

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELYAF TAKVİYELİ  
PLASTİK KOMPOZİTLERİN MUKAVEMETİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Erdal KARADENİZ

T. C.  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi

Yöneten : Doç.Dr. Metin YEREBAKAN

İSTANBUL  
ARALIK — 1989

## TEŞEKKÜR

Mühendislik malzemeleğine yeni bir bakış getiren kompozit malzemeler konusuna yönlendiren ve yüksek lisans tez çalışmamı yöneten Sayın Hocam Doç.Dr.Metin YEREBAKAN'a, yüksek lisans çalışması yapabilecek seviyeye hazırlayan hocalarım, pratik çalışmalarında yardımcı olan Türkiye Vagon Sanayii A.Ş. Kimya Yük.Müh. Gürsoy AĞIR Bey'e ve kompozit malzeme ünitesi personeline, deneysel çalışmalarımda yardımcı olan İ.T.Ü.Sakarya Mühendislik Fakültesi Teknisyeni Recai ŞENYURT'a ve tezimin daktilo edilmesini gerçekleştiren İ.T.Ü.Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Sekreteri Naim GÜNAY Bey'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Kasım 1989  
Adapazarı

Arş.Gör.Erdal KARADENİZ

## ÖZET

Klasik malzemelerin gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kalması, araştırmacıları yeni malzemeler aramaya yöneltmiştir. Bu araştırmalar sonucu kompozit malzemeler bulunmuştur.

Kompozit malzemelerin, yapı olarak klasik malzemelerden farklı olması bizleri mekanik özelliklerini incelemeye yöneltmiştir.

Çalışmamızda elyaf takviyeli plastik kompozitlerin mekanik özelliklerinden çekme mukavemeti araştırılmıştır. Elyaf doğrultusu çekme yönüne paralel seçilmiştir. Deney normal şartlarda yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar grafik halinde yayınlanmıştır.

## SUMMARY

As the conventional materials are not sufficient to response the needs of developing technology, researches have directed to develop new materials, and it is develop Composite materials.

We have studied mechanical properties of because of their structure is different than that of Conventional materials.

In the study, tension strenght of plastic composite reinforced with fibers are investigated. It is selected the direction of fiber parallel to tension direction. Experiments are carried out under the normal condition.

The results obtained are presented graphically.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No.</u>
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELERİN GELİŞMESİ.....	3
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	5
3.1.Tarifler ve Standartlar.....	5
3.2.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	7
3.3.Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi..	12
3.4.Kompozit Malzemelerin Kullanıldığı yerler.....	18
4. CAM ELYAF KOMPOZİTLER.....	22
4.1.Giriş.....	22
4.2.Cam Elyaf.....	23
4.3.Bağlayıcılar.....	41
4.4.Üretim Teknikleri.....	49
5. CAM ELYAF KOMPOZİTLERDE MUKAVEMETİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	58
5.1.Elyafın Geometrisi.....	58
5.2.Elyaf Türünün Mukavemete Etkisi.....	62
5.3.Elyaf/Matris Oranının Mukavemete Etkisi	63
6. DENEY NUMUNESİ HAZIRLANMASI.....	64
7. DENEY VE DENEY SONUÇLARI.....	66
8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	71
9. SONUÇ.....	75
10.REFERANSLAR.....	77

## 1.GİRİŞ

Modern teknolojinin malzemeye olan gereksinmesi gittikçe artmaktadır. Bu gereksinme yalnız yüksek mukavemetin değil, aynı zamanda düşük bir ağırlığın da istenildiği dinamik yapılarda daha fazla duyulmaktadır. Yüksek hızla üretim yapan makineler, uçaklar, uzay araçları ve diğer ulaşım araçları için mukavemet/ağırlık oranı yüksek olan yapı malzemelerinin geliştirilmesi büyük önem kazanmaktadır.

Malzeme dizaynında ve seçiminde, sertlik ve mukavemetin yanı sıra kullanılacağı amaca göre diğer özelliklerin de göz önünde tutulması gerekir. Bunlar; yorulma mukavemeti, yüksek sıcaklık mukavemeti, çentik duyarlılığı, korozyon direnci, aşınma direnci, ısı iletkenlik gibi özelliklerdir. Kuşkusuz bütün bu özelliklerin aynı malzemede aynı zamanda bulunması mümkün değildir. Bunun için, birbirlerinin zayıf yönlerini düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilen birden fazla malzemenin makro yapıda birleşimi ile kompozit malzemeler elde edilir.

Kompozit malzemelerin avantajı yapı bileşenlerinin en iyi kalitede seçilebilmesidir. Kompozit malzemelerde yüksek mukavemete veya yüksek elastisite modülüne sahip olan "pekiştirici", "kuvvetlendirici" veya "takviye edici" olarak adlandırılan malzeme ile "matris" olarak adlandırılan diğer bir malzeme bir araya getirilir. Örneğin; çelik takviyeli çimento, cam elyaf takviyeli plastikler ve naylon

takviyeli kauçuk birer kompozittir. Bu güne kadar endüstride kullanılan malzemelerin çoğunu alaşımli malzemeler teşkil etmiştir. Günümüzde de bu durum devam etmektedir. Ancak yer yüzünde ençok kullanılan malzemelerin (demir, alüminyum, bakır v.b.) cevherleri hızla azalmakta, üretim maliyetleri artmaktadır. Araştırmacılar daha iyisini araştırırken ikame malzemeler ortaya çıkmaktadır. Klasik malzemelerden çok farklı bir iç yapıya sahip olan kompozitlerle imalatta bir çok avantaj vardır. Takviye dolgularının yönleri ve yoğunluğu ayarlanarak kritik bölgelerde gerekli mukavemet elde edilebilir.

Gelişen endüstrinin dinamik yapısı içinde kullanım alanı hızla artan kompozit malzemeleri daha yakından tanımak bir ihtiyaç halini almıştır. Bu düşünce çerçevesinde imalat endüstrisinde en çok kullanılan elyaf takviyeli plastikler üzerine tez çalışması yaparak kompozit teknolojisine giriş yapmayı yeğledim.

Tezimizde cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerinde bağlayıcı oranının çekme mukavemetine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

## 2. KOMPOZİT MALZEMELERİN GELİŞMESİ

Başlangıçları hakkında kesin bir şey bilinmemekle beraber, çok eski yıllardan beri kullanılmaktadırlar. Tabiiatta çam ağacının gövdesi kompozit yapıya en iyi örnektir. Çam ağacı gövdesi içerisinde yaz ve kış mevsimlerinde meydana gelmiş olan yaş halkaları iç içe bir görünümündedir. Kış halkaları sert fakat kırılğan, yaz halkaları ise yumuşak fakat esnektir. Bu yüzden sağlam bir yapıya sahiptir.

Memleketimizde kırsal bölgelerde yapı malzemesi olarak saman çöpleri ile takviye edilmiş olan kerpiçler kompozit malzemelerin en ilkel örnekleridir. Bunların tarihçeleri eski Mısır Uygarlığına uzanmaktadır.

İnşaat malzemesi olarak kum, çakıl, çimento ve su karışımı olan beton kompoziti ise 19. yüzyılın başlarında çimento sanayinin gelişmesi ile uygulanmaya başlanmıştır. Yol kaplama malzemesi olarak kullanılan asfalt kompoziti 1938'de Paris'te uygulanmaya başlanmıştır. Daha sonra Paris, Londra ve Berlin sokaklarında kullanılmış ve giderek yaygınlaşmıştır.

Elyaf takviyeli kompozitlerde ise takviye malzemesi olan cam elyafın 19. yüzyılın sonlarında fabrikasyon olarak imalatı ile başlamıştır. Elyaf takviyeli kompozitlerin endüstride kullanımı 1930 lu yıllardan sonra başlamıştır. İkinci Dünya Savaşında ve sonrası savunma sanayi malzemesi olarak önemli bir yer edinmiştir. Son 50 yıldır mukavemet/ağırlık oranının önem taşıdığı uygulamalarda tercih edilmektedir.

1950'li yıllardan sonra otomotiv sanayiinde kaporta ve aksesuar malzemesi olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Kimyasal ve korozyon direncinin yüksek olması, su tankları, zirai ilaçlama aletleri, kimyasal madde deposu ve borularının imalatında kullanılmasını kolaylaştırmıştır. Elektrik izolasyonu özelliğinden dolayı son yıllarda elektrik endüstrisinde elektrik elemanları imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda görünüş estetiği, kolay şekillendirilebilmesi ve ısı izolasyonu özelliğinden dolayı nakil araçlarında kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.



### 3. KOMPOZİT MALZEMELER

#### 3.1. Tarifler ve Standartlar

İki veya daha fazla malzemenin makro ölçüde bir araya getirilmesi ile oluşan malzemelere Kompozit malzeme denir. Cam elyaflı polyester levhalar, çelik donatımlı beton elemanlar, otomobil lastikleri ve sermetler bunlara birer örnektir. Kompozitler çok fazlı malzeme sayılırlar. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı bulunur. Bazı malzemelerde bu tür yapı üretim sırasında oluşabilir ve fazların karışımı mikroskopik düzeydedir. Örneğin; perlitik çelikte yumuşak ve düşük mukavemetli ferrit ile sert ve gevrek sementit yan yana ince tabakalar halinde dizilir. Tek başlarına mekanik özellikleri elverişli olmayan ferrit ve sementitin mikroskopik düzeyde homojen karışımından oluşan perlit yüksek mukavemete ve yüksek tokluğa sahiptir. Ancak uygulamada kompozit malzeme olarak anılan sistemlerde bileşenler mikroskopik düzeydedir ve bunlar bir araya getirilerek üstün özellikli bir malzeme oluşturulmuştur.

Kompozit malzemelerin mamul olarak standartlarını araştırdığımızda bir standardın olmadığı görülmektedir. Kompoziti oluşturan malzemelerin ayrı ayrı standartları mevcuttur. Burada bahsedilen elyaflı kompozitler içindir. Beton, asfalt gibi kompozit malzemeler için standartlar

mevcuttur. Elyafli kompozitlerin standartlarının bulunması imalatçı için hazır malzeme konumunda kullanılmadığıdır. Piyasada, alüminyum, bakır, çelik gibi malzemeler üretici firma veya ülke standartlarına göre satılmaktadır. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler klasik sanayi malzemeleri gibi pazarlanmamaktadır. Bunun sonucu olarak bir standardizasyona gidilmemiştir.



### 3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitlere takviyeli veya pekiştirilmiş malzemeler denilmektedir. Pekiştirici bileşenin türüne ve düzenleme biçimine göre üç gruba ayrılabilirler:

- Taneli kompozitler.
- Lifli kompozitler.
- Tabakalı kompozitler.

a) Taneli kompozitler;

Lifli ve tabakalı kompozitlerin sağladığı özelliklerdeki artış, tanelilere göre daha yüksektir.

Taneli kompozitler için en önemli örnek betondur. Beton; kum, çakıl, çimento ve su karışımından oluşur. Burada çimento su ile birlikte bağlayıcı özellik taşımaktadır. Kum ve çakıl ise takviye veya diğer bir deyişle pekiştirici malzemelerdir. Sert tanelerin sünek bir bağlayıcı madde ile birleştirilip aglomere haline getirilen kompozitlere diğer bir örnek asfalt yol kaplamalarıdır. Asfalt viskoz ve düşük mukavemetlidir, taş ise sert ve gevrek. Kütle halinde fazla şekil değiştirmeden çatlıyarak kolayca kırılabilir. Halbuki değişik boyutlu kırma taş ile asfaltın karışımından oluşan yol kaplama malzemesi hem sünek hemde yeterli mukavemettedir. Tungsten karbür taneciklerinin Co metali ile yüksek sıcaklıkta basınç altında sinterlenmesi sonucu elde edilen seramik kompozit çok sert olup yüksek hızlı kesme takımı üretimine elverişlidir. Uygulamada bunlara sermet denir.

b) Lifli kompozitler;

Lifli kompozitler uygulamada önemli yer teşkil etmektedir. Özellikle cam elyaf ile takviye edilmiş plastiklerden

oluşan kompozitler çok geniş kullanma alanına sahiptirler. Gerçekte birçok malzeme elyaf halinde çok daha yüksek mukavemetli olurlar. Özellikle kıl (Whisker) halinde dislokasyon içermeyen cisimlerin mukavemeti normal boyuttakilere oranla yaklaşık bin katı kadar daha fazladır. Uygulamada takviye malzemesi olarak kullanılan elyaflar çoğunlukla kuvvetli kovalan bağlara sahiptirler. Aynı amaçla kullanılan metal elyafların mukavemetide soğuk çekme ile çok arttırılmıştır.

Elyafaların çapları mikron mertebesinde, dolayısıyla tek başlarına kullanılamazlar. Ancak sünek bir matris ile birbirine bağlanınca çok yüksek mukavemetli ve hafif bir malzemeye dönüştürülürler.

Matris ile elyaflar arasında kimyasal bağdan ziyade zayıf fiziksel bağlar vardır. Ancak boyları çaplarına oranla daha uzun olan elyafların toplam yüzeyleri büyüktür. Birbirlerine dolanarak kenetlenirler ve böylece oldukça büyük yük aktarabilirler. Sünek bir matris içinde bulunan yüksek mukavemetli elyaflar çatlasa veya kırılrsa dahi kusur mikroskopik düzeyde kalır, yayılmadan sünek ve tok matris tarafından önlenir.

c) Tabakalı kompozitler;

Tabakalı kompozitlerde ise, yüksek mukavemet ve modüle sahip değiştirici tabakaların, bunlardan daha sünek ve şekil alma özelliği yüksek bir matris ile birleştirilmesinden elde edilen malzemelerdir.

Tabakalar arası mesafe mikroskopik ölçülerdedir.

Kompozit malzemeler bileşenin türüne ve düzenleme biçiminden başka dizayn kompozitleri olarak da sınıflandırılabilir.

d)Elyaf sarma; Sürekli elyafın bir bağlayıcı ortamından geçirildikten sonra, dönenmandrele, önceden belirlenmiş sarım geometrisine uygun sarılması yöntemine elyaf sarma adı verilmektedir. Genellikle sarılan öz veya mandrel kullanılarak kompozit kabuk ile de takviye edilebilir. Elyaf sarma yönteminin bazı avantajları aşağıda verilmiştir.

- Sürekli elyaf ağı yüksek mukavemet sağlar.
- Ard arda sarılan elyaflar mukavemeti artırır.
- İmalatı kolaydır.
- Oldukça büyük yapılar elde edilebilir.
- Yüksek elyaf yoğunluğuna ulaşılabilir.
- Avantajlı üretim maliyetine sahiptir.

Çeşitli simetrik malzemelerin üretildiği elyaf sarma yönteminin bazı dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- Mandrelin çıkartılabileceği şekilde tasarlanması.
- Konveks yüzeylerin elde edilememesi.
- Sarım yolunun kolaylıkla değiştirilememesi.
- Kompleks ve pahalı mandrellerin kullanılması.
- Zayıf dış yüzeye sahip bulunması.

Bu olumsuzluklara rağmen, boru, fittings, tüp, basınçlı kaplar, küresel ve silindirik yapılarda oldukça tercih edilen bir yöntemdir.

e)Laminasyon; En az iki aynı veya farklı elyaf veya refrakter tabakasının önceden belirlenmiş konfigürasyonla birbirine bağlanması ile elde edilen yapıya lamine kompozit yapısı adı verilir. Ardışık takviye tabakaları, örgülü, dokunmuş, prese edilmiş, keçeleştirilmiş veya folyo şekline getirilmiş olabilir. Laminasyondan üç boyutlu konfigürasyona

ulaşılabilir. Örgülü, dokunmuş veya demet elyaf laminasyon yönteminde genellikle birbirine dik bağlanmıştır. Bağlayıcı olarak en çok kullanılan epoksi emdirilmiş kağıtlardır. Epoksi rijit, yüksek mukavemeti ile en çok kullanılan bağlama malzemesidir. Sıcakta ve soğukta sertleşen epoksi malzemeler kullanılmaktadır. Reaktif lastik, silikod ve polisülfid yapıştırıcılar ile sıcakta eriyip yapıştırılan termoplastik yapıştırıcılar da yaygın olarak kullanılabilir. Yapıştırıcı emprekne edilmiş plakalar halinde veya doğrudan takviye fazına sürülüp prese edilerek kullanılmaktadır.

f)Sandviç kompozitler; İki laminat arasına ince metal folyadan yapılan balpetekli bir yapının yerleştirilmesi ile elde edilen kompozit malzemelere sandviç kompozitler adı verilir. Hafif, üstün mekanik özelliklere sahip, üretimi oldukça basit bu malzemelerin geniş uygulamaları mevcuttur.

Balpetekli ara kesitli sandviç paneller, ilk defa 1940 lı yıllarda havacılık sektöründe kullanılmıştır. Günümüzde kağıt, plastik, paslanmaz çelik, titanyum, süper alaşım, alüminyum ve benzeri metallere balpetekleri üretilerek sandviç kompozitler yapılmaktadır. Laminatlarla birleştirmede özel yapıştırıcılar dışında difüzyon veya lehimleme birleştirmeleri de yapılabilir. Yüksek tokluk, yüksek mukavemet-ağırlık ilişkisine sahip sandviç panellerin kullanımı gelecekte daha da artacaktır.

