoksi tabakası ve düzensizlikler zımpara ile temizlenmiştir.
- Kesişme kısımları Şekil 4.18’de görüldüğü gibi keskin bir şekil oluşturmaktadır. Üst katman fiberlerin sarımı sırasında bu keskinlik sarım işlemini hem zorlaştıracığından hem de fiber sürekliliğini bozacağından geçişlerin yumuşatılması gerekmektedir. Ayrıca geçişlerin yumuşak olması gerilim çizgilerinin daha rahat bir şekilde geçişini sağlayacaktır ve ekstra gerilim yığılmalarını engelleyecektir. Bunu sağlamak amacıyla birleşim yerlerine polistiren köpük takviyesi yapılmıştır. Bu köpük kısımlar üst katmanların sarımı sırasında eğimli bölgelerde çekirdek görevi göreceklerdir.



Şekil 4.19 Üst ve alt iç boruların kesişme noktalarında dolgu malzemesi köpük görülmekte.



Şekil 4.20 Üst boru ve oturma borusu eki ve köpük dolgu.

- Köpük kısımlara gerekli şekiller verildikten sonra kadro diğer katmanların sarılması işlemi için hazırlanır. İç karbon fiber borular üste gelecek katman ile iyi bir fiziksel ara yüzey oluşturmaları için zımparalanır ve üzerindeki kaygan epoksi tabakası kaldırılır.

4.2.4 Sürekli Karbon-Fiber Sarımlarının Yapılması

- Hazırlıklar tamamlandıktan sonra kadroya esas birleştirmeyi sağlayan sürekli sarım işlemlerine geçilmiştir.
- Sarım için gerekli fiber kumaşlar kesilerek kadro üzerinde henüz kuru iken formu alıp almadığı kontrol edilmiştir. Gerekli açığı sağlayacak genişlikte kesilen fiberler kadro üzerine $\pm 30^\circ$ açılarında spiral şekilde sarılmıştır.
- Gerekli miktarda epoksi uygun oranlarda reçine ve sertleştirici ile karıştırılarak hazırlanmıştır.
- Sarım sırasında yine iç boruların hazırlanması sırasında olduğu gibi yüzey ve fiberler epoksi ile ıslatılır. Sarımı biten fiber üzerine tekrar epoksi tatbik edilir. Formu koruması ve gerekli baskıyı oluşturması için önceden üzerine delikler açılmış olan elektrik bandı burada da kullanılır.



Şekil 4.21 İlk karbon fiber katmanı sarım öncesi alıştırılıyor.



Şekil 4.22 İlk karbon fiber katmanı sarım işlemi tamamlanmış ve üzeri PVC bant ile sarılmış durumda

- Gerekli katılaşma süresi boyunca bekledikten sonra bantlar kadro üzerinden sökülür ve diğer katmanların ilavesi için hazırlanır. Sarım işlemleri $\pm 30^\circ$ açılarında devam ettirilir. Her sarımdan sonra yüzeydeki parlak epoksi tabakası zımpara ile kaldırılır.



Şekil 4.23 Üst ve Alt boruların ilk katman sarımları tamamlanmış ve zımparalanmış



Şekil 4.24 Katılaşması tamamlanmış ilk katman. Sökülen PVC bantların izleri görülmekte.



Şekil 4.25 İkinci katmanlar sonrası kadronun görünümü.



Şekil 4.26 İkinci katmanlar sonrası kadronun görünümü



Şekil 4.27 Orta göbek ile oturma borusu bağlantısı



Şekil 4.28 Beşinci katmanlar sonrası ön tarafın görünümü



Şekil 4.29 Son katmanlar sarılırken kadronun ve tezgahın görünümü



Şekil 4.30 Kadronun sarım işlemleri tamamlanmış ve zımparalanmış



Şekil 4.31 Kablo Stoperleri

- Sarım işlemlerinden sonra kablo stoperleri yerlerine epoksi ile yapıştırılarak monte edilir.

4.2.5 Son Yüzey İşlemleri Ve Boyama

- Son katman işlemleri de biten kadro katılaşma süresi sonunda çeşitli yüzey işlemlerine tabii tutulur. Zımparalama ve temizleme işlemlerinin ardından yüzey tekrar epoksi ile kaplanır. Bu kaplama en dış katmandaki fiberler için ekstra koruma sağlamaktadır. Kesişme noktalarındaki ufak dolgu gerektiren bölgeler hazırlanan yarı katılaşmış epoksi macun ile doldurulmuştur. Daha sonra bu kısımlar zımpara ile işlenmiştir

- Dolgu ve zımpara işlemleri bittikten sonra kadronun alüminyum kısımları boyanmıştır.
- Boya işlemlerinden sonra tüm kadro akrilik vernik ile kaplanmıştır.



Şekil 4.32 Kadro boyanmış ve verniklenmiş durumda



Şekil 4.33 Kadronun tamamlanmış hali, orta göbek ve çeki borusu köprüsü

- İmalat sonunda elde edilen toplam kadro ağırlığı : 1650 gr.

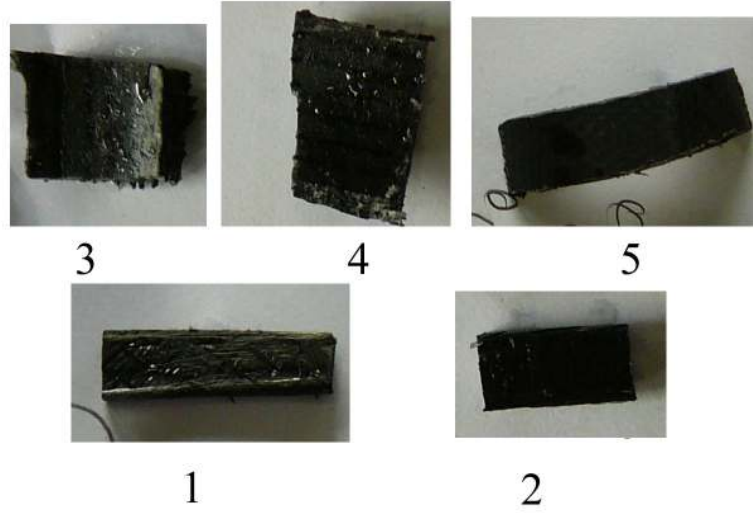


Şekil 4.34 Tamamlanmış olan kadro komponentler ile toplanarak sürüşe hazır haldedir

4.3 DENEYLER

4.3.1 Yoğunluk Deneyi

TS 1310 Standardına göre kadro borularından alınan numunelerin yoğunluk deneyi yapılmıştır. Şekil 4.37’de görülen deney numunelerinin Şekil 4.40’da görülen hassas terazide kuru ve su içerisinde asılı haldeyken ağırlıkları ölçülmüştür. Bu ölçümlerden yola çıkılarak deney numunelerinin yoğunlukları belirlenmiştir. 1. 2. 3. ve 4. numuneler kadro üretiminde kullanılan kompozit borulardan kesilerek çıkarılmıştır. 5. numune ise “Reynolds” firmasının “UL” model yol bisikleti ön maşasının şaft borusunda kullanılan karbon kompozittir. Deney sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.35 Ağırlık ve yoğunluk ölçümü yapılacak numuneler



Şekil 4.36 Ağırlık ve hacim ölçümü yapılacak olan hassas tartı

Tablo 4.3 Numunelerin ağırlık ve yoğunluk ölçüm sonuçları

Numuneler	Kuru ağırlık (g)	Sudaki ağırlık (g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Ortalama Yoğunluk (g/cm ³)
1.Numune	0,33	0,12	1,57	1,54
2.Numune	0,36	0,14	1,63	
3.Numune	0,80	0,21	1,35	
4.Numune	0,93	0,36	1,63	
5.Numune *	0,74	0,46	2,64	2,64

* Referans numune (Reynolds UL yolbisikleti maşasının şaft borsunda kullanılan karbon fiber kompozit)

4.3.2 Fiber Hacim Oranının Saptanması

Üretilen kompozit malzemenin fiber / matriks oranını bulmak amacı ile yakarak hacim tayini deneyi yapılmıştır. Deney ISO 1172 standardına uygun olarak yapılmıştır. Şekil 4.11 de görülen ısıtıl işlem fırını kullanılarak 350°C 'de 30dk süre boyunca yakılan numunelerin yapısında bulunan epoksi buharlaştırılarak geriye kalan fiberlerin ağırlıkları tespit edilmiştir. Elde edilen değerlerin ilk ağırlığa oranlanması ile fiber/matriks oranı hesaplanmıştır. Elde edilen değerler ve deney sonuçları Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Hacim oranı tayini sonuçları.

