

BİDGE Yayınları

Kompozit Teknolojisinde Yenilikler, Mekanik Testler ve Doğal
Tekstil Lif Takviyeleri

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem SARPKAYA

ISBN: 978-625-372-358-3

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için
yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni
olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



Content

Kompozit Malzemelerin Yapısı ve Üretim Yöntemleri.....	4
Çiğdem SARPKAYA	4
Kompozit Malzemelere Uygulanan Mikroyapısal ve Mekanik Testler.....	25
Çiğdem SARPKAYA	25
Kompozitlerde Kullanılan Doğal ve Kesikli Tekstil Lif Takviyeleri	46
Emel Ceyhun SABİR	46

BÖLÜM I

Kompozit Malzemelerin Yapısı ve Üretim Yöntemleri

Çiğdem SARPKAYA¹

Giriş

Günümüzde, insanların enerji verimliliği yüksek, hafif, biyolojik olarak parçalanabilir, yenilenebilir özelliklere sahip malzemelere talepleri artmıştır. Bu doğrultuda, endüstriyel olarak daha çevreci ve çevre dostu malzemelerin kullanımına odaklanılmaktadır. Son on yılda doğal lifler, polimer esaslı kompozitlerde takviye elemanı olarak son derece cazip bulunmuş ve birçok endüstriyel sektörde ticari ürünlerin üretiminde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sektörler, havacılık ve uzay endüstrisi (Uçak kanatları, gövdeleri ve kuyrukları, helikopter pervaneleri, roket gövdeleri ve uzay araçları iniş takımları ve iç kabin elemanları vb.), otomotiv endüstrisi (Araç kaportaları, tamponlar, şasi parçaları, elektrikli araç batarya kutuları, iç tasarım elemanları (koltuklar, paneller) fren diskleri ve süspansiyon sistemleri vb.), raylı sistem yapıları (demiryolu aksı, ön kabin, kapılar, zemin panelleri, gövde yapımı vb.), inşaat ve altyapı sektörtü (Köprüler, kolonlar ve kirişler, prefabrike yapı elemanları,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Karabük Üniversitesi, Safranbolu Şefik Yılmaz Dizdar MYO, Moda Tasarım Bölümü, Karabük/Türkiye, Orcid: 0000-0001-7710-1035, csarpkaya@karabuk.edu.tr

deniz yapıları (iskeleler, platformlar), su ve kanalizasyon boruları vb.), enerji Sektörü (Rüzgar türbini kanatları, enerji nakil direkleri ve paneller, petrol ve doğal gaz boru hatları vb.), denizcilik endüstrisi (Tekneler, yatlar ve gemi gövdeleri, denizaltı parçaları, deniz fenerleri ve şamandıralar vb.), elektrik ve elektronik endüstrisi (İzolasyon panelleri ve kaplamalar, elektrik kutuları ve devre elemanları, antenler vb.), sağlık sektörü (protez ve implantlar, tıbbi cihazlar ve ekipmanlar vb.), savunma sanayii (Zırh sistemleri, helikopter ve tank parçaları, askeri araç gövdeleri, radar ve elektronik ekipmanlar vb.) (Madhu ve ark, 2020; Var, 2021; Diltemiz ve Eroğlu, 2023; Topçupğlu, 2023).

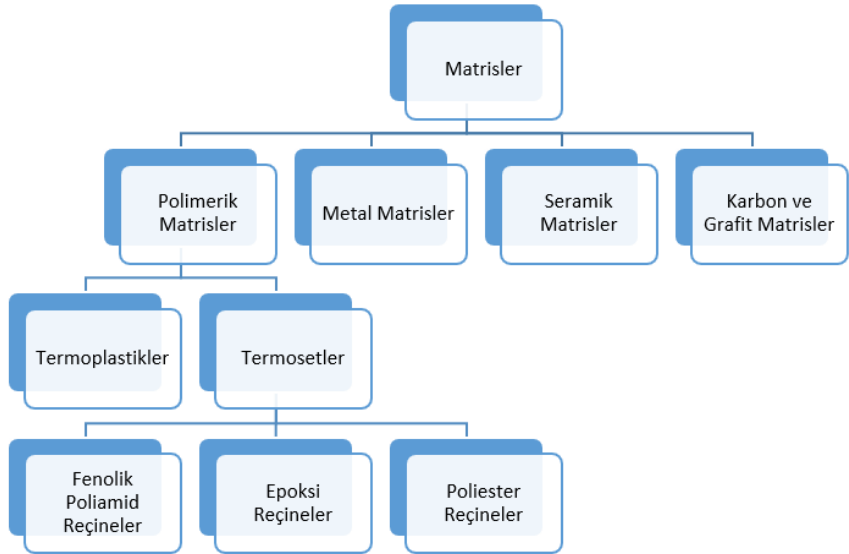
Son yıllarda kompozit malzemelerin üretim tekniklerinde ve performans değerlendirme yöntemlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Üretim sürecinde kullanılan yöntemler, malzemenin nihai özelliklerini doğrudan etkileyerek, mekanik dayanım, termal stabilite, korozyon direnci ve yüzey kalitesi gibi kritik parametrelerin değerlerini etkilemektedir. Bu çalışmada, kompozit malzemelerin yapısı ve üretim teknikleri üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Kompozit Malzemelerin Yapısı