Balpetekleri, iki temel yöntemle üretilebilmektedir. Yöntemlerden biri genişletme diğeri de oluklama dır. Genişletme yöntemi günümüzde en çok kullanılan metod olup şerit halindeki metal bandın belli aralıklarla üst üste yapıştırılması ve sonradan açılması prensibine dayanmaktadır. Şerit metal bandın çizgisel olarak yapıştırılmasında yüksek

sıcaklık bağlayıcıları kullanılmakta, yapıştırma işlemi basınç altında gerçekleştirilmektedir. Oluklama yöntemi yüksek yoğunluğa ve sıcaklığa dayanıklı malzemeler için uygulanan bir metottür.

Arzu edilen genişlik ve boyutlarda balpeteği nücre-  
sinin elde edilebilmesi için iki merdane yüzeyine enleme-  
sine dış açılır. Belli genişlikteki metalik band, oluklu  
merdaneden geçerken balpeteği yarı formunu almaktadır.  
Oluklu band fenolik, polyester veya poliamid banyo ile  
temas ettirilerek yapıştırılır. reçine ağırlığı, yapıştırı-  
lan metal band ağırlığının %50'si mertebesinde olmalıdır.  
Kornex, cam elyaf, kraft kağıdı, alüminyum ve benzeri beşyüz  
kadar malzemedan balpeteği yapısı elde edilebilmektedir.  
Balpeteği yapısı dışında dikdörtgen, kare ve çeşitli  
geometrik yapılar üretilebilmektedir. Ancak gerek mukavemet  
ve gerekse üretim kolaylığı yönünden balpeteği en çok üre-  
tilen ve kullanılan bir arayer malzemesidir.

Balpetek özlü sandviç yapıların yüksek mukavemet  
özelliklerine paralel olarak, akustik emisyon, yorulma,  
ses ve ısı yalıtım özelliklerine sahip oluşları kara,  
hava ve deniz taşıtlarında gittikçe aranan bir yapı ele-  
manı haline gelmelerine neden olmuştur.

### 3.3. Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi

Birleştirmeler belli bir yükü bir parçadan diğerine nakletmek için yapılır. Kompozit laminatların kırılğan yapısı, gerilme konsantrasyonları, büyük yükler sözkonusu olması dolayısıyla, parçaların güvenilir ve ekonomik olarak dizayn edilmesi, fonksiyonel tasarım için gözönünde tutulacak faktörlerdir. Çoğu termoset matrix laminatlar sınırlı bir akma kapasitesine sahiptir. Gerilmeler kritik sınırı aştıklarında laminat mikro çatlakları gelişir veya laminat süratle kırılabilir. Metallerde ise durum farklıdır. Metaller akma gösterirler ve bu akma sonrası yeni bir gerilme dağılımı görülür. Bu yüzden parçaların güvenilir olarak çalışabilmesi için dizaynı ve optimum bir Şekilde birleştirilmesi çok önemli bir husustur. Uygulamadaki birleştirmelerin iki temel tipi; mekanik bağlantılar (sıkılarak) ve yapıştırma bağlantılardır. Mekanik olarak yapılan birleştirmelerde(civata ve perçinli) ilk adım, laminat boyunca delik açmaktır. Laminat boyunca delik açma işlemi iki metodla gerçekleştirilebilir. Birinci metod, Şekil 1 'de gösterildiği gibi delme işlemi kalıpla yapılmalıdır. Kalıplamada delik çevresindeki elyaflar dışarı doğru itilir ve delik civarında reçine zengin bölge oluşur. Böylece delik çevresi zayıflar. İkinci metod ise Şekil 2 'de gösterildiği gibi delik açma işlemi matkap ile yapılmalıdır. Bu işlem daha elverişlidir. Yükle 45 ° veya 90 ° deki çapraz elyaflar delik açarken oluşan çatlakları koruyarak enine bütünlüğü sağlar. Mekanik olarak bağlanmış birleştirmelerde etkin bir yük transferini sağlamak için

basınç ön yüklemesi gerekir. Bağlama elemanları tarafından sağlanan sıkmadan doğan basma yüklemesi miktarı önemlidir. Çünkü kompozitin kalınlık boyunca mukavemeti ezilmeyi önleyemeyebilir. Ezilme hasar alanını önemli ölçüde artıracaktır. Sürünme gibi vizko elastik etkiler uzun bir zaman periyodunda bağlama elemanlarının ön yüklemesini azaltabilir. Çünkü sürünme miktarları kompozitler için iyi bir şekilde belirlenmiş değildir. Sürünme miktarları beklenen çevre şartları altında deney yoluyla bulunmalıdır. Birleştirilen parçalar arasındaki direngenlik uyumsuzlukları, ısıl ve nem genleşme katsayıları arasındaki fark dolayısıyla bağlama elemanlarında ek yükler doğar. Yapıştırıcı ile bağlanmış birleştirmeler iki veya daha fazla parçayı zamklayarak yapılır. Mekanik bağlayıcılar gibi uygun şekilde dizayn edilmiş yapıştırma birleştirmelerde ısıl ve nem genleşme katsayıları farkları minimum olmalıdır. Ayrıca yapıştırıcının sertleşme sıcaklığı bağlanan malzemelerin limitlerini aşmamalıdır. Bizzat yapıştırıcılar sıcaklık, nem ve kimyasal çevre şartlarından etkilenirler. Laminat yüzeyi hazırlanması düzgün olmalı ve uygun bağlamayı sağlayacak şekilde bütün özelliklere cevap vermelidir. Ayrıca beklenen yükleme şartları için uygun yapıştırıcılar seçilmelidir. Çünkü bazı yapıştırıcılar kayma, bazıları ise çekme durumunda daha iyi performans gösterirler. Kompozit yapıları kullanma, onların taşınmasını ve depolanmasını da kapsar. İzotropik metalik yapıların tersine anizotropik kompozitler belirlenen yönlerde direngenlik ve mukavemet şartlarını karşılamak üzere özellikle dizayn edilirler. Onun için beklenmedik yönde ve büyüklükte bir yük yüklemekten kaçınılmalıdır.

Bir delik yükle aynı yönde dizilmiş elyaflarla takviye edilmemelidir(şekil 3). Böyle takviye sadece bağlantıyı gerçekleştirir ve kırılma temayülünü artırır. Fabrik cam elyaf (birbirine dik iki yönde takviye edilmiş) tabakaları elyaf doğrultuları yk ile  $45^\circ$ ,  $-45^\circ$  yapacak tarzda üst üste bindirerek bağlantıyı yumuşatmak daha uygun bir işlemdir (şekil 4). Bu uygulamada fabrik cam elyaf zorlanma kapasitesinin fabrik karbon elyaftan yüksek olması dolayısıyla daha elverişlidir. Metal takviye de kullanılabılır.

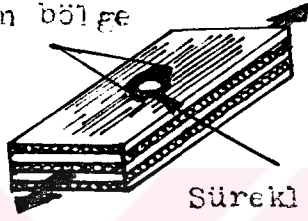
İleri kompozit yapılarda mümkün ise maddesel bağlantılar tercih edilir. İstenen mukavemet değerleri yapıştırıcı ile sağlanamıyorsa yapıştırıcı ile birlikte civata kullanılır. Zorlanma kapasitesinin düşüklüğü ve heterojen olmaları dolayısıyla kompozitler çözülebilir bağlama elemanları ile birleştirildiğinde özel dizayn işlemi gerektirirler.

Bağlanacak parçalarda, civata yataklarındaki boyutsal hassasiyetsizlik plastik deformasyona yol açar. Bu durum alüminyum ve çeliklerde nadiren sorun çıkarır. Bunlar da delik civarındaki malzemenin akmasından sonra yk komşu civatalara dağılır. Fakat durum daha gevrek olan kompozitlerde geçerli değildir. Kompozitler akma noktasına sahip olmadığından eğer bir civata yatağına diğerlerinden daha sıkı yerleştirilmiş ise, o delikte daha yüksek yatak gerilmesi doğar.

Karbon elyaf/epoksi yapı kompoziti kırılğanlığı delik civarındaki malzemenin ani kırılmasına yol açar ve tüm yük diğer civatalara ani olarak dağılır(şekil 5). Böyle problemlerde kaınılmanın bir yolu, üst üste bindirilmiş

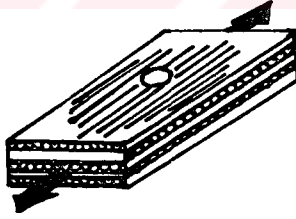
fabrik elyaf tabakaları kullanarak, civatalar bölgesindeki laminatı yumuşatmaktır. Diğer bir yolu birleştirmeden önce civataları sertleşmemiş epoksi ile kaplamaktır. Böylece reçine deliklerle civata gövdesi arasındaki boşluğu doldurur ve sertleştiğinde yükün civatalara düzgün olarak dağılımını sağlar.

Reçine zengin bölge

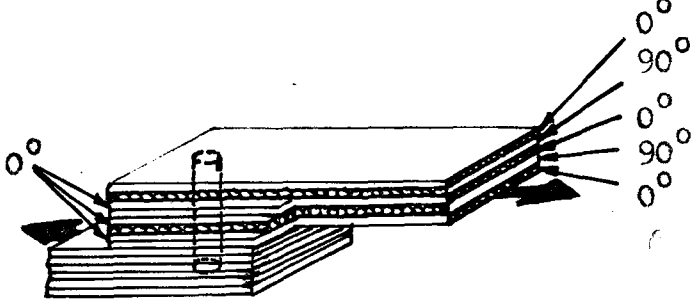


Sürekli elyaf

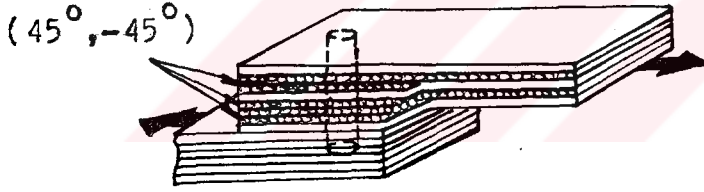
Şekil 1. Kalıpla delik delme hali



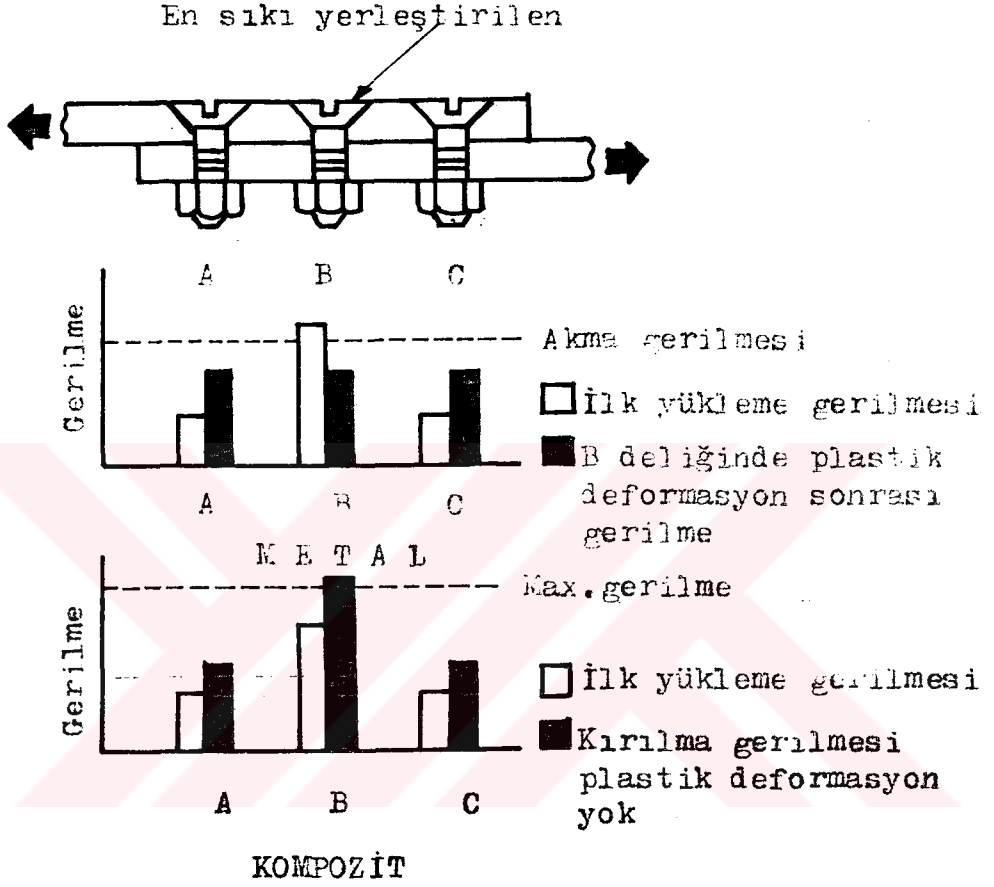
Şekil 2. Matkapla delik delme hali



Şekil 3. Aynı yönde dizilmiş elyaflarla takviyeli delik



Şekil 4.  $(45^\circ, -45^\circ)$  yönlerinde dizilmiş elyaflarla takviyeli delik



Şekil 5. Birden fazla civata ile gerçekleştirilen birleştirmelerde metal ve kompozit malzemeler için delme durumu.

### 3.4. Kompozit Malzemelerin Kullanıldığı Yerler

Kompozit malzemeler, klasik malzemelerin ihtiyacı gereken şekilde karşılayamadığı uygulamalarda kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerde takviye malzemeleri mukavemet artırıcı özellik taşımaktadır. Matris malzemeler ise sünek bir yapıya sahiptirler. Bu esasla birden fazla iyi özellik bir malzeme de bulunabilmektedir. Bununla beraber, matris malzemelerin avantajlı korozyon ve kimyasal direnci, ses yalıtımı, ısı izelasyonu, şeffaflık, elektrik yalıtımı gibi özellikleri de malzeme türüne göre olabilmektedir.

Kompozit malzemeler inşaat yapılarında beton, yol kaplamalarında asfalt olarak kullanılmaktadır. Araç lastikleri de bir kompozit malzemedir. Endüstride kullanılan elyaf takviyeli kompozitler, elyaf ve matris türüne göre farklı özellikler sağlamaktadır.

Yüksek ısı şartlarında çalışılması gereken ve ağırlığın çok önemli olmadığı uygulamalarda metal matrisli kompozitler kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın esasını teşkil eden elyaf takviyeli plastiklerin kullanım alanı:

- Turizm ve Rekreasyon sektörü
- Elektriksel uygulamalar
- Isı izelasyonu gereken uygulamalar
- Kompleks şekiller
- Korozyon dirençli uygulamalar
- Uzayda savunma sanayii
- İnşaat malzemeleri

ni kapsamaktadır.

### 3.4.1. Turizm ve Rekreasyon Sektörü

Takviyeli plastikler, takviye yönüne ait mukavemet özelliklerinden dolayı turizm ve rekreasyon endüstrisinde; balık avı için olta kamışı, okçuluk sporu yayı, golf sopaları ve tenis sporu raketi imalinde avantajlı olarak kullanılmaktadır. Yapı özelliklerinden ve hafif olmalarından dolayı, kanolar, golf arabaları, kar arabaları (motorlu kızak) motor kutuları, kemerli yüksek atlama sıırıkları, su ve kar kayakları ve sörf tahtaları yapımında kullanılmaktadır. Koruyucu başlık, trampelen ve yüzme takımı elemanları, spor zemini yapıları diğer uygulama sahalarıdır.

### 3.4.2. Elektriksel Uygulamalar

Takviyeli plastikler, iyi elektriksel izalasyon özelliklerinden dolayı, elektrik ve elektronik makinelerin çerçeveleri, elektrik endüstrisi hırdavatları, elektrik direklerinde kullanılan fincanlar, devre kontrolü için şalter çubukları, yüksek gerilim çubukları ve devre anahtarları tertibatını meydana getiren elemanların imalinde kullanılmaktadır. Bununla beraber, personelin bakım uygulamalarında kaldırılması için sepet imalinde de kullanılmaktadır.

### 3.4.3. Isı İzalasyonu Gereken Uygulamalar

Takviyeli plastikler ısı izalasyonu özelliğinden dolayı motorlu taşımacılık, demir yolu yük taşımacılığı ve bütün hava soğutma sistemleri için idealdir.

#### 3.4.4. Kompleks Şekiller

Takviyeli plastikler, kompleks ve düzensiz şekillerin yapımında kullanılabilmektedir. Büro ve ticari oturma elemanları, banyo ve tuvalet sabit eşyaları, otomotiv parçaları buna birer örnektir.

#### 3.4.5. Korozyon Dirençli Uygulamalar

Korozyon dirençli borular, yakıt ve kimyasal depolama tankları, temizlik malzemesi kuleleri, buharlı sıvı taşıyan kanallar veya borular, toplama başlıkları, kimyasal işlem elemanları, kimyevi gübre siloları veya dağıtıcıları, pencere kafesleri(kornişleri), elektroliz endüstrisinde kullanılan elemanlar takviyeli plastiklerin korozyon dirençli uygulamalarına tipik birer örnektir.

#### 3.4.6. Uzay ve Savunma Sanayi Uygulamaları

Yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip takviyeli plastikler uzay ve askeri uygulamalarda, roket motoru muhafazası, hortum başları, uzay roketi burunları, deniz altı kaplamaları, basınç şişeleri, helikopter pervane kanatları ve yivli silah kundağı imalatında kullanılmaktadır. Bununla beraber, hücum tekneleri, hava taşımacılığı bekleme salonlarında oturma yeri olarak, uçak motorunun kapağında ve komple uçak gövdesi kaplamasına uygulanmaktadır.