Numuneler	İlk ağırlık M_1 (gr)	Son ağırlık M_2 (gr)	Epoksi yoğunluğu (g/cm ³)	Ağırlıkça epoksi oranı (%)	Hacimce epoksi oranı (%)	Hacimce Fiber oranı (%)
1. Numune	0,93	0,18	1.18	73,12	68,12	31,88
2. Numune	0,33	0,08	1.18	75,03	64,78	35,22
3. Numune	0.35	0,08	1,18	74,25	62,82	37,18
4. Numune	0.42	0,09	1,18	76,18	65,43	34,57
5. Numune	0.36	0,11	1,18	77,24	66,61	33,39
6. Numune*	0,74	0,56	1.18	24,30	22,13	77,87

* Referans numune



Şekil 4.37 Hacim oranı tayin edilecek olan numuneler ve seramik kayıkçıklar



Şekil 4.38 Hacim oranı tayini sırasında kullanılan hassas terazi



Şekil 4.39 Hacim oranı tayini sırasında kullanılan fırın



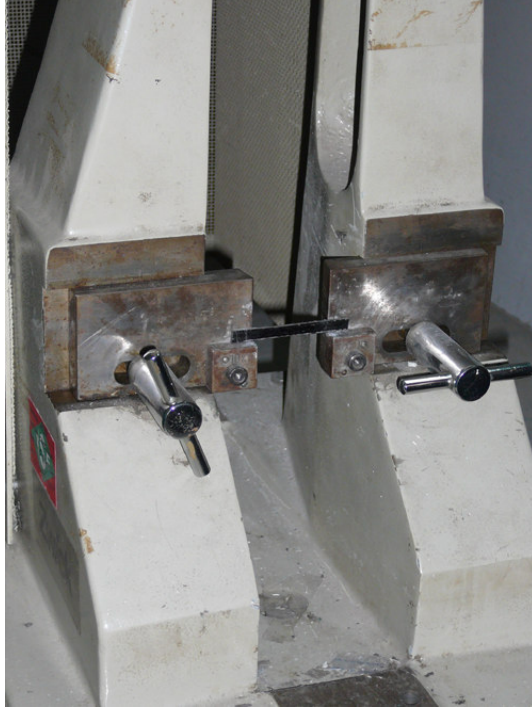
Şekil 4.40 Yakıldıktan ve epoksi içeriği uçurulduktan sonra numunelerin görünümü

4.3.3 Darbe Deneyi

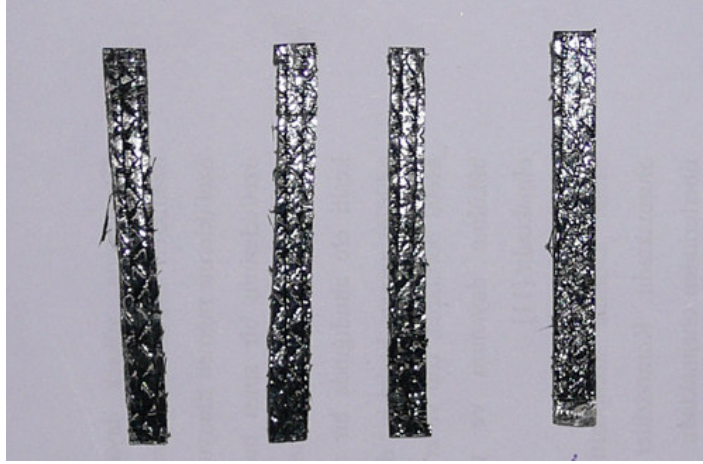
Kadronun üretiminde kullanılacak olan kompozit malzemeye TS EN ISO 180 standardına göre darbe deneyi yapılmıştır. Şekil 4.43-4.47 arasında darbe deneyi cihazı ve numuneler görülmektedir. Deney sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir.



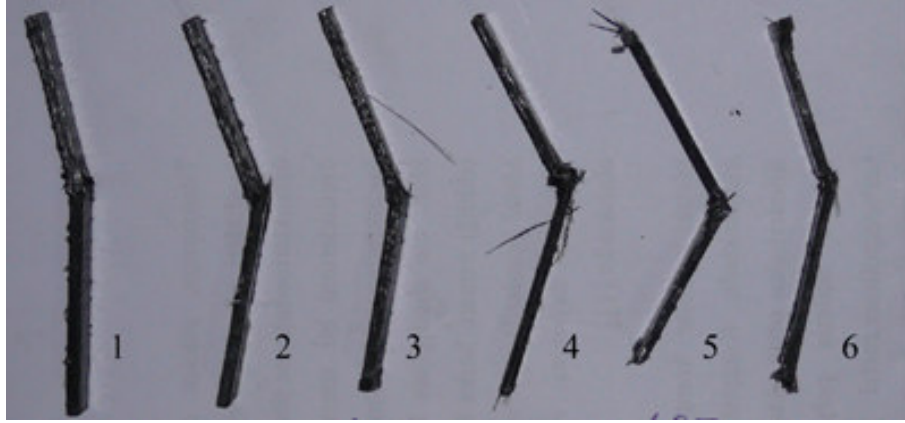
Şekil 4.41 Darbe deneyi cihazı



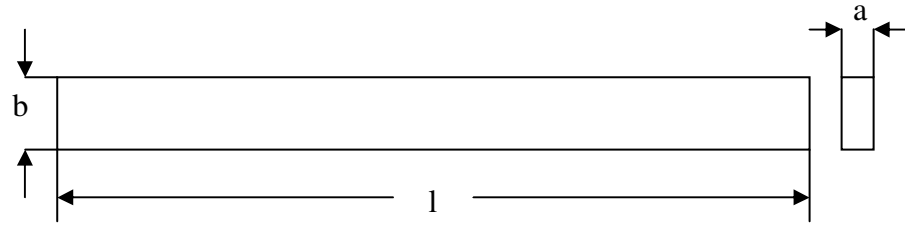
Şekil 4.42 Deney numunelerinin cihaz mesnetlerine yerleşimi.



Şekil 4.43 Deney numunelerinin kırılmadan önceki görünüşleri



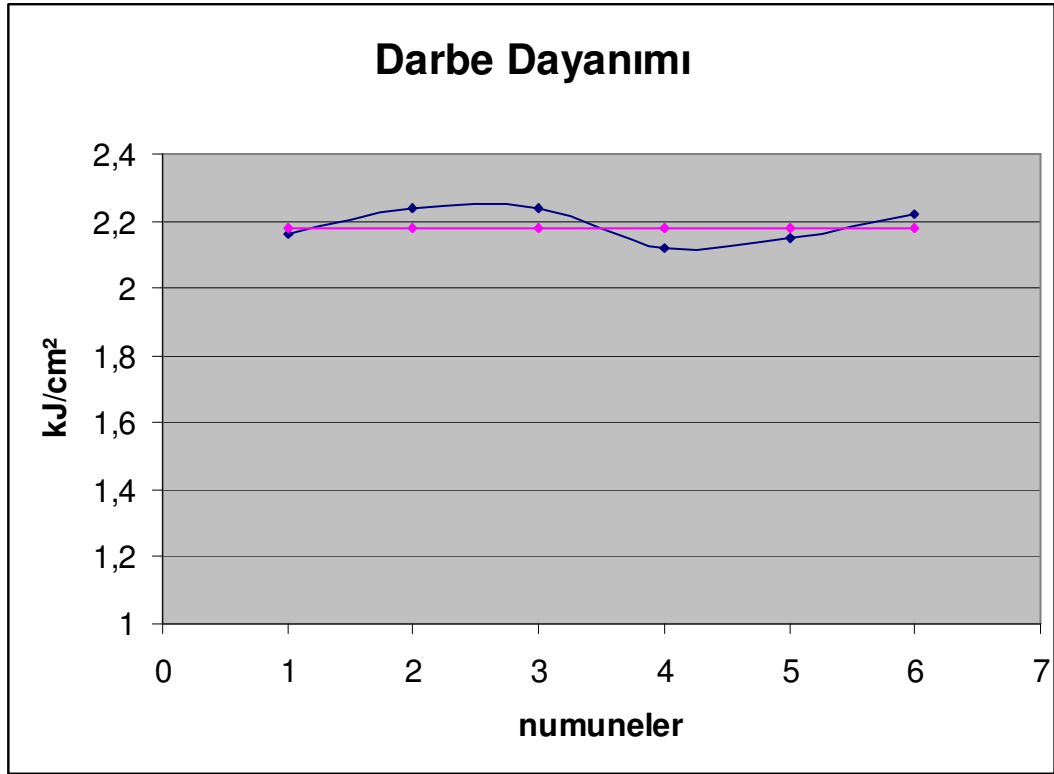
Şekil 4.44 Darbe deneyinden sonra numunelerin görünümü