### 3.4.7. İnşaat Malzemeleri

Takviyeli plastikler hava direncinden dolayı, dekoratif paneller, değişebilen elemanlar ve perde duvarı malzemeleri olarak yapılarda kullanılmaktadır. Bununla beraber, balkon, çatı ve varena kaplamasında, şeffaf ve dam pencere panellerinde uygulanmaktadır.

Kontrüksiyon endrüstrisinde beton ayırıcı kalıp olarak kullanılmaktadır.



## 4. CAM ELYAF KOMPOZİTLER

### 4.1. Giriş

Sertlik, şeffaflık, kimyasal direnç, dengeli ve sükünetli yapı gibi ham cam özellikleri yanında, elyafa ait dayanıklılık, esneklik, hafiflik ve işlenebilirlik özelliklerini bir arada bulunduran tek malzeme cam elyafıdır.

Cam; Soda veya Potas silikatleri, kireç veya değişik metalik oksitlerin kaynatılması ile elde edilir. Dökülmüş kütle, kristalleşmeyi engellemek için hızla soğutulur.

Sürekli cam elyafların üretiminde iki temel işlem kullanılmaktadır;

- Bilyalı eritme
- Doğrudan eritme

Bilyalı eritme işlemi; genellikle 2-3 cm çapında bilya şeklinde hammaddelerin uygun karıştırılmasıyla eritilmesi ilk işlemidir. Bu yöntem çok eskidir.

Ham malzemelerden doğrudan eritme işlemi; çok sayıda hassas boyutlu delikleri olan platin alaşımdan yapılmış, ısıtılmış kovanlardan dökülür. Sabit ısıda ve yüksek hızda bir bobine sarılan cam elyafı belirli toleranslarla istenilen çapta çekilir. Tipik cam elyaf çapları 3-20  $\mu\text{m}$  arasındadır. Elyafların çekim hızı 61 m/sn den fazladır.

Tüm cam elyafı üretim sırasında bağlayıcı ile kaplanır. Bu bağlayıcı hem cam elyafının kullanım özelliğini belirler, hem de lifler arasında aşınmayı engeller.

#### 4.2. Cam Elyaf

##### 4.2.1. Camlar ve Bileşimi

Cam amorf yapıya sahiptir. Bu yapının oluşumu, eriyiğin soğuması sırasında kristaller düzenli bir sıraya girmeden şekillenmesinden oluşur. Kimyasal olarak cam, kompozit bir silis (silisyum) ağıdır. Bununla beraber soy silis veya kuartz eritilmeden ve şekillendirilmeden önce yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyar. Bu yönden camın viskozitesini ergime için uygun bir değere indirme, homojenlendirme, yapıdaki gazların dışarı alınması ve fiberleştirmenin kolayca yapılabilmesi için ilave kimyasal bileşikler eklenir. Oluşacak camın fiziksel özellikleri ilave katkı maddelerine ve miktarlarına göre farklılık gösterecektir. Çok değişik türlerde cam bileşimleri geliştirildiği halde yalnızca bir kaç tür yaygın olarak cam fiber yapımında kullanılmaktadır. Kullanılan 4 temel cam;

- Yüksek alkali A-Camı
- Elektriksel ve mekanik özellikleri iyi E-Camı
- Kimyasal dirençli ECR-Camı
- Yüksek mukavemetli S-Camı

Yüksek Alkali A-Camı; Temel olarak soda, kireç, ve silis içeriği olup, uygulamada pencere ve kap (kutu,şişe) yapımında kullanılır.

Bu tür şekillendirilen elyaflar uygulamada kimyasal direnç ve güçlendirilmiş özellik istenen yerlerde kullanılır. Sağlamlık kadar, mükemmel, elektriksel özellik gerektiren yerlerde kullanılır. Bu camın kimyasal bileşimi kalsiyum alümina-boro-silikat ve düşük alkali oksitten oluşur.

**E-Camı;** Elyaf olarak geniş bir alanda kullanılan malmazedir. İçerisinde %2.0 alkali ve kalsiyum alümina-borsilikat bileşimi olan bir cam ailesidir. Elyaf olarak mukavemetli ve yüksek elektrik öz direnci gerektiren genel amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Kimyasal dayanımları yüksektir.

**ECR-Camı;** Cam elyaf olarak iyi elektriksel özellik ve kimyasal direnç gerektiren uygulamalarda kullanılabilir.

**S-Camı;** Bir magnezyum alüminasilikat bileşimine sahip olup yüksek mukavemet göstermekte ve çok yüksek çekme mukavemeti gereken uygulamalarda kullanılmaktadır. C camı askeri şartlar için uygundur. (Savunma Sanayi)

Mekanik özelliklerine göre S-Camı en yüksek çekme mukavemetine elastik modüle sahiptir. S-Camı'nın yükseltilmiş sıcaklık tutma özelliği diğerlerine göre daha güzeldir. Bununla beraber pahalıdır. S-cam elyafları genellikle uzay sanayiinde kullanılır. ECR camı ve S-camı elyafları A-Camı elyafı ile mukayese edildiğinde uzun zaman aralığında neme karşı mükemmel direnç gösterirler. E-camı iyi boyutsal kararlılık, iyi nem direnci ve düşük maliyetten dolayı daha yaygın olarak kullanılır. Cam elyaflar bahsedilen özelliklerinden dolayı plastik endüstrisinde tercih edilirler. Çok değişik cam bileşimleri özel amaçlar için formulize edilmiştir. Bunlardan ikisi az miktarda ticari veya reklam

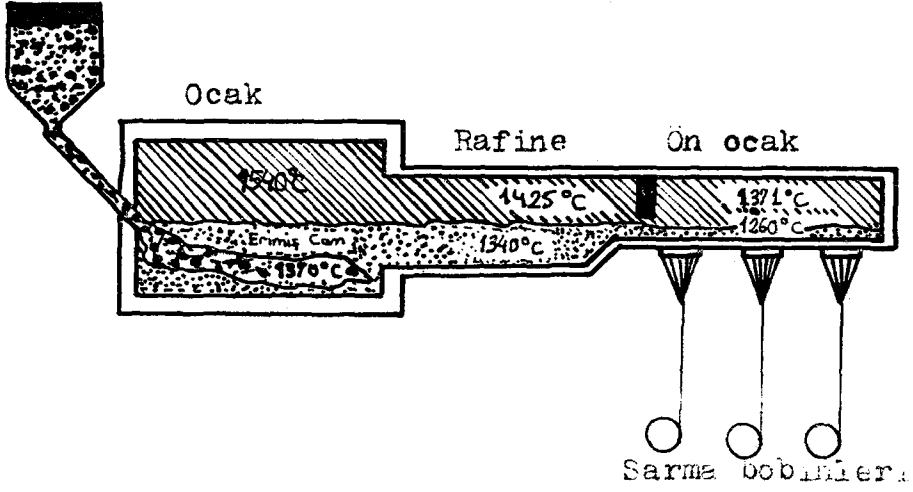
için kullanılır. Ticari alanlarda C-camı kimyasal dirençli, R-camı yüksek modüle ve yüksek mukavemete sahiptir.

#### 4.2.2. Camın Ergitilmesi ve Şekillendirilmesi

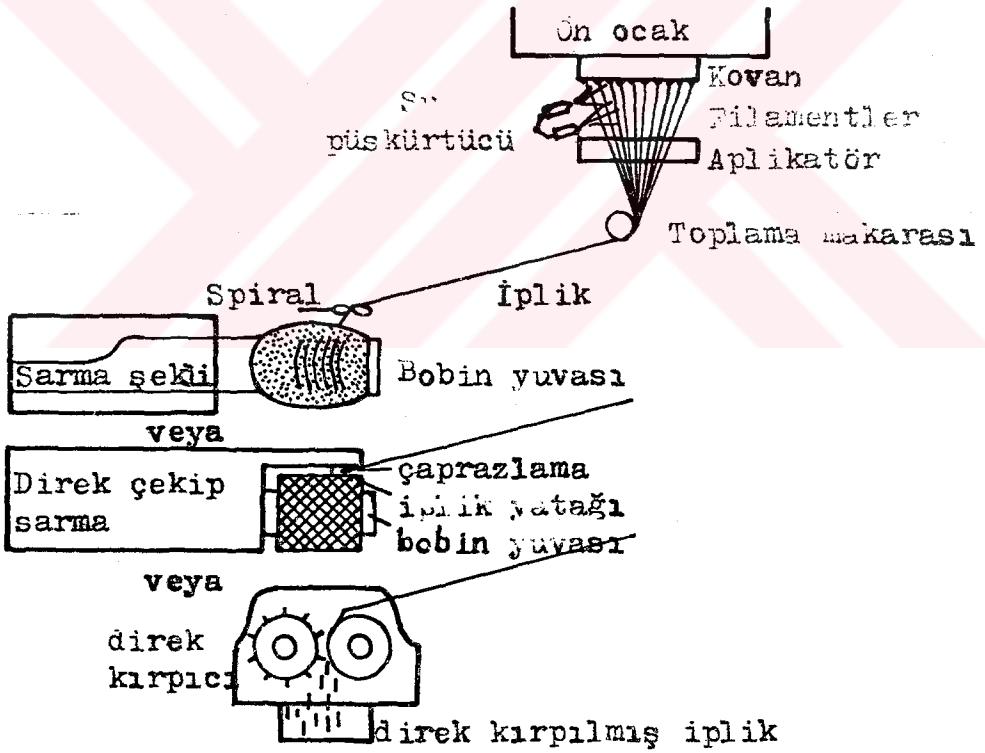
Camın ergitme işlemi, uygun hammaddelerin karıştırılıp tartılması ile başlar. Modern cam elyaf fabrikalarında ileri seviyede otomatik makinelerle ve bilgisayar destekli taşıma sistemleri ile yapılır. Malzeme bileşenleri taşıma sistemleri ile fırına gönderilmeden önce istenilen oranda karıştırma istasyonlarına taşınır ve karıştırılır.

Cam elyaf fırınları genel olarak üç farklı bölümden oluşur. (Şekil 6). Bileşim miktarı ergitilmek için fırına taşınır, içindeki gazlar alınır ve homojenleştirilir. Sonra cam eriyiği rafineri bölümüne akıtılır. Rafineri sıcaklığı 1370 °C den 1260 °C ye düşürülür. Cam eriyiği bitişindeki düşük sıcaklıktaki bölüme geçer. Bu bölüm elyafın şekillendirileceği yerin başlangıcıdır. Cam parçacıklarının viskozite karakteristikleri işlem boyunca kararlı(sabit)tutulur. Buna ilaveten fırının fiziksel düzeni, sıkışıklığa göre geniş ölçüde değiştirilebilir.

Eriyik camın elyaflaştırma işlemlerinin temel esasları şekil 7'de gösterilmiştir. Eriyik cam akışı platinyum rodyum alaşımından yapılmış kovandan geçirilir. Üretim kovana 400 ile 8000 deliklidir. Bu elyaf kovanları elektrikle ısıtılarak ısı kontrolü ve eriyik camın viskozitesi sabit tutulur. Şekillenen elyaflar çıkarken soğutulur. Böylece elyaflar (filament) şekillendirilmiş olur ve bu süreklilik devam eder. Bu üretimde ilk adımdır. Elyaf iplikçiklerinin



Şekil 6. Camın erimesi ve dökümü.



Şekil 7. Cam elyaf şekillendirme işlemi.

biraraya getirilmesi, yağlanması, reçinelerle bir araya getirilmesi ve yapışma özellikleri sonuç üretilimdir. Bu birleştirme elyaf özelliklerinin özel kullanma yerine göre farklılık gösterebilir. Elyafın boyutlandırılmasından sonra filamentler birleştirme aletleri ile bir araya getirilirler, yani elyafın oluştururlar. Eğer küçük filamentlerin bir araya getirilmesi gerekli ise papuç denilen birleştirme aleti kullanılır.

İnceltme oranı ve filament yarıçapı "Take-up device" aleti ile kontrol edilir. Elyaf çapı, başlık sıcaklığı camı viskozitesi, başlığın uyguladığı basınç ile sıkıştırılır. En yaygın kullanılan "Take-up device" aleti şekillendirme rüzgarlayıcısı denilen aletidir ki yuvarlak bir toparlayıcı ve travers kaneviçe gibi mekanizması dairesel bir cismi paketler gibi çalışır. Bu kolay ip çekme hareketi paketleme alt işlemi adımlarında dönme ve burma olarak yapılır. Şekillenen paketler kurutulurken fabrika bölgesindeki depoya taşınır. Son yıllarda üretim prosesleri birhayli geliştirilmiştir. Vuruşlu ve yuvarlamalı üretimlerde direkt olarak şekillendirilme esnasında işlem bitirilmektedir. Bunun için özel şekillendirici, vuruşlar ve döndürücüler üretim performansını arttırmak için ıslak şekillendirme metodu uygulanmaktadır. (Şekil 7)

Filament Çapları Dizini; Cam elyaf endüstrisinde kullanılan filament çapları standardize edilmiştir. Boyutlar tablo 1 de gösterilmiştir. Buna göre kaliteli elyafın tekstil uygulamasında kullanılır. Bunlar D'den G'ye kadardır. Kaliteli elyafın kullanılma nedeni dokuma ve bükme işlemlerinde, yüksek çalışma hızlarında yeterli esneklik

Alfabe	Filament Çapı	
	m	
AA.....	0.8	- 1,2
A .....	1.2	- 2.5
B .....	2.5	- 3.8
C .....	3.8	- 5.0
D .....	5.0	- 6.4
E .....	6.4	- 7.6
F .....	7.6	- 9.0
G .....	9.0	-10.2
H .....	10.2	-11.4
J .....	11.4	-12.7
K .....	12.7	-14.0
L .....	14.0	-15.2
M .....	15.2	-16.5
N .....	16.5	-17.8
P .....	17.8	-19.0
Q .....	19.0	-20.3
R .....	20.3	-21.6
S .....	21.6	-22.9
T .....	22.9	-24.1
U .....	24.1	-25.4

Tablo-1 Filament çap boyutları standardı.

göstermesindedir. Alaslade plastik takviyelendirilmesinde G'den T'ye kadar olan filament çapları seçilir.

#### 4.2.3. Yüzey İşlemleri

Üretim işlemi sürerken ve bir sonraki kullanım için cam elyafa özel bir işlem gerekir. Genellikle organik olmak üzere her bir işlem spesifik bazı özellikler sağlar. Örneğin; yağlama yapılması, tek tek filamentlerin korunması, demetlerin bir arada tutulması, üretimde kullanılan reçine sistemi ile uyum sağlanması gibi.

##### 4.2.3.1. Yapışkan Yüzey Kaplamaları (SIZINGS)

Yüzey işlemleri genellikle tekstil yapışkan yüzey kaplamaları ve takviye edilmiş yapışkan yüzey kaplamaları olmak üzere iki temel şekilde sınıflandırılabilir. Tekstil yapışkan yüzey kaplamaları genellikle dokuma üretimi için kullanılacak elyafların işlenmesinde kullanılır. Takviyeli yapışkan yüzey kaplamaları genellikle kimyasal işlemler için planlanır, bu bir sonraki işleme uyum sağlayacak veya cam elyafın özelliklerinin reçine sistemiyle bağlanmasını sağlayacaktır.

Üovanın üzerinde, yaklaşık 60 cm yükseklikte bir noktada operasyon sürerken sürekli filament cam elyafına yapışkan yüzey kaplama malzemesi uygulanır. Bir demet halinde birleştirilmeden önce 204 filamentin hepsinin ıslatılmasından emin olmak için uygulama noktası önemlidir.

Yapışkan yüzey kaplama malzemeleri iki formülasyonludur; Tekstil tipi uygulamalar için kullanılabilen elyaflara

(1) kola yağ karışımı emdirilmesi (2) kimyasal karışım içeren bir organik reçine filim şekillendiricisi, bir ıslaklık etkeni, bir yüzey aktivite etkeni reçine sisteminin takviyesinde kullanmak için elyaf tasarımına uygulanmıştır.

Tekstil yapışkan yüzey kaplamaları ısı deneyi veya sıcak temizleme ile yok edilebilir. Takviyeli malzemeler ile kullanılacak reçine sistemine uyum sağlayacak elyaf yapmak için bir sonraki operasyonun bitişine ek olarak buna izin verilir.

Kimyasal karışımın (takviyeli) yüzey aktivitesi etkenleri genelde iki tiptir; (1) kromlu bileşimler, (2) silanesler cam elyaflar ile kullanım için geliştirilmiştir.

Bir reçine sistemi ile cam elyafın kullanım münasebeti kimyasal olarak uygundur ve ard arda süren örme operasyonlarında yağlayıcı maddeler genellikle tekstil yapışkan yüzey kaplamalarında kullanılmaktadır. Farklılık, takviyeli yapışkan yüzey kaplamaları krom veya silane takviyede cam filamentler ve döküm reçineleri arası kimyasal bağı düzenlemekte (islah etmek) kullanılmaktadır.