Şekil 4.45 Darbe deney numuneleri boyutları

Tablo 4.5 Darbe deneyi sonuçları

Numuneler	Numune Boyutları (mm)			Darbe Enerjisi (J)	Darbe dayanımı (kJ/cm ²)	Ortalama Darbe dayanımı (kJ/cm ²)
	b	a	l			
1. Numune	6,01	1,5	60	1,95	2,16	2,18
2. Numune	5,98	1,5	60	2,01	2,24	
3. Numune	6,02	1,48	60	1,99	2,24	
4. Numune	6,12	1,51	60	1,96	2,12	
5. Numune	6,02	1,5	60	1,94	2,15	
6. Numune	5,99	1,49	60	1,98	2,22	



Şekil 4.46 Darbe deneyi sonuçlarının çizgisel gösterimi

4.3.4 Üç Noktalı Eğme Deneyi

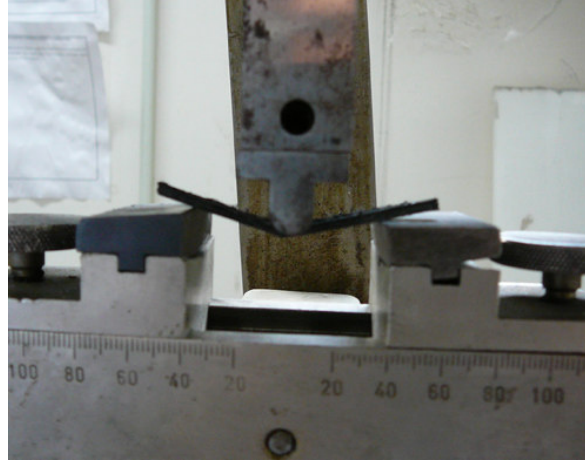
ISO 3597-2 standardına göre kadro borularından çıkarılan numunelere üç noktalı eğme deneyi yapılmıştır. Tablo 4.5'te verilen boyutlarda hazırlanan numuneler, Şekil 4.16'da görülen Mikro Eğme deney cihazında üç noktalı eğme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen deney sonuçlarına göre (4.1) eşitliği kullanılarak Tablo 4.5 oluşturulmuştur.



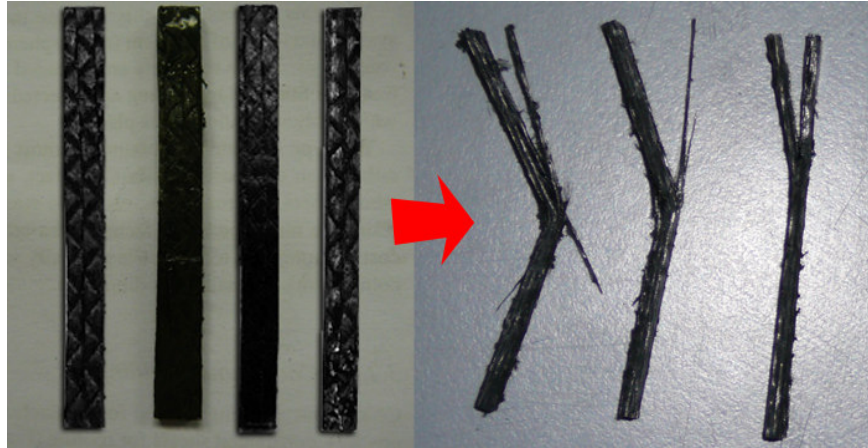
Şekil 4.47 Mikro Eğme Deney cihazının görünüşü



Ŗekil 4.48 Mikro Eğme Deneyi sırasında numunedeki deęiŖim



Ŗekil 4.49 Maksimum yüklenme durumunda numunenin görünümü



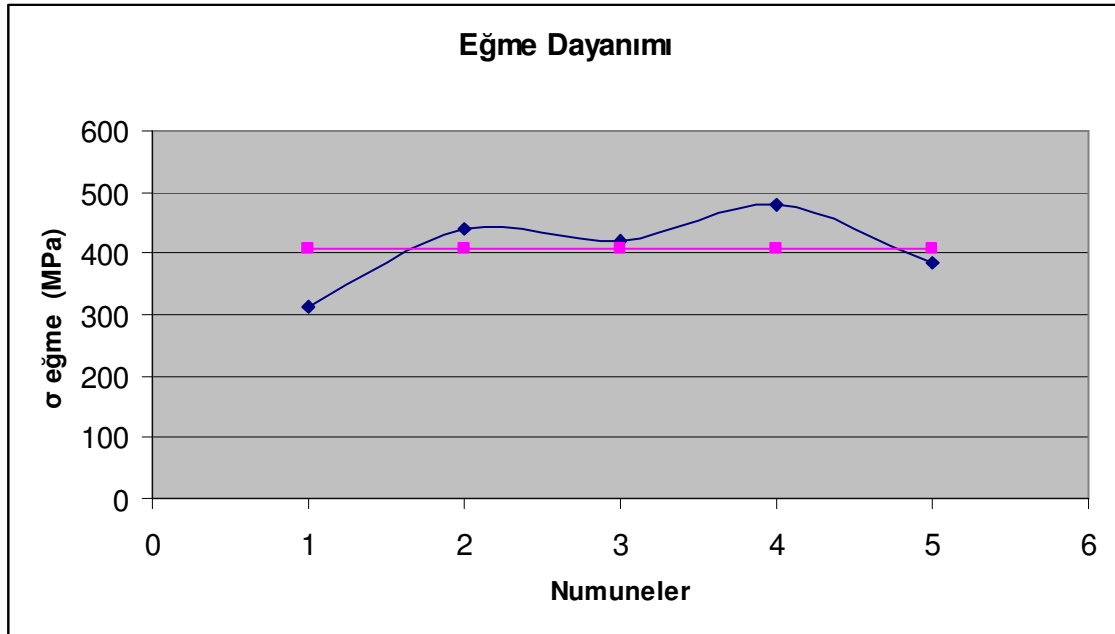
Ŗekil 4.50 Numunelerin deney öncesi ve deney sonrası hasarlı görüntüleri.
Katmanların ayrılması ve fiberlerde pull-out'lar net bir Ŗekilde görölmektedir

$$\sigma_{\text{eğme}} = \frac{3}{2} \frac{F \max J_0}{b \cdot a^2} \quad (4.1)$$

Tablo 4.6 Mikro Eğme Deney numunelerinin boyutları ve Deney sonuçları

Numuneler	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Uzunluk, l_0 (mm)	F_{max} (kg)	$\sigma_{eğme}$ (MPa)	Ortalama $\sigma_{eğme}$ (MPa)
1. Numune	2,3	6,2	40	7	125,5	125,5
2. Numune	2,1	5,6	40	13,2	314,3	407,9*
3. Numune	2,2	5,8	40	21	439,86	
4. Numune	2,2	6,2	40	21,5	421,3	
5. Numune	2,1	6,1	40	22	480,87	
6. Numune	2,3	5,8	40	20	383,3	

*Ortalama değerine 1. Numune katılmamıştır

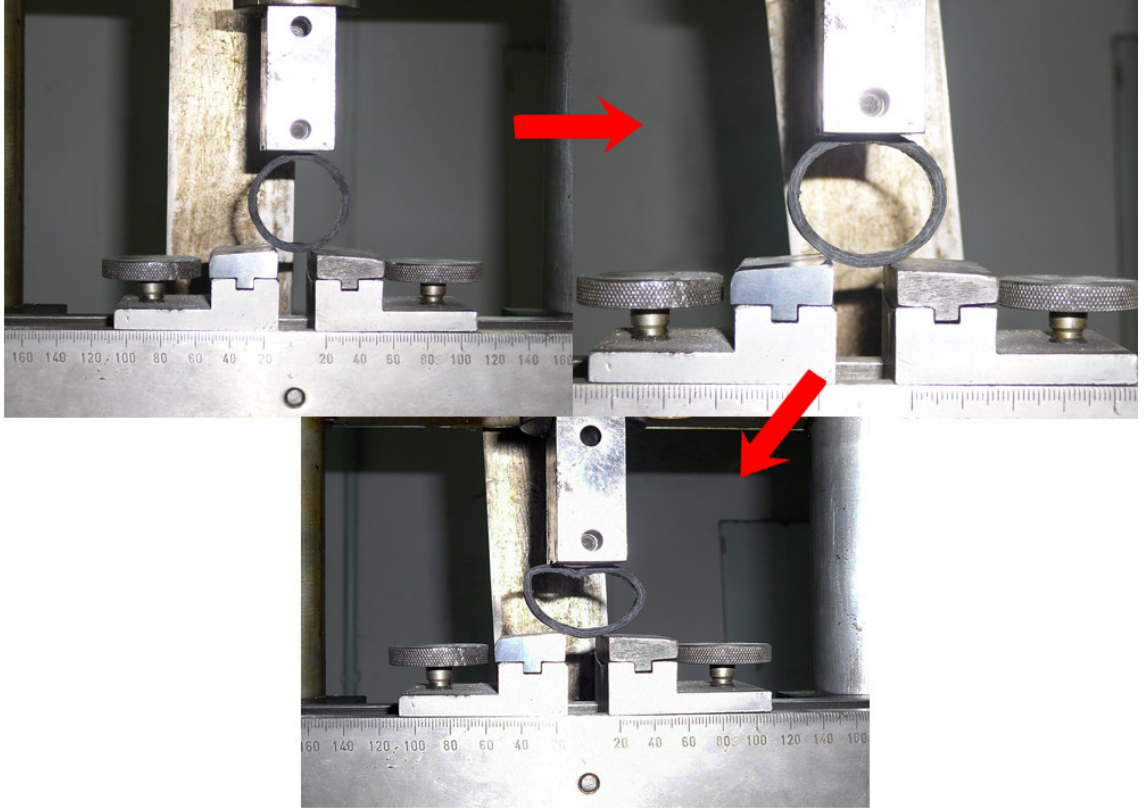
**Şekil 4.51 Mikro eğme deney sonuçlarının çizgisel gösterimi**

4.3.5 Halka Eğme Deneyi

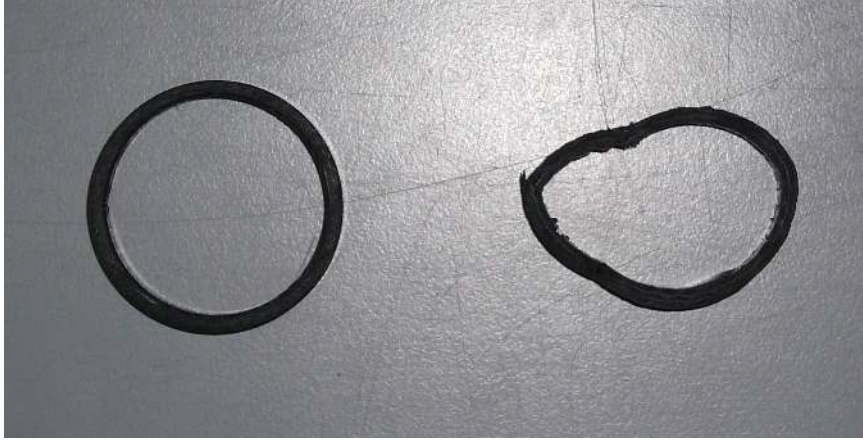
Kadro imalinde kullanılan yöntem ile deneylerde kullanılmak için hazırlanan borulardan Şekil 4.20’de görüldüğü gibi numuneler çıkarılmıştır. Bu numuneler Şekil 4.16’da görülen mikro eğme deney cihazında halka eğme deneyine tabi tutulmuştur. 5 numune kadro imalatında kullanılan yöntemler ile hazırlanmıştır, 6. numune ise bisiklet donanımları üreten bir firma olan Ritchey’nin karbon halkası kullanılmıştır.



Şekil 4.52 Halka eğme deney numuneleri



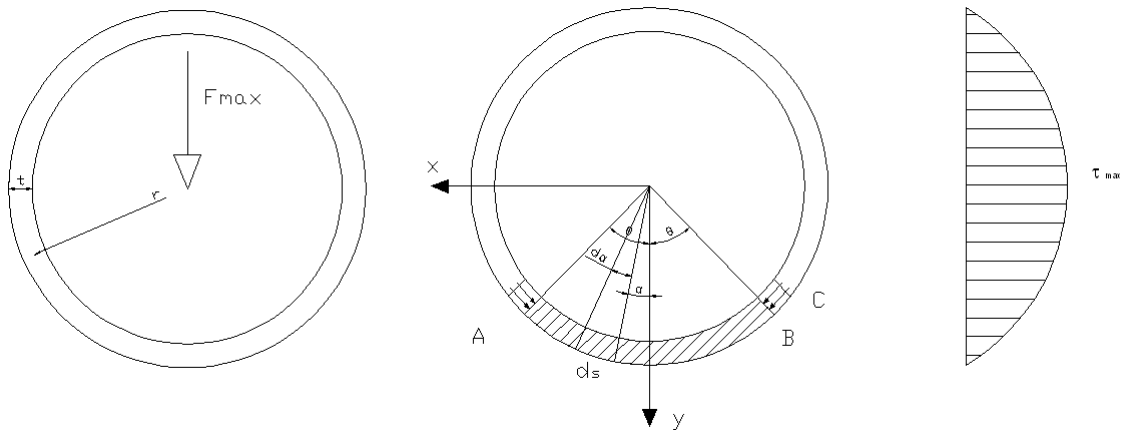
Şekil 4.53 Deney sırasında karbon-fiber halkanın basma yükü etkisiyle hasara uğraması



Şekil 4.54 Sağlam ve hasarlı halkaların görünümü



Şekil 4.55 Deney sonrası halkaların görünümü



Şekil 4.56 Halka üzerindeki kuvvet etkisi ile oluşan kayma gerilmeleri (Kadıoğlu, Engin ve Bakıoğlu, 2004)

Halka üzerinde y ekseninde gelen kuvvet kayma gerilmeleri oluşturmaktadır. Halkanın et kalınlığı t , ortalama yarı çapı ise r olarak alındığında maksimum kayma gerilmesi (4.2) eşitliği ile bulunmaktadır.

$$\tau = \frac{F_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot 2t} = 2 \frac{F_{\max} \sin \theta}{\pi \cdot r \cdot t} = 2 \frac{F_{\max} \sin \theta}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot t} \Rightarrow \tau_{\max} = 2 \frac{F_{\max}}{A} \quad (4.2)$$

$F_{\max}$ = Maksimum kuvvet

$\tau_{\max}$ = Maksimum kayma gerilmesi

S_x (x eksenine göre statik moment) = $2 \cdot t \cdot r^2 \sin \theta$

I_x (x eksenine göre atalet momenti) = $\pi \cdot t \cdot r^3$

A (kesitalanı) = $2 \cdot \pi \cdot r \cdot t$

Tablo 4.7 Halka Eğme Deney numuneleri boyutları ve deney sonuçları

Numuneler	Kalınlık (mm)	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Ortalama yarıçap, r (mm)	Kesit Alanı, A (mm ²)	F _{max} (kg)	$\tau_{\max}$ (MPa)	Ort. $\tau_{\max}$ (MPa)
1. Numune	2,40	30,5	25,7	14,05	211,9	12,00	1,11	1,48
2. Numune	2,53	31,2	26,1	14,33	227,8	21,50	1,84	
3. Numune	2,60	31,3	26,1	14,35	234,4	19,85	1,65	
4. Numune	2,60	31,5	26,3	14,45	236,1	19,50	1,61	
5. Numune	2,15	30,6	26,3	14,22	192,1	12,00	1,22	
6. Numune*	2,25	33,5	29,00	15,62	220,8	22,00	1,95	1,95

*6. Numune referans numunedir, ortalamaya katılmamıştır. (Ritchey Carbon Spacer)

4.3.6 Boru Eğme Deneyi

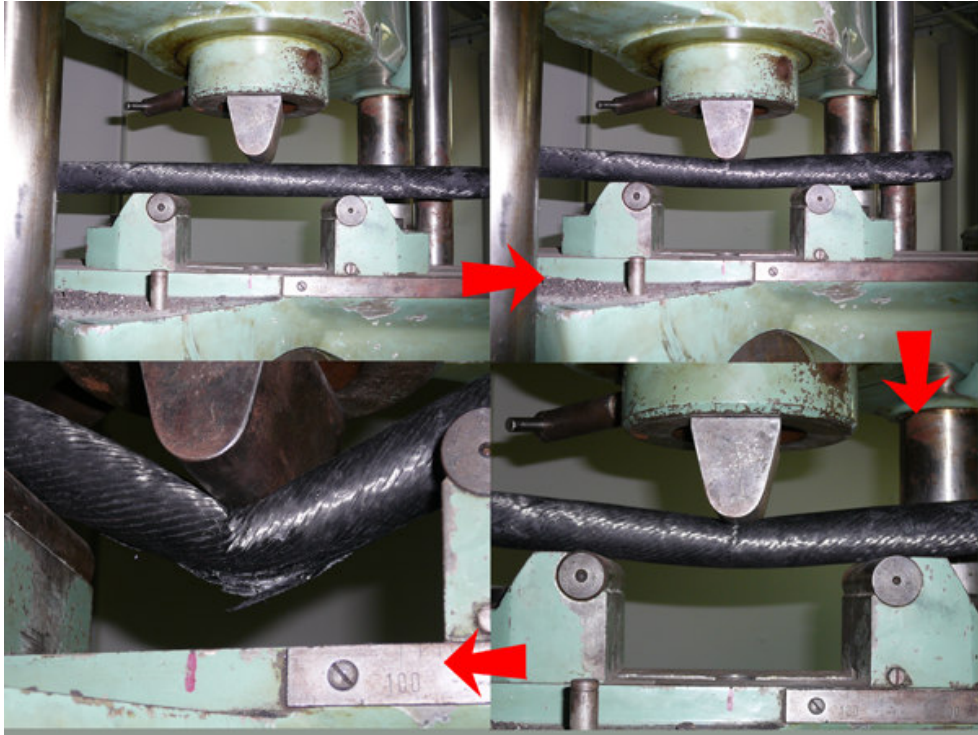
Kadro imalinde kullanılan yöntemler ile imal edilmiş olan borular, TS EN ISO 14125 standardına göre eğme testine tabi tutulmuştur. Şekil 4.25'te görülen boru numunelerine Şekil 4.26'da görülen çekme-basma deney makinesinde eğme testi yapılmıştır.