#### 4.2.3.2. Cilalamalar (rütüşlar)

Krom ve silane kimyasal bileşimi içeren son rütüşlar, sıcak temizleme ve örmeden sonra yalnız kumaşlara uygulanır. Ticari sıcak temizleme veya "Carmelizing" kola-yağ emisyon tipi yapıştırmaları yanma işlemiyle ortadan kaldırılır. Bu yol aynı işlem için kimyasal temizlemeden daha etkilidir. Kontrol altındaki ısı koşullarında karbondan kola dönüştürme işlemine "Carmelizing" işlemi denir. Cam elyaf malzemeler laminatlarda kullanmak için tasarlanırlar, yapışkan kaplama-

yı kaldırmak için kimyasal yıkama veya ısıl işleme tabi tutulması zorunludur. Bunun üzerine uygun bir kimyasal cilalama (rütüş) yapılır. Sıcak temizleme ve cilalama (rütüş) işlemini birleştirmek olağan üstü bir olay değildir. Sadece operasyonel bir adımdır. Cam elyaf cilalaması üzerine çok sayıda esaslı çalışma vardır.

Cilalama (rütüş) üzerine son-işlem uygulamaları amacıyla özel bilgiler için kullanıcı veya satın almacı satıcılar ile ilişki kurmalıdır.

Takviyeler için cilalama (rütüş) uygulaması tanımına göre listelerden seçilen cam elyafların başlıca işlemleri epoksi veya polyester ile kullanımı için uygundur. Son kullanım uygulamaları için, cilalama sonrası kullanışlıdır. Fakat takviyeli plastikler dahil değildir. Cilalamada kullanılan farklı seçimler için satıcılar kurs düzenlemelidir, genelde ise kimyasal benzerlik vardır.

#### 4.2.3.2.1. Rütüş 112 (Sıcak Temizleme)

Cilalama uygulamasından evvel kullanım için temel bir işlem olup, organik kaplamanın yaklaşık olarak tamamında takviyeden uzakta yapılmaktadır. Fazlalık % 1 dolayındadır ve takviye orijinal tabii beyaz görünüme sahiptir.

#### 4.2.3.2.2. Rütüş 114 veya Valon<sup>1</sup>

Takviye sıcak temizlemeden sonra bir krom bileşiği ile tamamen doymuştur. (valon) Bu rütüş polyester reçineler ile kullanım için tavsiye edilmektedir. Fakat bu rütüş

laminat yapımında nemli dayanımda yetersiz olmaktadır.

#### 4.2.3.2.3. Valon<sup>2</sup> A

Bu işlem rütüş 114'ün nemli dayanımını arttırmaktadır. Bu rütüş polyester ve epoksi laminatlar için takviyeli elemanı üreticileri tarafından tavsiye edilmektedir. Çünkü iyi kuru ve nemli mukavemet özelliklerine ihtiyaç vardır.

Valon A rütüşü, kontrol altındaki şartlarda "methacrylate-Cromic Chloride" ile doyurulmuş 112 rütüşü tarafından geçerli olmaktadır. Bu nedenle rütüş takviyesinde krom muhtevası ağırlık olarak % 0.06 ve % 0.03 arasındadır.

#### 4.2.3.2.4. Rütüş 136, 301 ve Garan<sup>3</sup>

Müteakip sıcak işlem, dokuma, bir silane tipi kimyasal ve dikkatle kurutma ile tamamen doyurulmuştur. Bir vinil-silane camın yüzeyinde kalmakta, polyester reçine ve cam yüzey arasında bir kimyasal bağ bağlanmaktadır. Dokumalar önemli ıslak ve kuru mukavemet özellikleri göstermekte ve polyesterler ile kullanılmaktadır.

#### 4.2.3.2.5. Rütüş A-172

Vinil-Silane doyma işleminin bir tipi olup polyester ile nem harici özellikleri iyidir ve önemlidir. Epoksi reçine sistemleri ile kullanım için rütüş sonrası yüksek performans istenen uygulamalar için uygundur, (bilhassa askeri uygulamalar için).

Kimyasal işlemden sonra takviyede istenmeyen çözülebilir kloridler kesin ortadan kalkmalı, tamamen yıkanmalıdır. Bu rütüş laminatın ıslak ve kuru mukavemet özelliklerini artırmakta, polyester, epoksi ve phenolik reçineler ile kullanımı için tavsiye edilmektedir. Bu rütüş dahi laminat işlemi süresince takviyenin dış nemini ve dökümlülüğünün artmasını sağlamaktadır.

#### 4.2.3.2.6. Rütüş A-1100 (Silane Doyması)

Müteakip sıcak işlem olup, takviye bir amine tipi vinil-silane ve kurutmadan sonra tamamen doyurulmuştur. Bu rütüş, phenolikler gibi epoksi reçineler veya diğer ısı dirençli sistemler ile kullanımı için uygundur. Fakat, polyesterler ile kullanımı için genelde tavsiye edilmemektedir.

#### 4.2.3.3. Tutkallamalar (Binders)

Tutkallar, toz haline getirilmiş reçineler veya reçine malzemelerinin eriyikleri veya diğer sıvı emülsiyonlardır ve sabit bir ilişkide elyafların kimyasal bağı için kullanılmaktadırlar. Takviye uygulamaları için yüzey tülü ve örgüsüz cam elyaf işleminde tutkallar darbe görmemiş elyaflara direkt uygulanır. Örülmemiş ürünlerin işlenmesinde tutkallar önceden bilinen standartlarda uygulanmaktadır.

Sıvı ve katı polyester reçineler, bazı sıvı arsilik reçineler cam elyaf takviyeli örülmemiş ürünlerin geniş parçalarına uygulanmaktadır. Nezaman ki kullanılabilen döküm reçinelerin nihayetiyle benzer tutkal reçine özellik-

leri gereklidir ki o zaman özel tutkallar tasarlanabilmektedir.

Tercih edilen eritilebilir ve eritilemez tutkallardır. Üretim uygulamasının ön şekillendirme tiplerinde, bir polyester reçine ön şekillendirmeye kadar sabit bir ilişkide kırılmış elyafları tutmada çoğunlukla kullanılmakta, benzer metal döküm teçizatına ilave işlem olmaktadır.

#### 4.2.4 Fabrikasyon İşlemleri

İşlemden önce üretilen sürekli cam elyaflar istenilen şartlara dönüştürülürler. Önemli formlar, sürekli yarı bükülmüş iplik, dokuma yarı bükülmüş iplik, cam elyaf örgüsüz, kırılmış demet ve tekstil uygulamaları için bükülmüş ipliklerdir.

##### 4.2.4.1. Yarı Bükülmüş Cam Elyaf

Tek elyafların çok miktarda grup olarak geniş bir iplik haline getirilmesidir (bir silindir üzerine sarılarak).

Bu işlem "Multi End", "çok uçlu bükme işlemi" olarak adlandırılır. İşlem, kurutulmuş ve şekillenen paket elemanlarının sepete yerleştirilmesiyle başlar. Sonra uçlar iplik haline, çekme ve toplama altında bükme rüzgarlayıcısı ile sabit traversleme oranına getirilir. Bu işlem yol rüzgarı olarak adlandırılır. Bu oran paketleme stabilitesinde iplik karakteristiklerinde ve bir sonraki operasyonda önemli etkilere sahiptir.

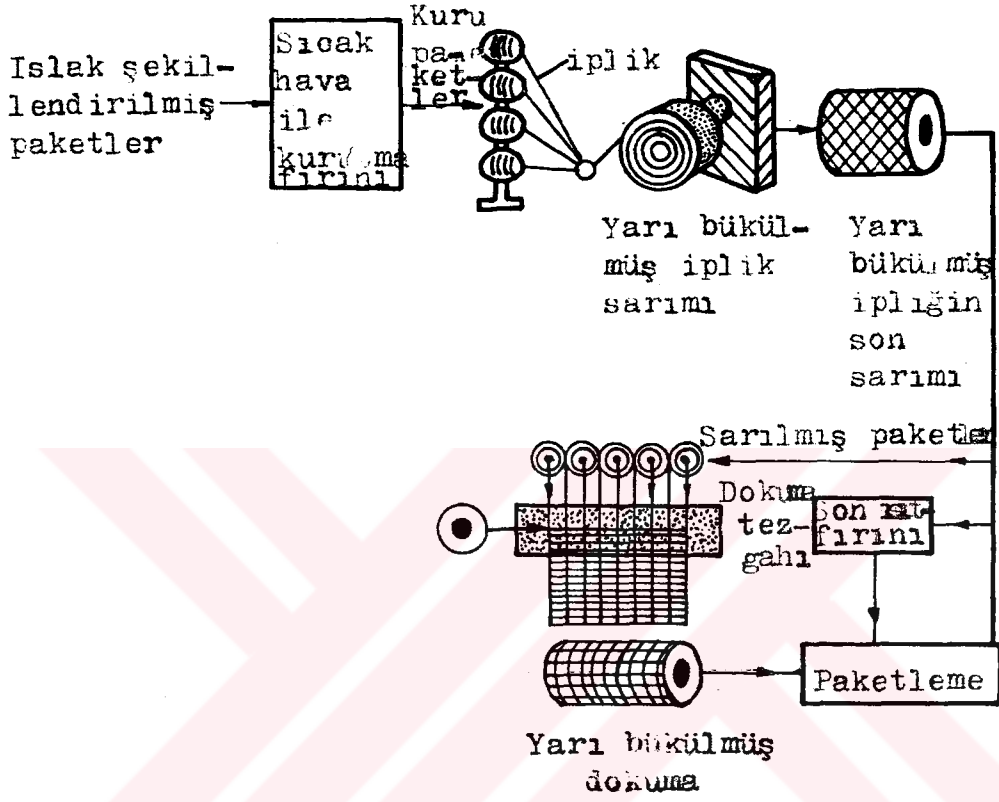
Bükülmesi bitirilen ipin akma gerilmesi, parça iplerin veya giren iplerin akma gerilmesi ve çıkan elemanlarla tespit edilir. Sonuç paket ağırlığı ve boyutları gerekli kullanım durumlarına bağlı olarak geniş ölçüde değiştirilebilir, değişken yapılabilir. Giriş işlemi şekil 8'de gösterilmektedir.

#### 4.2.4.2. Dokuma Yarı Bükülmüş Elyaf

Elyafaların fabrikasyon şekilde dokunmasıyla elde edilir. Bu üretimler kaba üretilir ve depo gibi şekillerin üretiminde elyaf takviye plastik işlemlerinde kullanılır. Laminat gereksinimleri için çok uygun, çok değişik dokuma türleri vardır. Düz veya çizgili dokuma iki yönde mukavemet sağlar. İlmek veya örgülü tek yönlü dokumalar tek yönde mukavemet gösterirler. Çok sayıda yapılan yeni üretimlerde tek yönlü, iki yönlü veya  $\pm 45^\circ$  dokuma türleri çok iyi sonuçlar vermektedir. Uygulamada geniş ölçüde kullanılmaktadır. Özel uygulamalar için isteğe bağlı yönlendirme ile imal edilebilir.

#### 4.2.4.3. Örülmemiş Elyaf

Cam elyaf keçe, paspas, haşır şeklinde sürekli veya parça kırma suretinde üretilebilir. Kırılmış elyaflardan keçe şeklinde şekillendirilen kırılmış cam elyaflar kemer veya zincir gibi düzensiz olarak biriktirilirler ve kimyasal bağlayıcılarla birleştirilirler. El yatırması işleminde koruyucu direncini lineer yapmakta veya cidarları yüksek çözünürlük gerektiğinde uygulanır. Oysa soğuk şekillendirmede



Şekil 8. Yarı bükülmüş cam elyaf sarma işlemi.

(soğuk presleme veya basma şekillendirmesi) düşük çözünürlük aşınmayı önlemek için işlem boyunca gereklidir. Sürekli keçe benzer şekilde şekillendirilir fakat kırma yapılmaz. Genelde az birleştirme gereklidir. Zira mekanik karışıklıkların yükselmesine neden olur ki, bu tabii özelliklerin korunması gerekir. Sürekli keçe gibi kapalı şekil işlemlerinde kullanılabilir. Bazı ilave güçlendirme (farklı yönlerde) gerekli olan yerlerde kullanılır.

Özel elemanlar için değişik tür keçe elyaflar üretilir. Boru ve tankların dış yüzeylerinin düzleştirilmesinde C-camı elyafı kullanılır. Diğer cam türlerinden yapılmış elyaflar da bazı parlak yüzey eldesinde kullanılırlar.

#### 4.2.4.4.Yarı Bükülmüş Elyaf ve Örülmemiş Cam

##### Elyafın Kombinasyonu

Son yıllarda özel üretimler için geliştirilmişlerdir. Çoğu elyatırması işlemlerinde alternatif yapı olarak kullanılmaktadır. Cam elyaf üreticileri, üretimleri daha ucuz ve daha verimli yapmaya başladılar. Uygun ağırlıktaki cam keçe ve örme elyaf kimyasal veya mekanik örme veya ilmek bağlayıcılarla birleştirilirler.

#### 4.2.4.5.Kırpılmış Demet İşlemleri

Kırpılmış cam elyaflar iki önemli işlemle üretilir. İlk işlemde kurutulmuş paket şeklindeki camlar temel eleman olarak kullanılırlar. İp elyafların uçlarından vurucu beslenir. Vurucu, cam elyafları düzgün olarak kırar. Tipik boyutlar 3,2 ile 12,7 mm arasındadır. Sonra mamül ürün tüy

çıkarmadan ve karışmadan korunur ve gönderilmek üzere sandıklanır.

İkinci işlem ise, son yıllarda kullanılmaya başlanmış olup direkt olarak bol miktarda kırılmış elyaf elde etmek için büyük bir şekillendirme eleği kullanılır. Elyaf ölçülendirmeden sonra nemli durumda uygulanır. Islak elyaflar kurutulacak yere taşınır, kurutulur ve paketlenir. Direkt kırma metodu ile büyük miktarda takviyeli reçine mamülleri temin edilir.

Kırma cam elyafı yaygın olarak püskürtmeli şekillendirme endüstrisinde kullanılır. Cam elyaf ve reçine şekillendirmeden önceki karıştırma veya extrüzyon birleştirmesinde kuru olabilir veya cam elyaf plastik reçine ile şekillendirme esnasında direkt yüklenebilir. Farklı parçaların yüzlercesi değişik uygulamalar için bu şekilde yapılır. Buna ilave olarak kırılmış cam elyaf bazı termoset uygulamalarında takviye elemanı olarak kullanılır. Hacim şekillendirmedeki gibi.

#### 4.2.4.6. Ögütülmüş Elyaf

Ögütülmüş cam elyaf çekiçle vurma ögütmesiyle veya kesilmiş sürekli elyaflardan hazırlanır.

#### 4.2.4.7. Cam Elyaf Kağıt

Kırılan 25 ile 50 mm'lik cam elyaflar genellikle ince keçe camı yapımında kullanılır ki, bu cam elyaf kağıt olarak bilinir ve güçlendirilmiş cam elyaf çatı saçlarıdır. Bu işlemlerde kırılmış elyaflar seyreltik olarak

şekillendirilmek için suya serpilir. Cam elyaf filamentleri karıştırma ve serpme boyunca yapılır. Elde edilen su ve elyaf karışımı hareketli zincir üzerinde vakum ile hareket ettirilir ve arkasına düzgün bir şekilde dağıtılır. Elde edilen bu cam elyaf kağıdın üzerine reçine boydan boya eklenir. Kurutma ve düzeltme ile cam elyaf kağıt şekillendirilir. Bu cam elyaf kağıt uygun reçine sistemiyle katı olarak kullanımı için birleştirilme işlemiyle tamamlanır.

#### 4.2.4.8. Tekstil Elyafı (Yarı Bükülmüş)

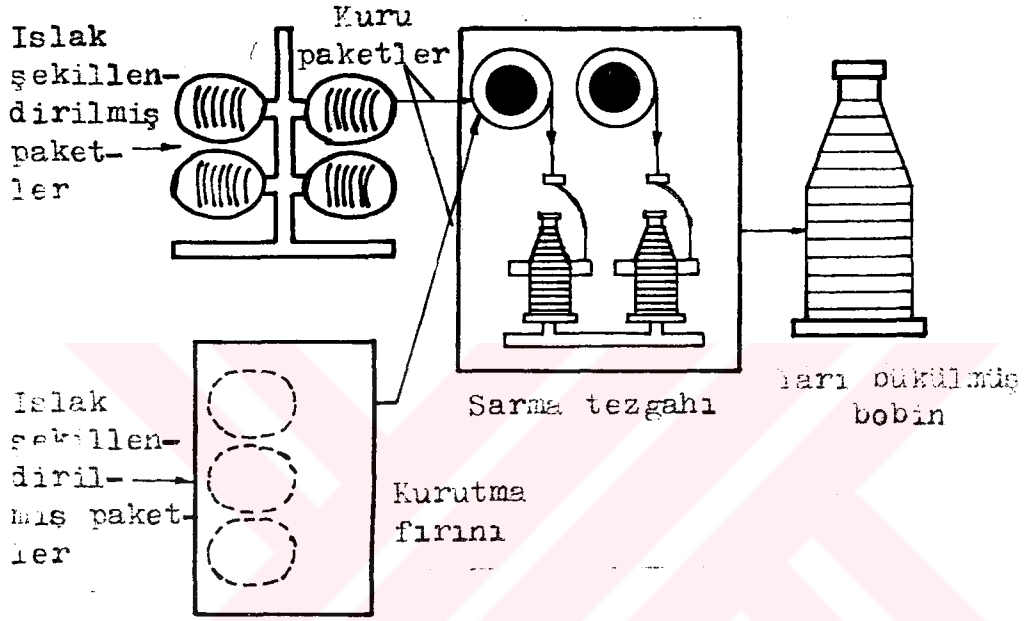
Örme işleminden önce ilave olarak ipin bütünlüğünü sağlamak için bükme gerekir. Tipik bükme şekli 25,4 mm'de bir dönmedir. İşlemden önce esas olan sarma yönünün tersine bir sarma daha yapmaktır. Kullanılan iki tip bükme S ve Z olarak bilinir ve sarmanın hangi yönde yapıldığını gösterir. Genellikle iki veya daha fazla ip birlikte bükülür. Şekil 9'da yarı bükülmüş elyafın bobine sarma işlemi gösterilmektedir.