Şekil 4.57 Boru deney numuneleri ve dış çap ölçümü



Şekil 4.58 Eğme ve Çekme deney cihazı



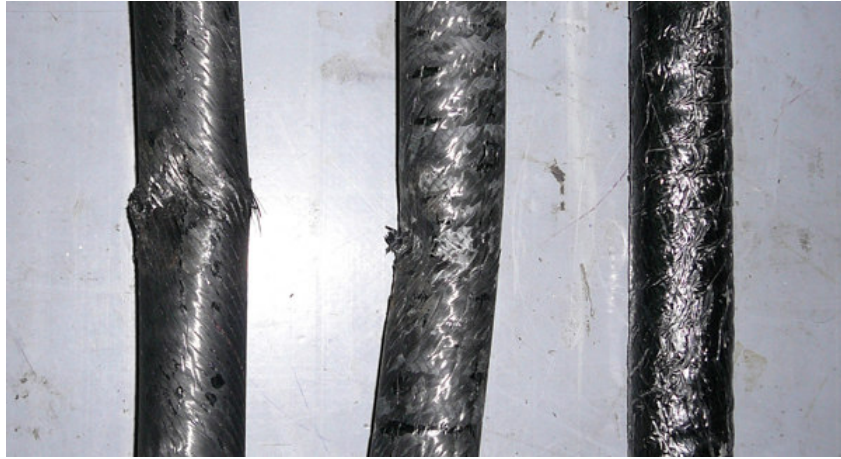
Şekil 4.59 Eğme deneyi sırasında boru numunelerinde oluşan hasar



Şekil 4.60 Maksimum kuvvet altında borudaki eğilme

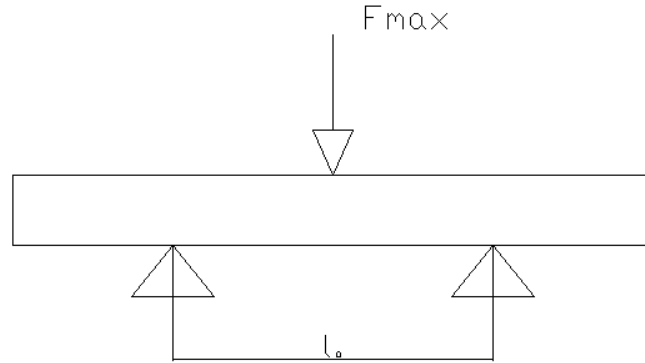


Şekil 4.61 Yük kaldırıldıktan sonra borunun görünümü



Şekil 4.62 Deney sonrası hasar uğramış ve sağlam borular

Borulara tesir eden maksimum eğme gerilmesini bulmak için aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.



Şekil 4.63 Üç noktadan eğme sırasında boru üzerine gelen yük ve mesnet mesafesi

$$\sigma_{eğ} = \frac{M}{W} = \frac{F_{max} \cdot l_0 / 4}{\frac{\pi(D_1^4 - D_2^4)}{32 \cdot D}} \quad (4.3)$$

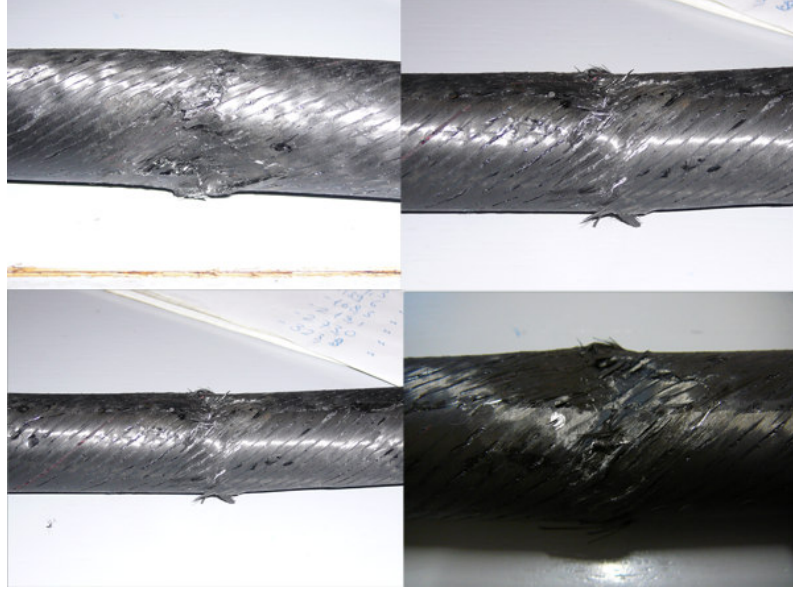
M = Maksimum moment

W=Mukavemet momenti

$\sigma_{eğ}$ = Maksimum eğme gerilmesi

Tablo 4.8 Eğme deneyi numune boyutları ve deney sonuçları

Numuneler	Dış Çap, D ₁ (mm)	İç Çap, D ₂ (mm)	Kalınlık (mm)	Mesnetler arası mesafe, l ₀ (mm)	F _{max} (kg)	σ _{eğme} (MPa)	Ortalama σ _{eğme} (MPa)
1. Numune	31,7	26,60	2,30	150	365	93.25	82,02
2. Numune	33,4	28,30	2,55	150	370	76.50	
3. Numune	32,5	27,38	2,56	150	372	77.25	
4. Numune	32,5	27,42	2,54	150	368	81,10	



Şekil 4.64 Deneyler sonrası numunelerin hasar gören bölgelerinin yakınlaştırılmış fotoğrafları

4.3.7 Çekme Deneyi

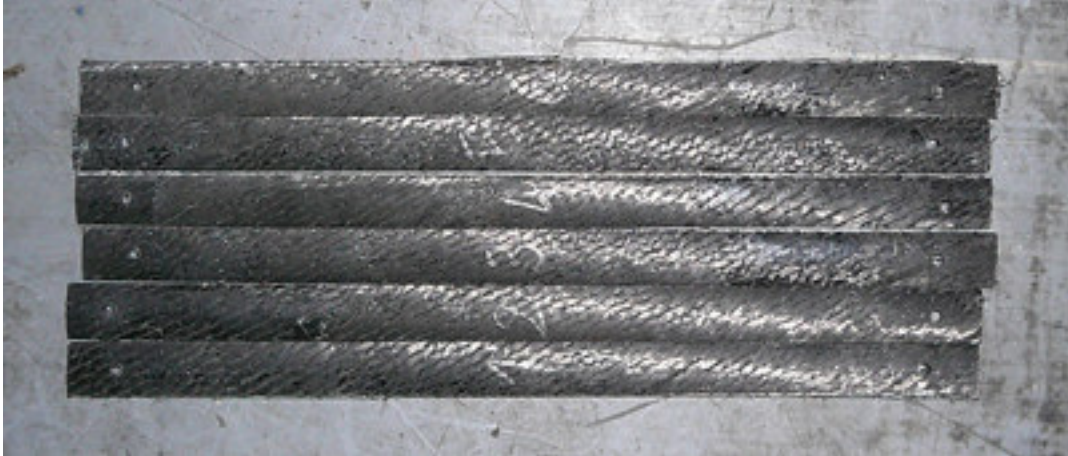
Kompozit kadroyu oluşturan +30, -30 açılı fiber sarılı borulardan örnek hazırlanarak TS 3860 standardına göre çekme deneyi yapılmıştır. Kadronun alt borusunu oluşturan boru ile aynı çap ve kalınlıkta hazırlanan boru üzerinden çekme testi parçaları çıkarılmıştır. Bu parçalara iki ucundan 2.5 mm delik açılmıştır, açılan deliklere uygun çapta mil geçirilerek çekme deneyi makinesi çenelerine yerleştirilmiştir. Numune boyutları ve deney sonuçları Tablo 4.9’da verilmiştir.

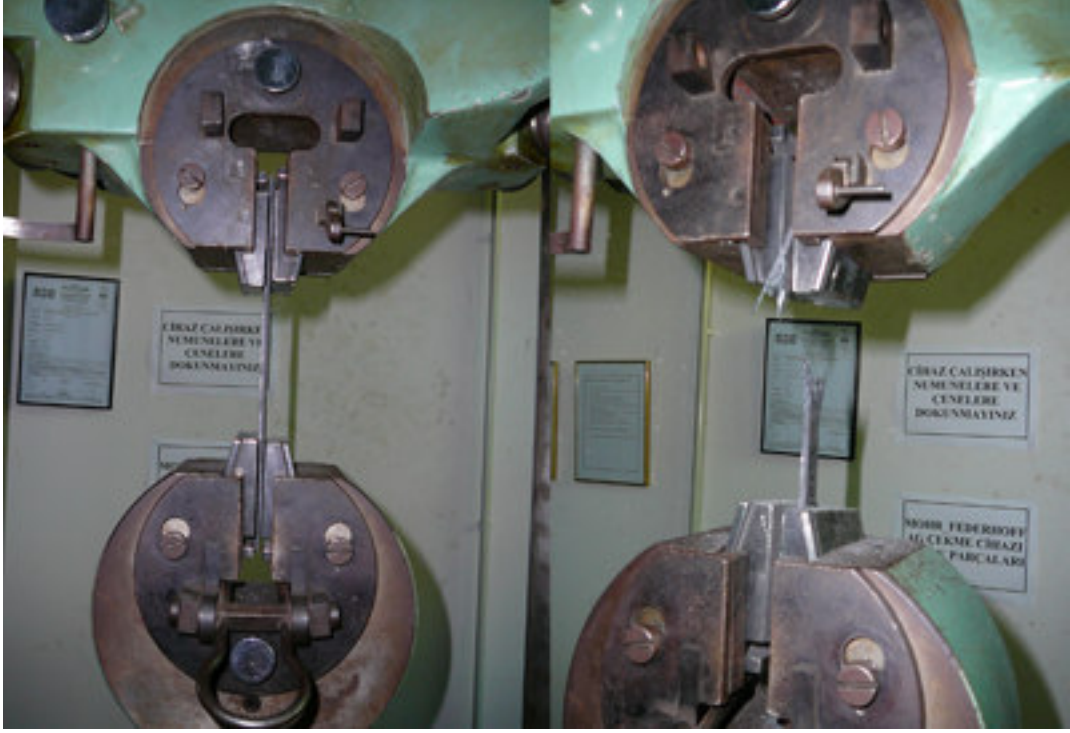


Şekil 4.65 Çekme deneyi numunelerinin boyutları

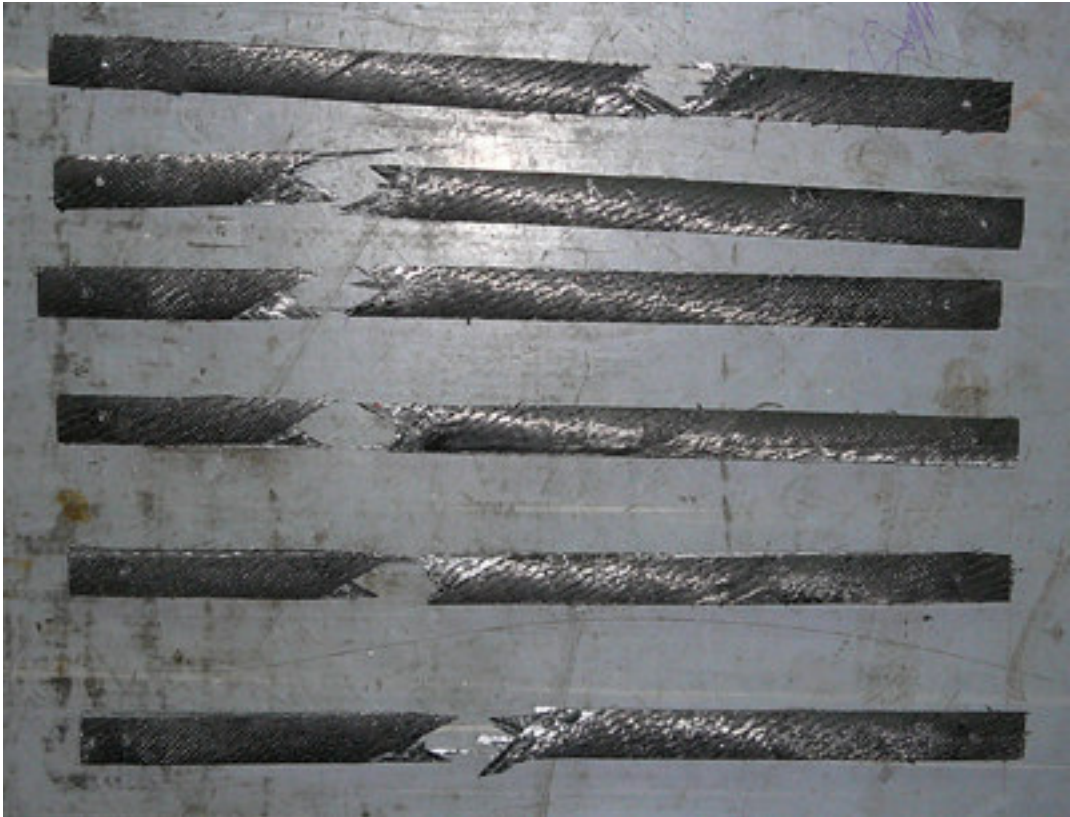
Tablo 4.8 Çekme deneyi numune boyutları ve deney sonuçları

Numuneler	b mm)	a (mm)	l (mm)	F _{max}		Rm (MPa)	Ortalama Rm (MPa)
				kg	N		
1. Numune	14,86	3,20	250	1465	14357	301,9	321,90
2. Numune	14,86	3,00	250	1595	15631	350,6	
3. Numune	14,85	3,30	250	1560	15288	311,9	
4. Numune	14,20	3,25	250	1440	14112	305,7	
5. Numune	14,60	3,30	250	1635	16023	332,5	
6. Numune	14,80	3,10	250	1540	15092	328,9	

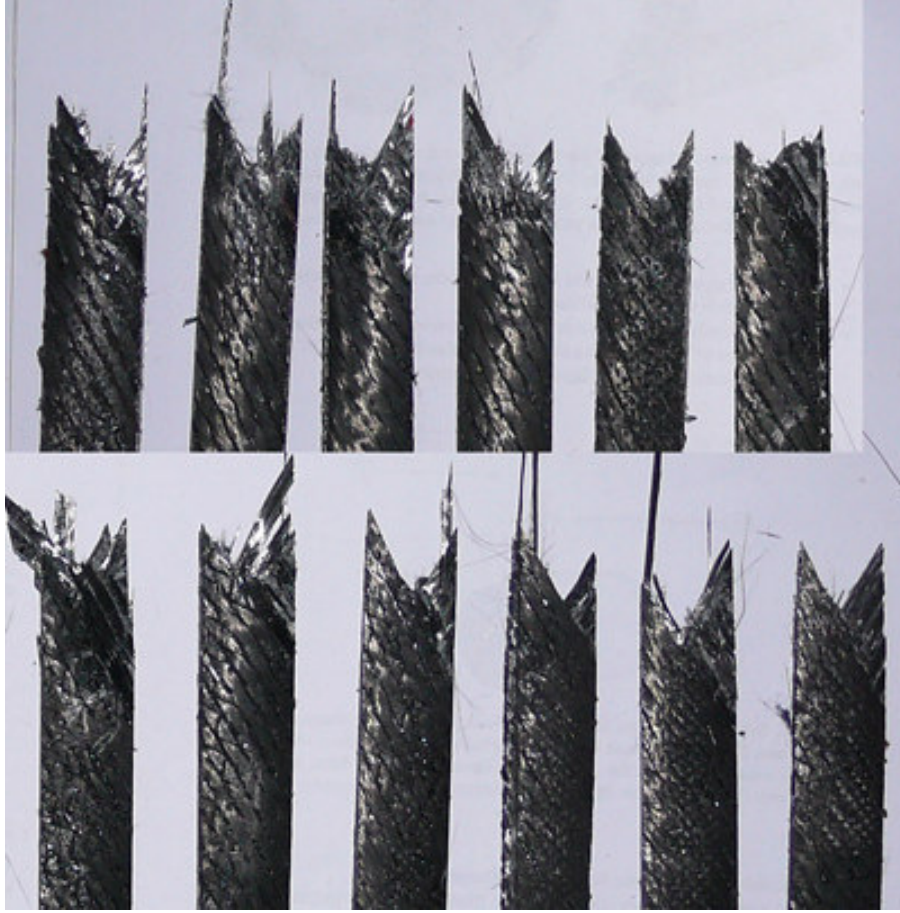
**Şekil 4.66 Çekme deney numuneleri**



Şekil 4.67 Çekme deney cihazına numunelerin yerleşimi ve kopma sonrası numunenin görünümü