#### 4.2.4.9. Cam Elyaf Flamentin Adlandırılması

Cam elyaf filamentler alfabenin elemanları ile üretimde adlandırılmaktadır. Mesela; ECG 75 2/4

- İlk harf camın bileşimini tanımlar, E-camı
- İkinci harf flamentin tipini tanımlar, (C)ontinuous (sürekli flament)
- Üçüncü harf flament çapını tanımlar, (G)
- Bir sonraki elemanlar serisinde flamentin asıl

akma mukavemetinin 1/100 oranını temsil eder. Burada



Şekil 9. Yarı bükülmüş cam elyaf bobine sarma işlemi.

75 x 100 = 7500 yd/lb.'yi ifade eder.

- Kesirli sayı ise birlikte bükülen ipin uç durumlarını ve sonuçta örülen tekstil elyafını temsil eder. Burada 2/4; 2 asıl filament tek uçla şekillenmek için büküldü ve 4 uç eşitlendi, uygun yönde son şekil verildi.

#### 4.2.4.10. Cam Elyaf Dokumalar

Cam elyaf birleştirmeler dokuma operasyonu ile fabrik duruma dönüştürülürler. Dokumanın karakterlerine; kendi dokuma şekli ve dokuma örneğine göre dokuma sayısı, elyaf çarpıklığı, elyaf sıklığı etki eder.

Temel olarak dört değişik dokuma vardır;

- Düz, kabartma, saten, sepet (basket).

#### 4.3. Bağlayıcılar

Takviyeli plastiklerin imalinde, takviye edilen plastik türleri; termoset ve termoplastiklerdir. Termoplastikler lineer polimerler olup sıcaklık artınca yumuşarlar, soğuyunca sertleşirler. Termoset plastikler ise polimerizasyon işlemi tamamlanınca sertleşirler, tekrar yumuşamazlar.

Endüstride termoset plastiklerden polyesterler ve epoksi reçineler yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### 4.3.1. Polyester Reçine

Takviyeli plastikler endüstrisinde polyester reçineler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ucuzluk, boyutsal denge, iyi kimyasal ve elektriksel özellikler, iyi mekanik özellikleri

ve elle işleme kolaylığı polyesteri avantajlı yapmaktadır. Polyester reçineler iki ana gurubta toplanmaktadır;

- Doymuş polyesterler
- Doymamış polyesterler

Doymuş polyester reçineler polietilen teraftalat veya terilen gibi termoplastik özellikler gösteren enjeksiyon kalıplamada ve elyaf üretiminde kullanılan reçinelerdir.

Doymamış polyester reçineler ise, uygun bir katalizör ile "Cross" (şebeke yapısı) oluşturan termoset özellikli reçinelerdir. Cam elyaf takviyeli plastik üretiminde genellikle doymamış polyester reçine kullanılır ve değişik amaçlar için, değişik özellikte doymamış polyester reçine tipleri geliştirilmiştir.

- Genel amaçlı reçineler
- Kimyasal dayanımlı reçineler
- Alev geciktirici reçineler
- Stiren buharlaşması az olan reçineler
- Düşük çekmeli reçineler
- Özel amaçlı reçineler
- Döküm reçineler
- Köpük polyester reçineler

#### 4.3.1.1. Jelkot Reçineler

Jelkot, kalıp yüzeyine sürülen ilk kat reçine tabakasıdır. Düzgün ve cam elyafı koruyucu bir yüzey elde etmek amacı ile kullanılır. Ortalama 0,4 mm kalınlıkta uygulamak için m<sup>2</sup>'ye yaklaşık 1/2 kg jelkot kullanılır. İstenildiği takdirde kendiliğinden renkli olarak kullanılabilir.

Özellikle kimyasal direnç aranan uygulamalarda, jelkot tabakasının arkasına C camından veya sentetik elyaftan yapılmış yüzey keçesi kullanılır. Böylece cam elyaf tamamen korunmuş olur.

Jelkot reçineler içinde genellikle tiksotropi özelliği sağlayan maddeler bulunur. Bunun amacı, sertleşme sırasında jelkotun çukur noktalarda akma yapmasını önlemektir. Fırçayla veya püskürtme

makinasıyla kullanılmak üzere iki tip jelkot vardır. Burada fark viskozite ve tiksotropi özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Genel amaçlı jelkotlar ortoftalik veya izoftalik reçinelerden yapılabilir.

#### 4.3.1.2. Genel Amaçlı Reçineler

Genellikle ortoftalik polyester reçinelerdir. Yakın zamana kadar tekne üretiminde çok kullanılmıştır; bununla beraber yerini yavaş yavaş su absorsiyonu daha düşük olan izoftalik polyestere bırakmaktadır. değişik amaçlara uygun olarak yüksek veya düşük viskoziteli, sert veya yumuşak özelliklerde üretilebilir.

#### 4.3.1.3. Kimyasal Dayanımlı Reçineler

Kimyasal dayanıma yeterli olmak için tam sertleşme gerekir. Buda en az 18-20 °C sıcaklıkta yapılmalıdır.

En dayanıksız ester gurubudur. İzoftalik polyesterler orta dereceli dayanımlıdır. Daha yüksek kimyasal dayanım

için, propilen glikol yerine neopentilglikol kullanılır. En üst dayanım için bisfenol A türevleri ve HET asit kullanmak gerekir.

#### 4.3.1.4.Alev Geciktirici Reçineler

Yangın ihtimali bulunan yerlerde kullanılmalıdır. Alev geciktirici polyester üretimi için farklı maddeler kullanılabilir;

- Klorlu veya bromlu bir monomer
- Klorlu veya bromlu bir glikol
- Klorlu veya bromlu bir asit (doymuş, doymamış veya karışımı)
- Diğer alev geciktirici monomerler.

Reçine/cam elyaf oranı yanıcılığı etkileyen bir faktördür. Cam oranının fazla olması yanıcılığı azaltır.

#### 4.3.1.5.Stiren Buharlaşması Az Olan Reçineler

Çalışanın sağlığı açısından stiren buharı belirli sınırdan kalmalıdır. Bu sınır genellikle  $420 \text{ mg/m}^3$  mertebesinde-dir. Böyle bir reçinenin sağlanması üç yoldan mümkündür;

- Daha az uçucu monomerler kullanmak
- Polyester içindeki stiren oranını azaltmak
- Film oluşturan veya polyesterle bağdaşmayan diğer katkıların kullanılması.

Polyester içerisindeki stiren oranının % 42'den %35'e düşürülmesi sonucu buharlaşma azalmıştır.

Her şeyden önce uygulamalarda havalandırma ihmal edilmemelidir.

#### 4.3.1.6.Düşük Çekmeli Reçineler

Normal olarak bünyesinde % 35 stiren içeren doymamış polyester reçinede % 8'e varan bir çekme görülmektedir. Bu da istenmeyen yüzey bozukluklarını meydana getirir. Düşük çekme için; Polivinil asetat homopolimer ve kopolimerleri, polikaprolaktam selüloz aseten bütirat ve akrilik polimerler, ilave edilmektedir.

Bu reçineler ancak sıcak pres çalışmalarını için uygundur.

#### 4.3.1.7.Özel Amaçlı Reçineler

Özel prosesler için geliştirilmiş reçinelerdir.

##### 4.3.1.7.1.Esnek Reçineler

Sertleşme süresi tamamlandıktan sonra dahi yumuşak, lastik gibi olan reçinelerdir. Başlıca kullanım alanı; esnekliği ve darbe dayanımını arttırmak üzere diğer elyaf tipi reçinelere ve döküm tipi reçinelere katılmasıdır.

##### 4.3.1.7.2.Hazır Kalıplama Bileşimleri İçin Reçineler

Çok miktarda dolgu kabul edilebilmesi, bu dolgu miktarına rağmen cam elyafını ıslatabilmesi, katalist ile birlikte uzun süre reaksiyona girmeden kalabilmesi, yüksek ısıda çabuk sertleşebilmesi önemli özellikleridir. Bunlarda düşük çekme sağlayan katkı maddeleri bulunur.

#### 4.3.1.7.3. Işıklıla Sertleşen Reçineler

Doymamış polyester içerisine özel bir katalizör katılarak yalnızca ışık altında sertleşmesi sağlanabilmektedir. Bu tür reçinelerin avantajları;

- Kullanıcı tarafından ayrıca katalizör ilave edilmesi gerekmediğinden, karıştırma ve ölçme hataları olmaz
- Reçine fırça üzerinde donmaz, temizlik kolay olur
- Özellikle kuvvetli ışık kaynağına tutulmadıkça sertleşme olmayacağından istenilen yerlere fazladan reçine uygulama imkanı verir.

#### 4.3.1.7.4. Diğer Özel Reçineler

İstenen bir özellik, çeşitli modifikasyonlarla polyesterlere verilebilir. Banyo küveti üretimi için, akrallık levhalara yapışma sağlayan polyesterler, sert PVC'ye yapışma sağlayan polyezterler, UV stabilizörlü polyesterler bu tür reçinelere örnek verilebilir.

#### 4.3.1.8. Döküm Reçineleri

Düğme imalatında büyük ölçüde kullanılmaktadır. Suni mermerlerin yapımında da döküm tipi polyester reçine kullanılmaktadır. Burada düşük viskoziteli ve hava kabarcığı bırakmayan türden olması gerekir.

#### 4.3.1.9. Köpük Polyester Reçineler

Diğer köpük maddelerin özelliklerine sahip olmakla birlikte üretimi zordur. Köpük polyester üretim prosesinde, reçine sistemi içerisinde özel hızlandırıcı ve organik karbonik asit türevidir katılarak karbondioksit çıkışı sağlanır. Katalizör olarak sertleşme reaksiyonları ayrı ayrı yürür ve jelleşmeden önce 3 mm yüksekliğe kadar kontrol edilebilir. Köpürme süresi 30 sn. ile 15 dk. arasında kontrol altında tutulabilir.

Açık hücre yapısı sayesinde su buharı geçirgenliği vardır. Dolgu ve cam takviyesi kabul eder. Hafif sandwich panel üretiminde, ısı ve ses izolasyonunda kullanılabilir. Mekanik özellikleri; yoğunluğuna ve cam takviyesi oranına bağlı olarak değişmektedir.

Polyesterlerin yüksek ısıda mukavemeti diğer matriks reçineler kadar değildir. Genelde polyester reçineler orta çökme kompozit özelliklerine sahip olup kimyasal ve hidrolik direnç olarak diğer matriks malzemelerden zayıftır. İşlem süresince matriks çekme payının yüksek olması bazı uygulamalar için zararlıdır. Polyester reçineler mekanik özellikleri uygun olduğundan uygulamalarda tercih edilmelidir.

#### 4.3.2.Epoksi Reçineler

Epoksi reçineler dengeli yapıya sahip olmaları dolayısıyla tercih edilmektedir. Epoksi reçineler ticari faydalı yapısal malzemeler olup kötü sıvı ve gevrek katılardır. Bunlara takviye yapılarak veya reaksiyon ile iyileştirme uygulanır. Polyesterler gibi termoset reçinelerdir.

Epoksi reçine sistemleri düşük su emme, düşük çekme payı, ve mükemmel korozyon direnci özelliklerine sahiptir.

Diğer yüzeyler ile mükemmel yapışması laminalar arası kayma mukavemetini artırmaktadır. Mekanik ve elektriksel özellikleri iyi olup boyutsal denge ve ısı ızalasyonu özelliklerine sahiptir. Aşınma direnci ve çevre/nem direnci iyidir.

Geniş bir sıcaklık bölgesinde uygun özelliklerde çalışabilmektedir. Isıl özellikleri mükemmeldir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için iyidir.

#### 4.3.3.Bismaleimide (BMI)

Piyasadaki ticari BMI reçineler sınırlıdır. Bu reçineler epoksilere benzer özelliklere sahiptirler, fakat farklı fonksiyonel son gurupları kapsamaktadır. Genel olarak kullanılan BMI reçine metil dianilineli bismaleimide'dir.

BMI'ler matriks reçineler için avantajlı üstünlüklere sahiptir.

#### 4.3.4.Phenolik

Phenolik reçineler çok çeşitli olarak ticari piyasada bulunmaktadır. İki temel tipi; tek kat ve iki kat novolaç'tır. Doldurma şekillerde elle işleme karakteristiklerinden dolayı Resole Phenolik genellikle kullanılmaktadır. Bazı kompozit uygulamalar için sınırlı olarak, kısa süreli üreticiler tarafından kullanılmaktadır.

Phenolik reçineler yüksek ısıl ve kimyasal direnci, iyi elektriksel yalıtkanlığa, iyi boyutsal ve ısıl şartlara, yüzey sertliği özelliklerine sahiptir.

Reaksiyonda zehirlenme ve duman çıkışı düşüktür.

#### 4.3.5.Polyemid

Kompozit matrikslerde kullanımı için mevcut polyemidler sınırlı sayıdadır. Piyasada kullanılan polyemid reçineler iki tiptir; PIR-15 ve PMDA/ODA polymerler. Bu malzemeler yüksek ısı-oksitlenme şartlarına sahiptirler. Polyemidler 110 °C-190 °C sıcaklıklarında sıcaklık performansı gerekli olan kompozit uygulamalarında kullanılabilirler. Polyemidlerin kullanımı sınırlıdır. Çünkü işlem süresince istenmeyen derecede toz vermektedir. Bu tozlar büyük ve kalın kompozit bölümlü uygulamalar için sertlik arzeden işlemlerde problemidir.

Termo-oksidadasyon şartlarında iyi denge, yüksek ısı geçişi özelliklerine sahiptir.

#### 4.4.Üretim Teknikleri

Takviyeli plastiklerin imalatı için çok işlem veya fabrikasyon teknikleri vardır. Burada bahsedeceğimiz cam elyaf takviyeli plastiklerin imalatı için kullanılan metodlardır.

##### 4.4.1.El Yatırması

El yatırması en basit ve eski cam elyaf takviyeli plastik imalat metodudur. (Şekil 10)işlem reçine ile keçe veya dokuma şeklindeki cam elyafının kalıbın içine veya üzerine konularak aradaki havayı fırça veya rulo ile gidermekten ibarettir. Reçine ve cam elyafı istenen kalınlık sağlanana kadar ilave edilir. Malzeme oda sıcaklığında

sertleşir. sertleşmeyi hızlandırmak için ısı tatbik edilebilir.

Eğer yüzeyin düzgün ve renkli olmasını istiyorsak el yatırmasına başlamadan bir jelkot tabaka sürülür. Kalıpla temas etmeyen yüzeyler parlak değildir. El yatırması metoduyla çelik borular cam takviyeli plastik ile kaplanabilir.

#### 4.4.2.Döküm

Kalın cidarlı, karmaşık şekilli ve ağırlığı 2 kg'ı geçmeyen parçalar cam elyafı ile reçinenin kalıp içerisinde sertleşmesiyle elde edilir. Kırpılmış kısa cam elyafları ile reçine karıştırılmış olarak dökülür. (Şekil 11).

#### 4.4.3.Püskürtme Yoluyla Kalıplama

Geniş yüzeylerde seri üretim imkanı sağlayanbu yöntemde iki ayrı kaptaki reçine-hızlandırıcı ve reçine-katalizör karışımları, fitil haldeki cam elyafınında beslendiği basınçlı hava ile çalışan bir püskürtme tabancasına gelir. Püskürtme tabancasında fitil istenilen uzunlukta kırılıp reçine bileşenleri ile karıştırılır ve kalıba ya da kaplanacak yüzeylere püskürtülür. (Şekil 12).

Bu metod ile üretim hızı yüksek ve kolay olduğu için beton ve duvar gibi geniş yüzeylerin kaplanması ve çok sayıda üretilen geniş cam elyaf takviyeli parçaların imali için çok uygundur.

#### 4.4.4.Vakum İle Şekillendirme

Vakum ile şekillendirmede keçe yada dokuma şeklindeki

takviye malzemesine reçine emdirilip dişi kalıba yerleştirilir ve üstü vakum torbası denilen esnek bir film diyafram ile örtülüdür. Daha sonra kalıp ile diyafram arasındaki reçine emdirilmiş takviye malzemesine vakum uygulanır. Gerekliyorsa diyaframın dış yüzeyine ayrıca ilave basınçta tatbik edilip ısı ya da katalizör yardımıyla malzeme sertleştirilir. (Şekil 13)

#### 4.4.5.Eş Kalıplama (Soğuk veya Sıcak Kalıp)

Eş kalıplama, soğuk veya sıcak kalıplamada, presleme ile her iki yüzeyi de düzgün ürünlerin seri üretimi için kullanılır.(Şekil 14) Eş kalıplamada keçe veya dokuma,reçine kalıba konulmadan hemen önce veya kalıp içerisinde biraraya getirilir. Önceden seçilen bir sıcaklıkta ve eş kalıpların basıncı altında cam takviyeli plastik sertleşir. Bu metod içerisinde metal parça gömülen, ölçüleri çok büyük olmayan, otomobil kaporta, parçaları gibi ürünlerin üretiminde kullanılır.