Şekil 4.68 Çekme deneyi sonrası numunelerin görünümü



Şekil 4.69 Çekme deney numunelerin kopmuş durumları



Şekil 4.70 Kopma yüzeyinin yakınlaştırılmış görünümü

4.3.7.1 Teorik Çekme Dayanımının Hesabı

Teorik çekme dayanımının hesaplanmasında kullanılan eşitlik yön ve fiber boy faktörlerini de içerecek şekilde aşağıda verilmiştir

$$\sigma_c = \eta_0 \cdot \eta_\ell \cdot \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m V_m \quad (4.4)$$

η_0 = Yön faktörü ($\eta_0 = 5/8$)

η_ℓ = Fiber boy faktörü ($\ell > 50$ ise $\eta_\ell = 0,99$ olur)

$$\sigma_c = 0,99 \cdot (5/8) \cdot \sigma_f \cdot 0,32 + \sigma_m 0,68 \quad (4.5)$$

σ_c = kompozitin teorik çekme dayanımı

$\sigma_f = 3500$ MPa (karbon fiberin çekme dayanımı)

$\sigma_m = 50$ MPa (epoksi reçinenin çekme dayanımı)

$V_f = 0,32$ (fiber hacim oranı)

$V_m = 0,68$ (matriks hacim oranı)

Çekme dayanımları yukarıdaki gibi alındığında kompozitin teorik çekme dayanımı;

$\sigma_c = 727$ MPa olarak bulunur.

Kompozitin $+30^\circ/0^\circ/-30^\circ$ açılarındaki çekme dayanımını bulmak için ise denklem 4.6 kullanılır.

$$\frac{1}{\sigma_{(30^\circ)}} = \frac{1}{\sigma_{//}} c^4 + \left(\frac{1}{\tau_{\#}} - \frac{2\nu_{//f}}{\sigma_{//}} \right) c^2 s^2 + \frac{1}{\sigma_{\perp}} s^4 \quad (4.6)$$

$\sigma_{(30^\circ)}$ = Kompozitin 30° 'deki çekme dayanımı

$\sigma_{//}$ = Kompozitin fiberlere paralel yöndeki çekme dayanımı

$\sigma_{\perp}$ = Kompozitin fiberlere dik yöndeki çekme dayanımı

$\tau_{\#}$ = Kayma dayancı

V_f = Fiber hacim oranı

$c = \cos 30$

$s = \sin 30$

$$\sigma_{//} = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m \quad (4.7)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_f \sigma_m}{\sigma_f (1 - v_f) + \sigma_m v_f} \quad (4.8)$$

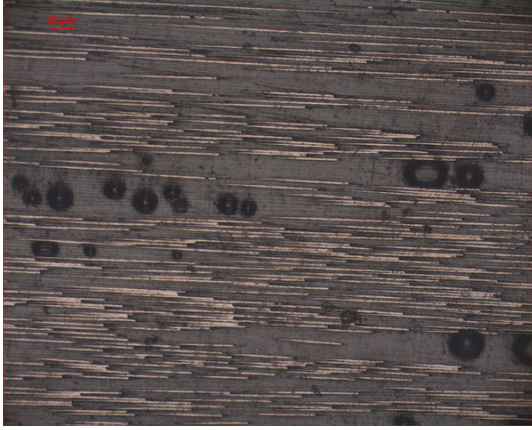
$$\tau_{\#} = \frac{5}{8} \sigma_{//} \quad (4.9)$$

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak yapılan hesap sonucu kompozitin $\pm 30^\circ$ 'deki teorik çekme dayanımı,

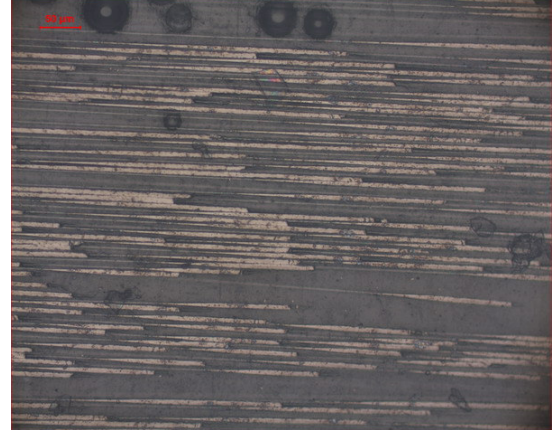
$\sigma_{(30^\circ)} = 616 \text{ MPa}$ olarak bulunur

4.3.8 Işık Mikroskobu ile Görüntü Analizi

Kadronun imalinde kullanılan karbon-fiber kompozit malzemenin ışık mikroskobu altında görüntü analizi yapılmıştır. 90° ve 180° açıyla epoksi içerisine gömülen numuneler mikroskop altında incelenmiş, 100X, 200X ve 500X büyütmelerde görüntüleri alınmıştır. Şekil 4.36 da değişik büyütmelerdeki yapılar görülmektedir.



(100 X)



(200 X)



(500X)

Şekil 4.71 Epoksi matriks içindeki karbon fiberlerin değişik büyütmelerde ışık mikroskobu altındaki görüntüleri

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneylerde el yatırması yöntemi fiber sarması şeklinde uygulanarak karbon fiberli, epoksi reçine matrisli kompozit üretilmiştir. Bu kompozitin fiberleri hazır dokuma şeklinde olup 500mm genişliğindeki rulodan kesilerek uygulanmıştır. Dağ bisikleti (MTB) türünde bir bisikletin kadrosu önce tasarlanmış daha sonra imalatına gidilmiştir. Tasarlamada daha önce imal edilmiş kadroların dezavantajları göz önünde alınarak yeni gremetrik yaklaşımlar kullanılmıştır. Elde edilen kadro çeşitli deneylere tabi tutulmuş ve sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

1. Yoğunluk deneyi kadro üzerinden çıkan numunelere doğrudan uygulanmış ve ortalama yoğunluk $1,54 \text{ g/cm}^3$ bulunmuştur. Yoğunluğun uluslararası belirlenen değeri henüz mevcut değildir, ancak daha önce imal edilmiş numunelerin spesifikasyonlarına bakılarak üretici firmaların 1.65 g/cm^3 'u geçmediği görülmüştür. Referans olarak Reynolds UL bisiklet maşasından alınan numunenin yoğunluğu 2.6 g/cm^3 ölçülmüştür. Bu değer doğru olmasına rağmen boru bağlantı yerinden alındığından ve bu parçada ekstra mukavemet için fiber katmanları bulunduğundan mukayese edilecek bir sonuç değildir.
2. Fiber hacim oranları ise kadronun çeşitli yerlerinden (kadronun bütününi simgeleyecek şekilde) alınmış numunelerden elde edilmiştir. Ortalama %32 hacim oranı ölçülmüştür. Bu sonuç elle yatırma için gerçekçi değerdir. Elle yatırma ile uygulamalarda hacim oranının %20–35 arasında olduğu bilinmektedir. Buradan hareketle doğru dayancı (yeterli dayancı) elde edebilecek hacim oranı sağlanmıştır. Bu doğruluktan hareketle diğer mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir.
3. Plastik matrisli kompozitlerin dinamik yükler altındaki önemli karakterizasyonu darbe deneyidir. Bu amaçla kadronun çeşitli yerlerinden alınmış numunelere charpy darbe deneyi uygulanmış ve deney sonuçları ortalama $2,18 \text{ kJ/cm}^2$ bulunmuştur. Bu konuda da herhangi bir standart mevcut olmamasına üretici firmalar genelde 2.5 kJ/cm^2 'yi geçmeyen değerler göstermişlerdir. Burada önemli olan ikinci bir hususta kırılma analizleridir. Ortalama 3 veya 4 katlı imal edilen kompozit doğal olarak tabaka yapılı bir

kompozittir, bu tür kompozitlerin darbeleri absorblayabilmesi için kopmadan kırılması ve kırılma sırasında tabakaların ayrılması gerekmektedir. İmal edilen kadroda da kopmadan kırılma ve tabaka ayrılmaları görülmüştür.

4. Plastik matriksli kompozitlerin dayancının belirlenmesindeki en önemli deney üç noktalı eğme deneyidir. Numunenin cidar kalınlığının ince olması nedeniyle mikro eğme deneyi uygulanmıştır. Uygun çapraz başlık hızları seçilerek ortalama 408 MPa eğme dayancı elde edilmiştir. Üretici firmalar ve karbon fiber kullanan diğer üreticiler el yatırması yönteminde ortalama %30 hacim oranı için minimum 350MPa dayancı öngörmektedirler. Böylelikle önemli dayanç değerlerinin koşulu sağlanmıştır. Eğme statik zorlama olduğundan kırılma şeklinin analizi önemlidir. Eğilmiş numuneleri incelendiğinde hepsinde 1. ve 3. tabakadan ayrılmaların olduğu gözlemlenmiştir bu da beklenen bir sonuçtur.
5. Halka eğme deneyi standart bir deney değildir, sadece doğru imalatı göstermek bakımından kadronun çeşitli yerlerinden alınmış numunelere uygulanmıştır ki doğru bir imalatın gerçekleştirildiği sağlanmış olsun. Halka eğme yükü 195 N ile 220 N arasında ölçülerek dağılımın büyük olmadığı görülmüştür. Bu da doğruya yakın imalat yapıldığının diğer bir kanıtıdır.
6. Kadro borusunun doğrudan eğme deneyi ise bütüne yönelik bir mukavemet anlayışıdır. Bu şekilde tüm kadronun bütünsel dayancını hesaplamak amacıyla borular doğrudan 3 noktalı eğme deneyine tabi tutulmuştur. Ortalama eğme dayancı 82 MPa bulunmuştur. Yine bu konuyla ilgili herhangi bir standart mevcut olmamasına rağmen Reynolds firması minimum 80 MPa'ı öngörmüştür.
7. Çekme deneyi tek eksenli olarak dayancın belirlenmesinde en önemli kavramdır. Termoset matriksli kompozitlerde matriksin gevrekliğinden dolayı eğme deneyine göre daima ikinci sırada kalmıştır. Kadrodan çıkarılan numuneler doğrudan çekme deneyine tabi tutulmuştur. Çekme dayançları ortalaması 322 MPa elde edilmiştir. Bu %30 hacim oranlı cam ve karbon fiberli kompozitler için iyi sayılacak değerlerdir. Zira daha evvelki yapılmış çalışmalarda 300MPa değerlerinin üzeri geçerli sayılmıştır. Bu deneylerin en önemli çıktısı kırılma analizidir. Zira (+30°/0°/-30°) şeklindeki tabakalandırılmış numunelere tek

eksenli çekme deneyi uygulandığında kırılmaların $\pm 30^\circ$ yönünde olduğu gözlenmiştir. Sürekli fiberli kompozitlerde önemli bir hususta fiber pull-out'dur (sıyrılma), çekme yükü etkisi ile matriksin içerisinde yük taşımayan boyların sıyrılarak ayrılması anlamına gelir, deneylerde ise fiber pull-out'lar net şekilde gözlenmiştir.

8. Işık mikroskobu görüntü analizlerinde ise iki amaç güdülmektedir. Fiberlere paralel yönde yapılan incelemelerde fiberlerin sürekli ve eş yönlü dizildiği saptanmıştır. Fiber kesitlerine dik yönde yapılan ve altıgen (hegzagon) formunda dizildiği görülmüştür ki bu da doğru bir el yatırması yönteminin gerçekleştiği anlamına gelir.

Yapılan deneyler göstermiştir ki sınırlı olanaklar ve teknoloji dâhilinde el yatırması yöntemi ile üretilen kompozit bisiklet kadrosu yeterli dayanım ve diğer özellikleri yakalamıştır. Tez çalışması ile kompozit malzemelerin bisiklet sektöründeki kullanımı araştırılmış ve geleneksel bisiklet kadrosu üretiminde kullanılan malzemeler ile karşılaştırılmaları yapılmıştır. Kompozit kadroların üretimindeki farklı yöntemler ve bağlantı tasarımları araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında Türkiye sınırları içerisindeki ilk kompozit bisiklet kadrosu üretilmiştir. Yaklaşık 20km'lik test sürüşü sonucu kadroda herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır, yeterli dayanım, rijitlik ve sürüş kalitesine ulaşıldığı görülmüştür. Bu çalışmayla şu anda üretiminin genellikle Uzak Doğuda yapılan kompozit kadroların ufak bir yatırımla Türkiye'de de üretililecek olduğunu göstermiş olduğumuza inanmaktayım.

KAYNAKLAR

Bauccio, M., (1987), ASM Engineered Materials Reference Book Second Edition, 67 - 98.

Bikethink, <http://www.bikethink.com>.

Calfee, C., (1997), Kelly, D., Technical White Paper, 1-10.

Enşici, A., (2004), Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler Ve Ürün Tasarımında Kullanımları, <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html>, 3- 12.

Ersoy, H., (2001), Kompozit Malzemeler, Literatür Yayınları, İstanbul.

Excelcomposites, <http://www.exelcomposites.net>

Fibersource, A Short History of Manufactured Fibers, <http://www.fibersource.com/f-tutor/history.htm>

Fibertex, <http://www.fibertex.com>

Frames, Department of Mechanical Engineering Mc Gill University, Montreal.

Hong S, Huong, Chun-Ta, Carvajal,D., (2001), Carbon Fiber Composites in Tennis Rackets. MSE 102 Research Cent.

ISO 1172 Test Standard, (1996), Textile-Glass-Reinforced Plastics - Prepregs, Moulding Compounds And Laminates - Determination Of The Textile-Glass And Mineral-Filler Content - Calcination Methods.

Kadioğlu,N., Engin, H., Bakioğlu, M.,(2004), Mukavemet Problemleri II, İstanbul Teknik Üniversitesi. 15-16.

Kınikoğlu, N., (2001), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Lizotte, P., (1996), Stress Analysis and Fabrication of Monocoque Composite Bicycle.

Maria. J., Paivaa, V., Mayerc, B., Rezendea, C., (2005), Comparison of Tensile Strength of Different CarbonFabric Reinforced Epoxy Composites, Centro Universitário Salesiano de São Paulo. 83-89.

Materials Selector, (2002, Aralık), Materials Engineering, 3-27.

Octeau, M., (2001), Composite Bike Fork Design for Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding , Department of Mechanical Engineering Mc Gill University, Montreal. 8-21.

Peterson, A., Londry J.,(1986), Bike Tech Magazine, Sayı 5, 3-8.

Pezcycling, <http://www.pezcyclingnews.com>

Plastech, <http://www.plastech.co.uk>

Quatrocomposites, <http://www.quatrocomposites.com>

Quian, C., (2001), Environmental Effects of Some Mechanical Properties of Fibre Composites. Natioanl Library of Canada. 1-11.

Reinforced Plastics, (2003, Temmuz/Ağustos),38-41.

Schwartz, M., (1996), Composite Materials. Prentic Hall, PTR New Jersey. 15-49.

Subtech, http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=compression_molding_of_polymers
Şahin, Y., (2000), Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara. 20-122.

TS 1310, (1973), Plastikler-Yoğunluk ve Özgül Ağırlığın Yer Değiştirme Metodu İle Tayini, TSE, Ankara.

TS 4650 ISO 3597, (1997), Plastikler-Cam Fiber Takviyeli-Fitille Takviye Edilmiş Reçine Çubukların Mekanik Özelliklerinin Tayini-Bölüm 2: Eğilme Mukavemetinin Tayini, TSE, Ankara.

TS EN ISO 180, (2006), Plastikler-Izod Darbe Mukavemetinin Tayini, TSE, Ankara.

TS EN ISO 527-5, (2007), Plâstikler – Çekme Özelliklerinin Tayini – Bölüm 5: Tek Yönlü Fiber Takviyeli Plâstik Kompozitler İçin Deney Şartları, TSE, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı Yasin Cihat BİNGÖL
Doğum tarihi 02.12.1983
Doğum yeri İstanbul



Lise	1997-2000	Ö. İstanbul Fen Lisesi
Lisans	2001-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalürji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005 -2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı
Sertifikalar	2008	ODTÜ-KTM Kaynak Mühendisliği (DVS – IIW/EFW International Welding Eng.)

Çalıştığı Kurumlar

2008	Sedef Gemi İnşaatı A.Ş.
2006-2007	Anadolu Deniz İnşa Kızakları San.ve Tic. A.Ş.
2003	Bektaşoğlu İnşaat San. ve Tic. Aş
2002	C.S.M Mühendislik LTD. Şti.

Stajlar

2005	Kroman Çelik A.Ş
2004	Ümran Boru A.Ş
2003	Gürdesan Gemi Mak. A.Ş