#### 4.4.6.Enjeksiyon Kalıplama

Takviye malzemesi önce kalıbın içerisine yerleştirilir ve reçine enjekte edilerek kalıp doldurulup sertleşmeye bırakılır. Elde edilen ürünün her iki yüzeyi de düzgündür.Üretim hızı el yatırmasından hızlı, soğuk presten yavaştır. Bu metod ile araba gövdesi, sandalya gibi parçalar imal edilir. (Şekil 15).

#### 4.4.7.Elyaf sarma

Hafif ve sağlam olması istenilen kimyevi madde tankları, borular, sıvı madde depoları gibi silindirik ve basit şekilli cisimler, elyaf sarma metodu ile kalıplanabilir. (Şekil16).

Kesiksiz fitil, kesiksiz elyaf veya dokuma şerit şeklindeki cam elyaf takviye malzemesi belli bir gerilim altında bir reçine banyosundan geçirilerek dönen kalıba sarılır.Reçine yedirilen elyafın belli bir koku içinde bütün kalıp boyunca sarılması sağlanarak, istenilen yerde gerekli mukavemet elde edilebilir.

Sarma işlemi tamamlandıktan bir müddet sonra, henüz tam sertleşmeden kalıp çıkarılır ve malzeme sertleşmeye bırakılır. Karmaşık biçimlerin kalıplanması durumunda şişebilen veya büzülebilen kalıplarda kullanılır.

#### 4.4.8.Savurma Döküm

Boru ve depo gibi silindirik şekillerin düzgün yüzeylerde elde edilmesinde kullanılan savurma döküm metodunda ise döner kalıbın içine cam keçe döşenir. Döşenmeden önce veya sonra keçeye reçine emdirilir, ayrıca kalıbın içerisine reçine ve kırpıntı cam elyafı püskürtülür. Merkez kaç kuvveti ile kalıba yapışan reçine cam elyaf karışımı sertleştikten sonra kalıptan düzgün dış yüzeyli kalıplanmış silindirik şekilli mamul alınır. (Şekil17).

#### 4.4.9.Levha Üretimi

Bir devamlı üretim yöntemi olan levha çekiminde cam

keçe bir reçine banyosundan geçirilerek veya reçine emdirilerek iki taraflı selofan ya da polietilen filmle kaplanır. Merdaneler arasından geçirilip fazla reçine ve hava alınır. Daha sonra ısınma bölgesinden geçirilerek sertleştirilir. Bu esnada levhaya ondüle şekli verilir. Bu metodla her iki yüzeyi düzgün levha elde edilir. (Şekil 18).

#### 4.4.10. Profil Çekme

Tek yönde mekanik sağlamlık gerektiren mamüllerin imalinde kullanılan profil çekme işlemi de levha çekimine benzer. Ancak ısınma bölgesinden sürekli çekilen şekle bir kalıp yardımıyla istenilen profil kesiti sertleşme sırasında verilir. (Şekil 19).

#### 4.4.11. Otoklav

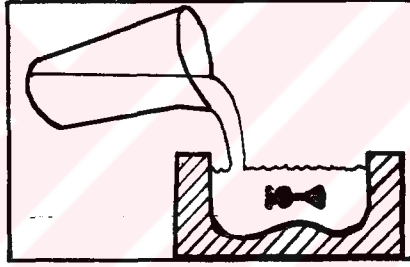
Normal el yatırması şeklinde kalıp içerisine yerleştirilen cam elyaf-reçine bileşimine, ısı ve basınç uygulayarak düzgün ve çabuk elde edilir.

Kalıp dışarıdan ısıtılır ve lastik torba şişirilerek hava basıncı ile sıkıştırma yapılır. (Şekil 20).

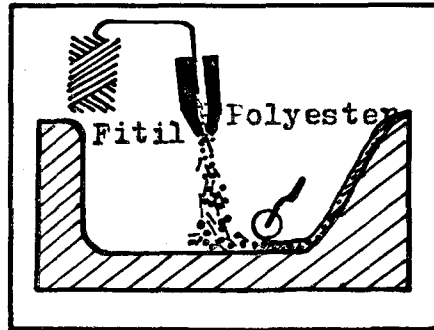
Burada cam elyafın reçineye oranı yükselir.



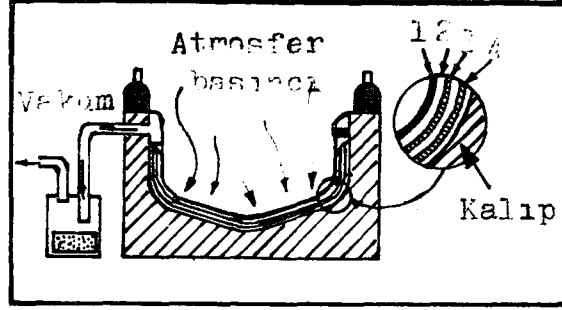
Şekil 10. El yatırması metodu.



Şekil 11. Döküm metodu.

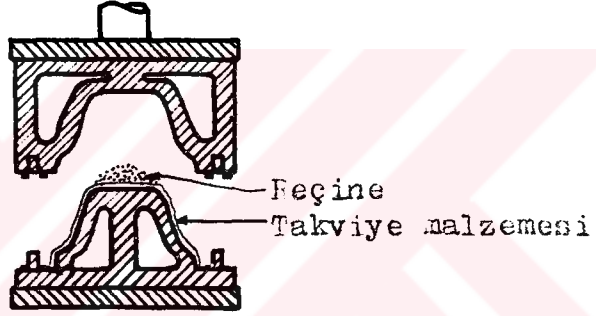


Şekil 12. Püskürtme metodu.

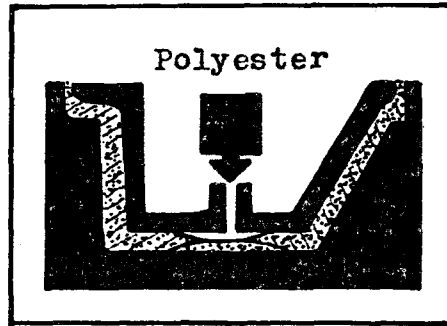


1. Eğilebilir torba
2. Hava boşluğu
3. Takviye malzemesi
4. Reçine

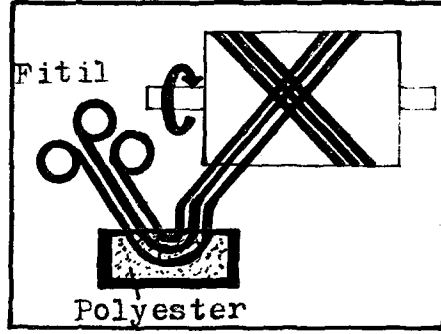
Şekil 13. Vakum ile şekillendirme metodu.



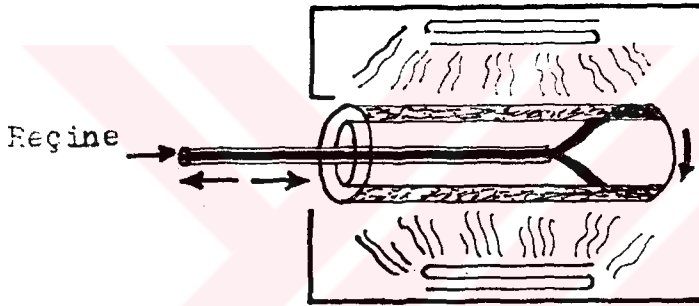
Şekil 14. Eş kalıplama metodu.



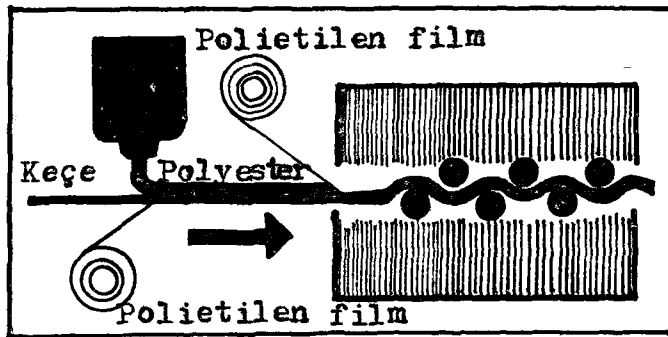
Şekil 15. Enjeksiyon kalıplama metodu.



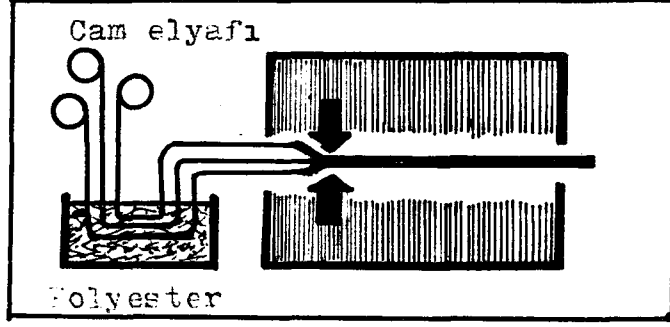
Şekil 16. Elyaf sarma metodu.



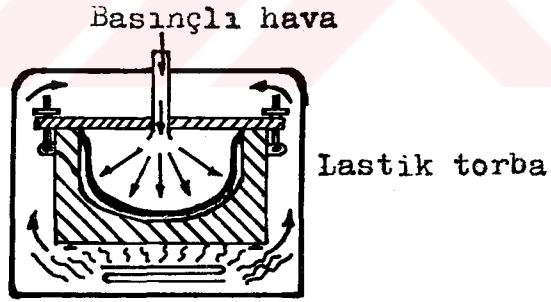
Şekil 17. Savurma döküm metodu.



Şekil 18. Levha üretimi.



Şekil 19. Profil çekme.



Şekil 20. Otoklav metodu.

## 5. CAM ELYAF KOMPOZİTLERDE MUKAVEMETİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

### 5.1. Elyafın Geometrisi

Kompozit malzemelerde elyaflar genellikle kuvvet yönüne göre paralel veya dik yönde veyahut rastgele dağılmış durumda bulunurlar.

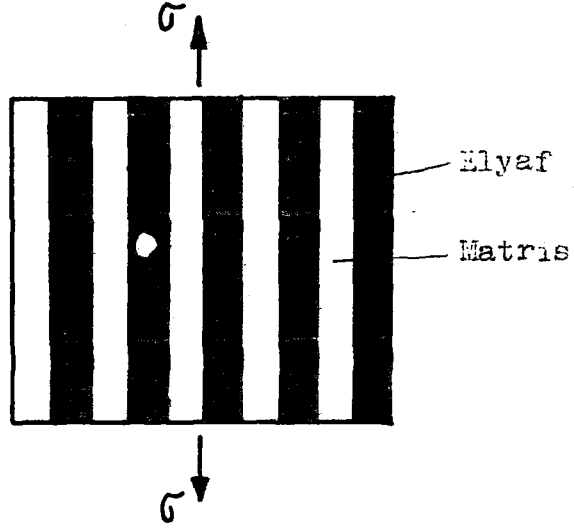
Elyafın kuvvete paralel olduğu (Şekil 21) durumda elyaf ile matris aynı miktarda şekil değiştirir ve buna eş şekil değiştirme hali denir. Bu özelliğe dayanarak kompozit malzemenin elastisite modülü kolayca hesaplanabilir. Matrisin elastisite modülü  $E_m$ , elyaf fazının elastisite modülü  $E_f$  ve hacimsel oranı  $V_f$  ise kompozitin kuvvete paralel doğrultudaki modülü,

$$E_k = E_f + (1 - V_f)E_m \quad \text{olur.}$$

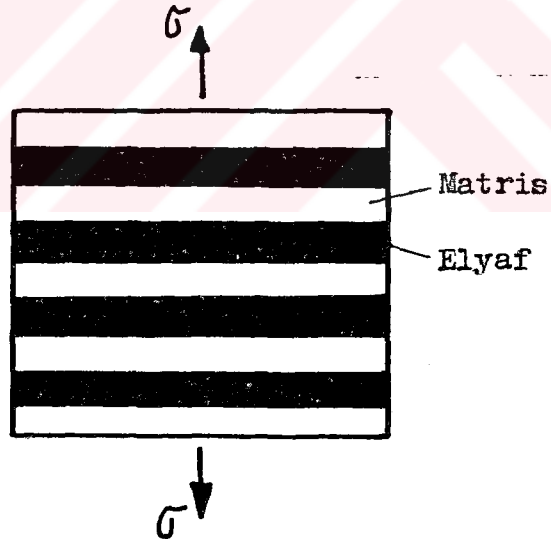
Elyafın kuvvet yönüne dik olduğu hallerde matris ile elyaf aynı yükü taşır (Şekil 22). Eş gerilme hali denen butür yükleme karşısında kompozitin elastisite modülü,

$$E_k = \frac{E_m \cdot E_f}{E_m \cdot V_f + (1 - V_f)E_f} \quad \text{olur.}$$

Rastgele dağılmış elyaflara sahip kompozitler izotrop sayılırlar, dolayısıyla özellikleri doğrultuya bağlı değildir. İzotrop kompozitlerin elastisite modülleri eş şekil değiştirme ile eş gerilme haldekinin arasında bir değer alır.



Şekil 21. Eş şekil değiştirme hali.



Şekil 22. Eş gerilme hali.

Kompozit malzemelerin çekme kuvveti elyafların kopması ile sona erer. En uygun kompozit yapısında elyafların kuvvet doğrultusuna paralel olanıdır.

$\sigma_f$  = Elyafların çekme mukavemeti

$\sigma'_m$  = Elyafların koptuğu şekil değiştirme için matristeki gerilme

$V_f$  = Elyafların hacımsal oranı

$$\sigma_k = \sigma_f \times V_f + (1 - V_f) \times \sigma'_m \quad \text{olur}$$

Kompozit malzemelerde elyaf geometrisi malzemenin mukavemetini önemli derecede etkilemektedir. Yukarıda temel geometriler incelenmiştir. Endüstride yaygın olarak  $0^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$  ve  $90^\circ$  geometrileri kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda kolaylık sağlamak için halı grafiği olarak adlandırılan tablolar yapılmıştır. Bunlardan birisi incelendiğinde elyaf geometrisinin mukavemete etkisi bariz şekilde görülmektedir. (Şekil 23)

Hali grafiği şekline bakıldığında  $0^\circ$  (kuvvet yönüne paralel) oranı arttıkça çekme kuvveti yaklaşık lineer olarak artmaktadır. Birkaç örnek incelendiğinde;

% 20  $\pm 45^\circ$  elyaf geometrisi

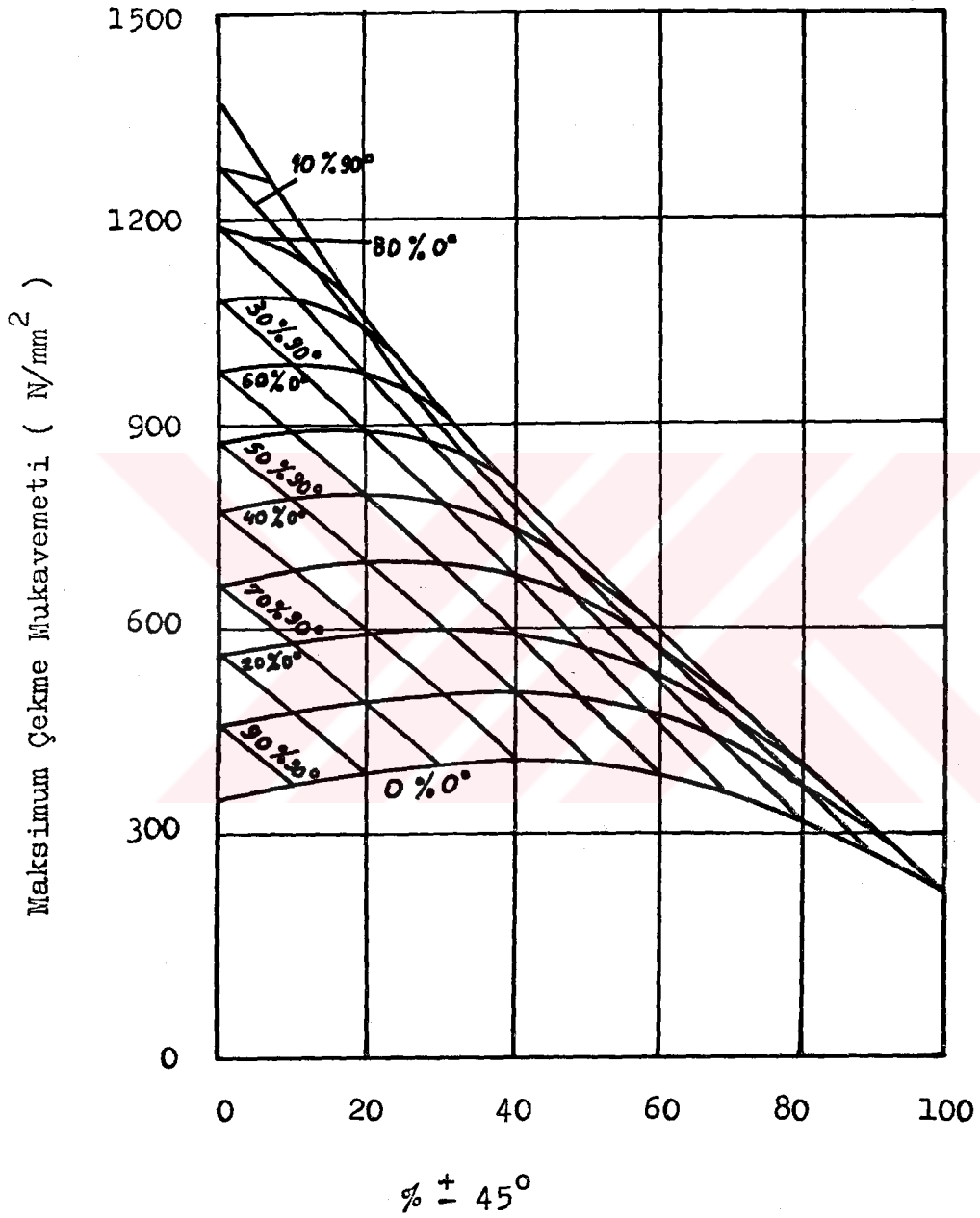
% 0  $0^\circ$  " "

% 80  $90^\circ$  " "

Bu dağılımdaki laminatın çekme mukavemetinin değerine halı grafiğinde bakıldığında  $400 \text{ N/mm}^2$  olarak görülmektedir.

% 20  $\pm 45^\circ$  elyaf geometrisi

% 50  $0^\circ$  " "



Şekil 23. Laminatların çekme mukavemetini gösteren halı grafiği.

% 30  $90^\circ$  elyaf geometrisi

dağılımındaki laminatın çekme mukavemetinin değerine halı grafiğinde bakıldığında  $900 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülmektedir.

İki örnek karşılaştırıldığında  $+45^\circ$  elyaf geometrisi değeri sabit kalmakta,  $90^\circ$  elyaf geometrisi ile  $0^\circ$  elyaf geometrisi arasındaki oran değişimi sonucu maksimum çekme mukavemeti değeri %125 artmaktadır.

Bu örnekler çoğaltılabilir. Halı grafikleri elyaf geometrisinin kompozit malzemenin mukavemetine etkisini görmede iyi bir kaynaktır.

## 5.2. Elyafın Türünün Mukavemete Etkisi

Elyaf haline dönüştürülebilen değişik cam kompozisyonları vardır, fakat ticari amaçlar açısından bunların çok azı kullanılır. Bunlar A, C, E, R ve J camlarıdır.

Bunlardan A-camı, şişe, pencere camı ve bazı özel pekiştiricilerin üretiminde kullanılır.

Uygulamada en çok kullanılan cam elyaf türleri E, S, C cam bileşimli elyaflardır.

Bunları, çekme mukavemeti ve elastisite modülüne göre karşılaştırırsak;

	Çekme mukavemeti $\text{N/mm}^2$	Elastisite modülü G Pa
E - camı elyafı	3445	81,3
S - camı elyafı	4585	88,9
C - camı elyafı	3310	69

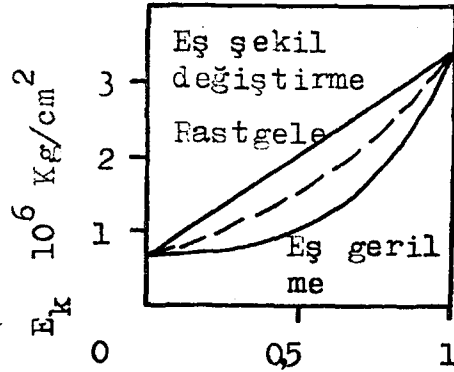
Tablodan da görüldüğü gibi,  $\text{E}$  camının mukavemet değerleri çok yüksektir. Bunlar uzay ve savunma sanayii uygulamalarında kullanılmaktadır.

Genel amaçlı kompozit malzeme uygulamalarında E-camı elyafı(mekanik özelliklerin iyi olması istendiği durumlarda) kullanılmaktadır.

### 5.3.Elyaf/Matris Oranının Mukavemete Etkisi

Elyafların hacımsal oranı  $V_f$  çok az ise elyaf az bir yük altında kopar ve yük matrise biner. Matrisin mukavemet değeri düşük olduğundan yük altında malzeme kopacaktır.

Şekil 24'deki grafik incelendiğinde elyaf/matris oranının mukavemete etkisi elyaf geometrisine göre değişmektedir. Eş şekil değiştirme geometrisi olan elyafın kuvvete paralel olduğu konumda değişim lineer olarak artmaktadır. Rastgele dağılımda ve eş gerilme (kuvvet uygulama yönü elyaf doğrultusuna dik) halinde ise değişim eğriseldir. Her iki durumda da elyaf oranı arttıkça kompozit malzeme mukavemeti hızlanarak artmaktadır.



Şekil 24. Elastisite modülü - bileşim oranı

## 6.DENEY NÜMUNESİ HAZIRLANMASI

Cam elyaf takviyeli polyester reçine kompozit malzemesinde, cam elyaf doğrultusunun uygulanan kuvvete paralel konumunda çekme mukavemetinin tayini için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney çalışmalarından önce uygulamayı yakından tanımak için Türkiye Vagon Sanayi A.Ş. Kompozit Malzeme Ünitesinde pratik çalışmalar yapılmıştır. Kompozit malzeme hazırlanırken pratikte oluşabilecek aksaklıklar dikkate alınarak ideal bir nümune hazırlanması amaç edinilmiştir. Takviye malzemesi ile matris malzemesi birleştirilmeden önce kullanılan katkı maddelerinin oranları çevre şartlarına göre tesbit edilmiştir.

Kompozit malzemelerin nümune geometrileri klasik malzemelerinki gibi değildir. Bunun için ASTM normları esas alınarak nümune hazırlanmıştır.

Bu standart; ASTM D 3039'dur. (elyaf-reçine kompozitlerinin çekme mukavemeti özellikleri için standart test metodu.)

Elyaf olarak Çayirova Cam Elyaf Sanayinin yarı bükülmüş sürekli elyafı kullanılmıştır.

Reçine malzemesi olarak Çayirova Cam Elyaf Sanayinin Neoxsil CE BV 8 orta reaktiviteli genel amaçlı ortaftalık polysteri kullanılmıştır.

Deney nümunesi her iki tarafı açık, genişlik 12,7 mm'ye ayarlanmış kalıpta hazırlanmıştır. Elyaf geometrisinin düzgün sıfır derece( $0^{\circ}$ ) olması için elyaf kalıp etrafına kademeli

olarak sarılması suretiyle reçine emdirilmiştir. Sertleşen nümune standart boyda kesilmiştir. Destekler ise uzun malzemeler hazırlanması suretiyle istenilen boyda kesilmiştir.

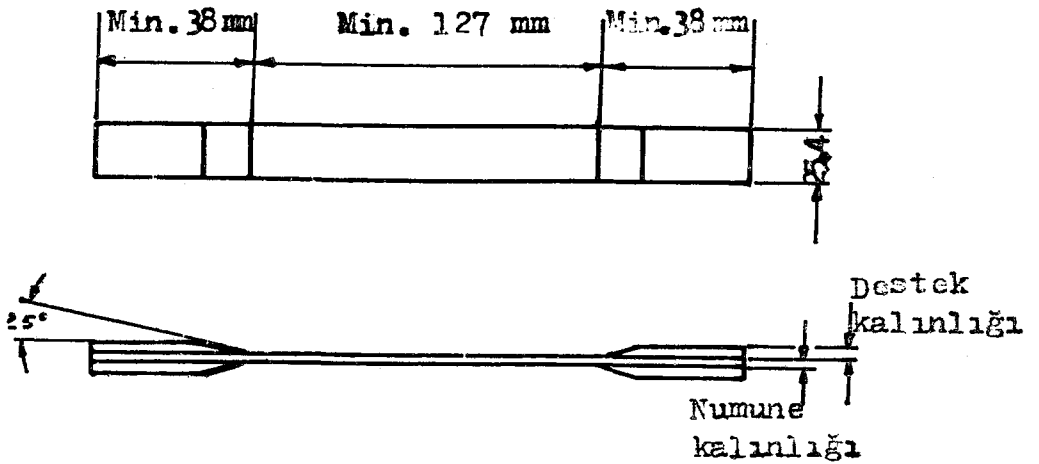
5° açısı ince zımpara taşıyla elde edilmiştir. Hazırlanan parçaların birleştirilecek yüzeyleri zımparalar ile temizlenmiştir. Yapıştırma işleminde Çekorapid yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırma işleminden sonra nümune deneye hazır hale gelmiştir.

Tavsiye edilen numune genişliği ve pey uzunluğu

Elyaf yön açıları	Genişlik	Pey uzunluğu
	mm	mm
0° açılı	12.7	127
90° açılı	25.4	38.1
0°/90° açılı fabrik	25.4	127

Cam elyaf takviye malzemeleri için kalınlıklar

Sürekli elyaf	Sürekli olmayan elyaf
0.762-3.275(mm)	1.524-6.55(mm)



Şekil 25. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemeti numunesi.

## 7. DENEY VE DENEY SONUÇLARI

Çekme deneyi İ.T.Ü.Sakarya Mühendislik Fakültesi Laboratuvarındaki 600 kN kapasiteli çekme cihazında normal çevre şartlarında yapılmıştır.

Cam elyaf polyester reçine kompozit malzemesi, 0° elyaf takviyesi çekme mukavemeti deneyi için; %16, %30, %35, %40, %45, %50, %56, %60, 3 x %65, %68 cam elyaf oranı içeren 12 adet çekme numunesi kullanılmıştır. Bu numuneler çekme deneyine tabi tutulduğunda aşağıdaki değerler elde edilmiştir:

$$\sigma = \frac{P}{b \times d} \quad (\text{N/mm}^2)$$

b=Genişlik

d=Kalınlık

P=Max.çekme kuvveti

$\sigma$ =Çekme mukavemeti

1. Numune (%16 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_1 = \frac{5300}{12,20 \times 2,60} = 167 \quad (\text{N/mm}^2)$$

b=12,20 mm

d=2,60 mm

P<sub>1</sub>=5300 N

2. Numune (%30 elyaf içeren)

$$\sigma_2 = \frac{7850}{12,90 \times 1,90} = 320,3 \quad (\text{N/mm}^2)$$

b=12,90 mm

d=1,90 mm

P<sub>2</sub>=7859 N

3. Numune (%35 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_3 = \frac{6100}{13,04 \times 2,04} = 230 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$b=13,04 \text{ mm}$$

$$d=2,04 \text{ mm}$$

$$P_3=6100 \text{ N}$$

4. Numune (%40 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_4 = \frac{12600}{12,84 \times 3,40} = 289 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$b=12,84 \text{ mm}$$

$$d=3,40 \text{ mm}$$

$$P_4=12600 \text{ N}$$

5. Numune (%45 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_5 = \frac{13150}{12,58 \times 2,48} = 421,5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$b=12,58 \text{ mm}$$

$$d=2,48 \text{ mm}$$

$$P_5=13150 \text{ N}$$

6. Numune (%50 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_6 = \frac{12500}{12,24 \times 2,13} = 480 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$b=12,24 \text{ mm}$$

$$d=2,13 \text{ mm}$$

$$P_6=12500 \text{ N}$$

7. Numune (%56 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_7 = \frac{10650}{12,45 \times 1,95} = 439 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$b=12,45 \text{ mm}$$

$$d=1,95 \text{ mm}$$

$$P_7=10650 \text{ N}$$

8. Numune (%60 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_8 = \frac{20200}{12,24 \times 2,80} = 591,3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$b=12,24 \text{ mm}$$

$$d=2,80 \text{ mm}$$

$$P_8=20200 \text{ N}$$

9. Numune (%65 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_9 = \frac{14300}{12,90 \times 1,95} = 568,5 (\text{N/mm}^2)$$

b=12,90 mm  
d=1,95 mm  
P<sub>9</sub>=14300 N

10. Numune (%65 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_{10} = \frac{7600}{12,76 \times 1,0} = 595,6 (\text{N/mm}^2)$$

b=12,76 mm  
d=1,0 mm  
P<sub>10</sub>=7600 N

11. Numune (%65 Cam elyaf içeren)

$$\sigma_{11} = \frac{7600}{12,45 \times 1,10} = 555 (\text{N/mm}^2)$$

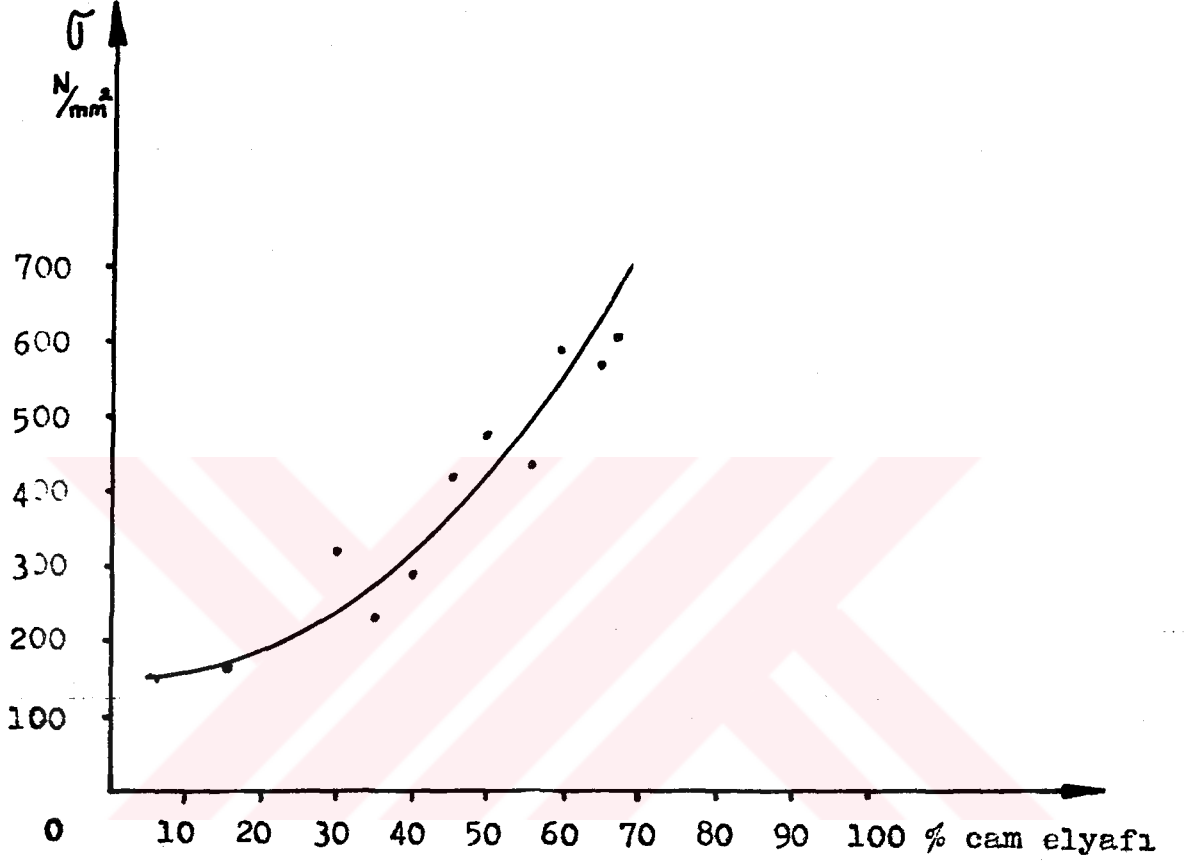
b=12,45 mm  
d=1,10 mm  
P<sub>11</sub>=7600 N

12. Numune (%68 Cam elyaf içeren)

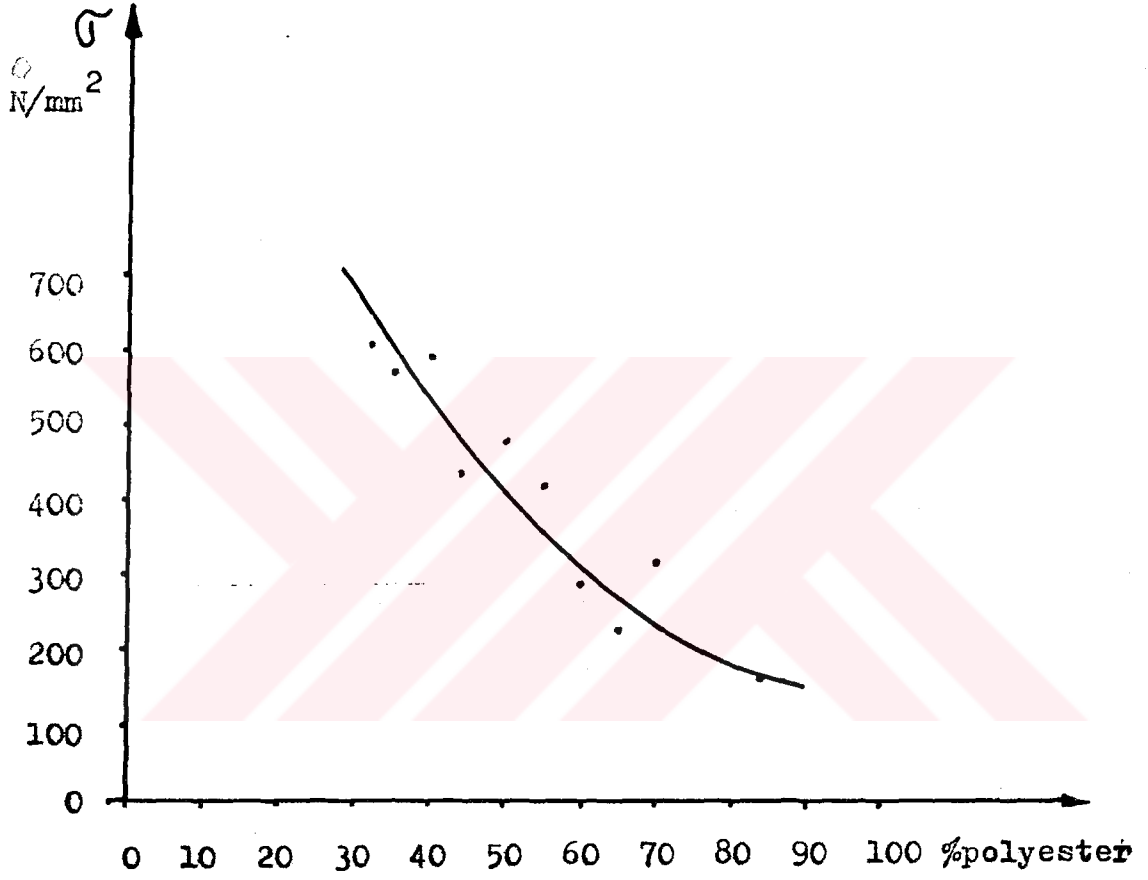
$$\sigma_{12} = \frac{10200}{12,45 \times 1,35} = 607 (\text{N/mm}^2)$$

b=12,45 mm  
d=1,35 mm  
P<sub>12</sub>=10200 N

Bu sonuçlardan aşağıdaki Maximum çekme mukavemeti-  
%Cam elyaf oranı grafiği elde edilmiştir.



Şekil 26. Cam elyaf - polyester reçine kompozit malzemesinde max. çekme mukavemeti - % cam elyaf grafiği.



Şekil 27. Cam elyaf - polyester reçine kompozit malzemesinde max. çekme mukavemeti - % polyester grafiği.

## 8.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kompozit malzemelerin endüstride başlıca kullanım amacı Mukavemet/Ağırlık oranlarınının büyük olmasıdır. Bu esasla cam elyaf takviyeli-polyester reçine kompozit malzemesinin takviye doğrultusuna paralel çekme mukavemeti deneysel olarak araştırılmıştır.

Kompozit malzemeyi oluşturan cam elyafı ile polyester reçine malzemelerinin yoğunlukları farklı olduğu için bileşimdeki oranlarına bağlı olarak kompozit malzemenin yoğunluğu değişmektedir.

Matris malzemesi, polyester reçinedir(Neoxil CE BV 8)

$$\rho_m = 1,110 \text{ gr/cm}^3$$

Takviye malzemesi, cam elyaf(cam elyaf sanayii)

(E-camı)

$$\rho_f = 2,62 \text{ gr/cm}^3$$

1.Numune(%16 cam elyafı)

$$\rho_1 = \rho_m \times V_m + \rho_f \times V_f = 1,110 \times 0,84 + 2,62 \times 0,16$$

$$\rho_1 = 1,3516 \text{ gr/cm}^3$$

2.Numune (%30 cam elyafı)  $\rho_2 = 1,563 \text{ gr/cm}^3$

3.Numune (%35 cam elyafı)  $\rho_3 = 1,6385 \text{ gr/cm}^3$

4.Numune (%40 cam elyafı)  $\rho_4 = 1,714 \text{ gr/cm}^3$

5. Numune (%45 cam elyafı)  $\rho_5 = 1,7895 \text{ gr/cm}^3$   
 6. Numune (%50 cam elyafı)  $\rho_6 = 1,865 \text{ gr/cm}^3$   
 7. Numune (%56 cam elyafı)  $\rho_7 = 1,9556 \text{ gr/cm}^3$   
 8. Numune (%60 cam elyafı)  $\rho_8 = 2,016 \text{ gr/cm}^3$   
 9. Numune (%65 cam elyafı)  $\rho_9 = 2,0915 \text{ gr/cm}^3$   
 10. Numune (%68 cam elyafı)  $\rho_{10} = 2,1368 \text{ gr/cm}^3$

Takviye malzemesinin kompozit malzemedeki oranının artması cam elyaf oranı-çekme mukavemeti grafiğinde görüldüğü gibi kompozit malzemenin çekme mukavemetini arttırmaktadır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde cam elyaf oranı %40'ın üzerindeki kompozit malzemelerin çekme mukavemeti değerleri, semantasyon ve yapı çeliği malzemelerinin çekme mukavemeti değerleriyle aynı olmaktadır. Demir esaslı malzemelerin yaklaşık yoğunluğu  $7,8 \text{ gr/cm}^3$  tür. Kompozit malzemelerin bileşim oranlarına göre yoğunlukları yukarıda verilmiştir. Çelik malzeme ile karşılaştırıldığında

$$(1) \text{ } \phi 1010 \text{ semantasyon çeliği } \sigma = 370 \text{ N/mm}^2, \rho = 7,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$\frac{\sigma}{\rho} = 47,436$$

%45 cam elyafı kompozit malzeme

$$\sigma = 370 \text{ N/mm}^2, \rho = 1,7895 \text{ gr/cm}^3$$

$$\frac{\sigma}{\rho} = 206,762$$

Bu iki malzemenin mukavemet/ağırlık oranları karşılaştırıldığında cam elyafı kompozit malzeme  $\left(\frac{206,762}{47,463} = 4,358\right)$  4,358 kat daha hafiftir.

$$(2) \text{ } \phi 1020 \text{ makina yapı çeliği } \sigma = 500 \text{ N/mm}^2, \rho = 7,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$\frac{\sigma}{\rho} = \frac{500}{7,8} = 64,1$$

%57 cam elyafli kompozit malzeme

$$\sigma = 500 \text{ N/mm}^2, \rho = 1,9707 \text{ gr/cm}^3$$

$$\frac{\sigma}{\rho_0} = \frac{500}{1,9707} = 253,72$$

$$\frac{253,72}{64,1} = 3,958$$

Bu sonuçtan da görüldüğü gibi %57 cam elyafli kompozit malzemenin  $\sigma$  1020 makina yapı çeliğinden mukavemet/ağırlık oranı 3,958 kat daha büyüktür.

Bu örnekler çoğaltılabilir. Fakat iki örnekten de görüldüğü gibi kompozit malzemenin mukavemet/ağırlık oranı çok avantajlıdır.

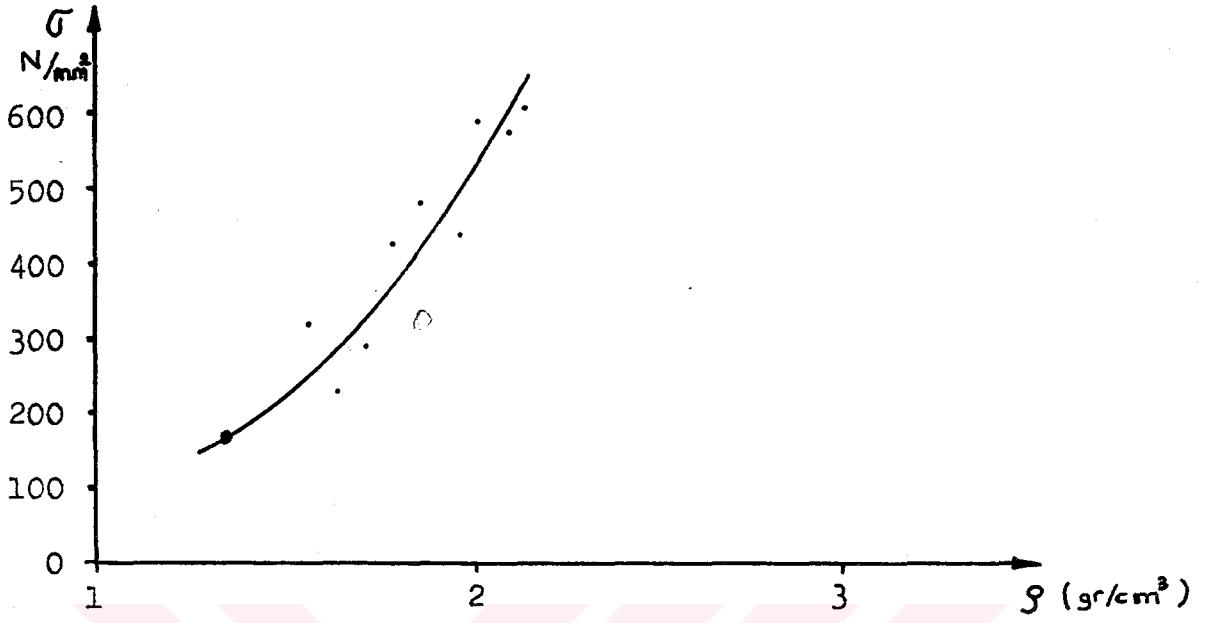
Ek-1 deki grafikte yoğunluğa bağlı olarak çekme mukavemeti değişimi görülmektedir. Çekme mukavemeti değeri yoğunluktan daha hızlı olarak artmaktadır. Bu Ek-2 deki mukavemet/ağırlık oranı-%cam elyafı grafiğinde açıkça görülmektedir. Bu grafik lineerleştirildiğinde mukavemet/ağırlık oranınının cam elyaf oranına bağlı değişimi formülize edilebilmektedir.

$$\rho_k = \text{Kompozit malzeme yoğunluğu } \text{gr/cm}^3$$

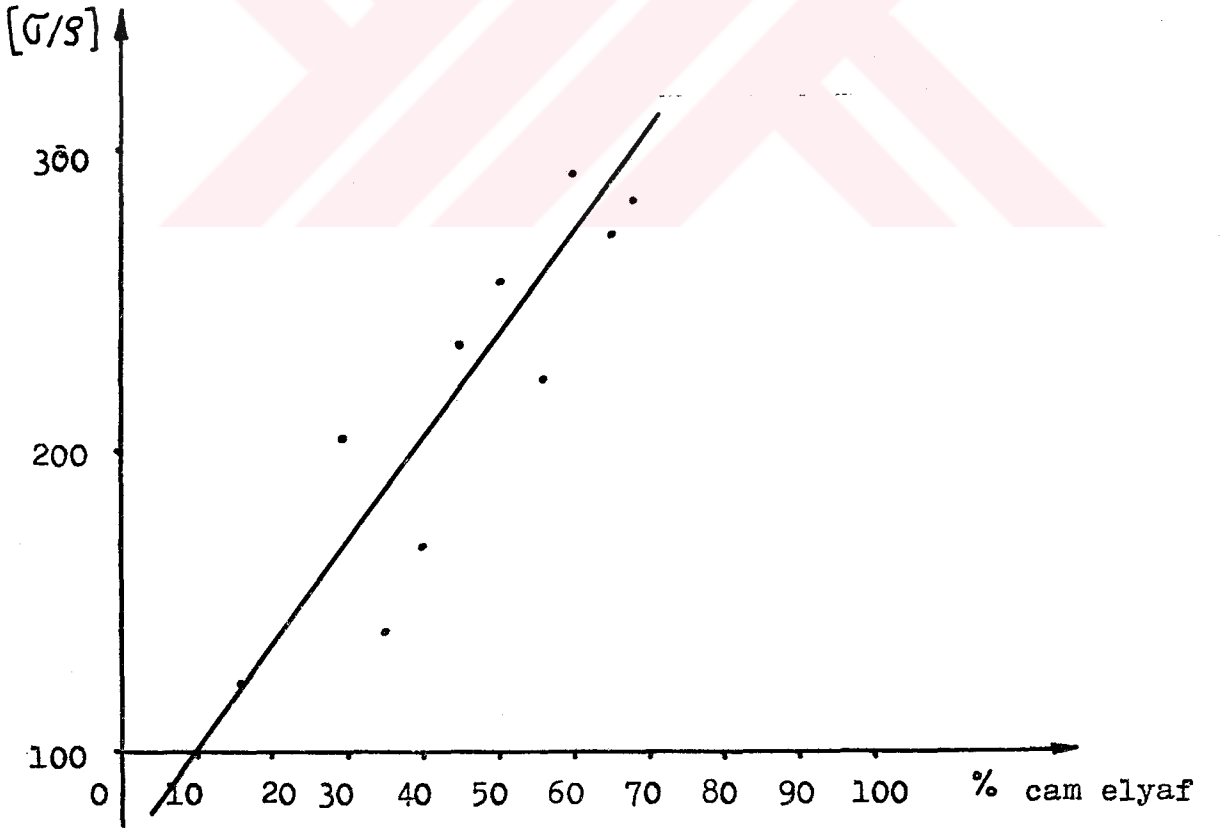
$$\sigma = \text{Çekme mukavemeti } \text{N/mm}^2$$

$$V_f = \text{Cam elyaf oranı } \times 100$$

$$\frac{\sigma}{\rho_k} = 65 + 3,5 \times V_f$$



Ek 1- Çekme mukavemeti-yoğunluk grafiği



Ek 2- Mukavemet/yoğunluk oranı-%cam elyaf grafiği

## 9. SONUÇ

Endüstriyel malzemelerden, korozyon ve kimyasal dirençlerinin yüksek olması ve de mukavemet/ağırlık oranlarının büyük olması istenilen ideal şartlardır. Konstrüksiyon malzemelerini metal esaslı malzemeler oluşturmaktadır. Bu malzemelerin büyük bir bölümünü çelik ve alüminyum malzemeler teşkil etmektedir. Çeliğin korozyon ve kimyasal direnci zayıftır. Yüksek mukavemeti tercih sebebidir. Fakat yoğunluğun yüksek oluşu mukavemet/ağırlık oranını azaltmakta ve yüksek mukavemetin gerekli olduğu ve de ağırlığın önem arzettiği uygulamalarda avantaj teşkil etmektedir. Alüminyum malzemelerin ise korozyon dirençleri yüksektir, fakat mukavemet değerleri düşüktür. Alüminyumun düşük yoğunluğu, mukavemetinin az oluşu sebebiyle avantaj teşkil etmemektedir.

Bahsedilen metal malzemelerden farklı olarak; yoğunluğu düşük, elektrik yalıtımı, ses izalasyonu, kimyasal ve korozyon direnci yüksek olan cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerin kullanımı gelişerek artmaktadır. Kompozitlerin iyi özellikleri yanında konstrüktif özelliklerinden çekme mukavemeti deneysel olarak araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonucu çekme mukavemeti değerleri makina yapı çeliklerine eş değer olarak elde edilmiştir.

Elde edilen değerler ile mukavemet/ağırlık oranı mukayese edildiğinde metal malzemelerden çok büyük değerler elde edilmiştir.

Bu alışma sonucunda cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin yüksek mukavemet ve düşük ağırlık gerektiren uygulamalar için avantajlı olduğu görülmektedir. Korozyon ve kimyasal dirençlerinin yüksek oluşu ulaşım ve uzay endüstrisinde kullanımı sağlamaktadır.



## REFERANSLAR

- 1- Onaran, K., "Malzeme Bilimi", İ.T.Ü., İstanbul, 1985
- 2- Günay, D., Karadeniz, E., "Kompozit Laminat Tasarımı", Ulaşımında Raylı Taşıt Sempozyumu, Adapazarı, 1989
- 3- Gaylord, M.W., "Reinforced Plastics Theory and Practice", Second Edition, Koppers Company, Inc., 1974
- 4- Standart Test Method for Tensile Properties of Fiber-Resin Composites, D 3039-76, Annual Book of ASTM Standards
- 5- Elyafli Kompozit Malzemeler Gurubu, "Cam Elyaf Takviyeli Plastik Malzemeler", Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 1984
- 6- Jones, R.M., "Mechanics of Composite Materials", Mc.Grow-Hill Kogakusha Ltd., 1975
- 7- V.Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, "Plastik", T.C.Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, 1985
- 8- Watson, James C., Raghupathi, N., "Glas Fibers", ASM Handbook, Vol.1., 1987
- 9- ASM Committee on Forms and Properties of Composite Materials", Thermoplastic Matrix Composites", ASM Handbook, Vol. 1., 1987
- 10-Hopper, Lawrence C., Sauer, Gerald L., "Properties Tests for Matrix Resins", ASM Hanbook, Vol.1., 1987

- 11-Adsit, N.R., "Mechanical Properties and Environmental Exposure Tests", ASM Handbook Vol. 1, 1987
- 12-Principe, Frank S., Monib, Monib M., Linsenmann, Donald R., "Design Requirements", ASM Handbook Vol. 1., 1987
- 13-Tohlen, Mark E., "Generation of Design Allowables", ASM Handbook, Vol. 1., 1987
- 14-Miller, David M., "Glass Fibers", ASM Handbook, Vol. 1., 1987
- 15-Sayman, O., Aksoy, S., "Kompozit Malzemeler", E.Ü. Makina Fakültesi, Bornova-İzmir, 1982
- 16-Yerebakan, M., "Raylı Araçlarda Kompozit Malzemeler", Metro, Sayı 3, Eylül 1989.