Kompozit malzemeler, takvive ve matris esas olmak üzere en az iki bileşenden oluşan yapılardır. Takviyeli, katmanlı kompozit malzemeler, günümüzde birçok endüstri alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle ısı yalıtımı ve ses yutuculuk gibi üstün fiziksel ve mukavemet, dayanım, eğilme gibi çeşitli mekanik özelliklerin gereksinim duyulduğu otomotiv, havacılık ve ulaşım sektörlerinde önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Malzemelerin bu nedenle yüksek dayanım göstermesi ve yüksek sıcaklıklarda stabilitelerini korumaları kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, kompozit malzemelerin performansını artırmak amacıyla çeşitli takviye malzemeleri ve çeşitli yöntemler uygulanarak, dayanıklılık ve kullanım ömürleri optimize edilmektedir.

Kompozit malzemelerde matris malzemesinin temel görevlerinden bazıları, takviye elemanının yapısal bütünlüğünü

sağlama, yük transferini gerçekleştirme, çatlak ilerlemesini engelleme veya yavaşlatma ve takviye elemanını kimyasal ve fiziksel etkilerden korumadır. Şekil 1’de matris çeşitleri verilmiştir. Polimer matrisler (termoset ve termoplastik) en yaygın kullanılan matris türleriyken, metal ve seramik matrisler daha özel uygulamalarda tercih edilmektedir Matrisin özellikleri, kompozit yapının darbe dayanımı, delaminasyon, kimyasal direnç, su absorpsiyonu ve sürtünme direnci gibi aşındırıcı süreçlerde belirleyici rol oynar (Var, 2021).

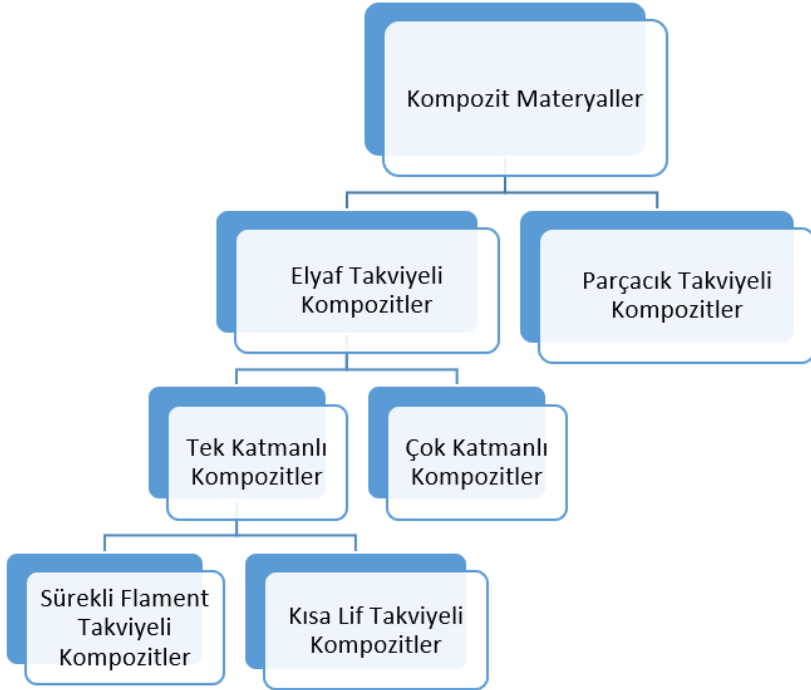


Şekil 1.Kompozit malzemelerde kullanılan matris çeşitleri

Kaynak: Aydın, 2019

Kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanları, kompozit malzemelerin ana bileşenlerinden biridir ve üzerine gelen yükün büyük bir kısmını taşır. Bu yük aktarımının etkili bir şekilde gerçekleşebilmesi için, takviyeler ve matrisler arasında iyi bir fiziksel ve kimyasal uyum ve güçlü bir ara yüzey bağı gereklidir. Ayrıca, takviye elemanı ile matrisin ısıl genleşme katsayılarının uyumu, yapıda kalıcı gerilmelerin oluşmaması açısından kritik

öneme sahiptir. Şekil 2’de kompozit malzemelerde kullanılan takviye çeşitleri verilmiştir. Kompozit üretiminde, takviye elemanlarının doğru seçimi, üretim tekniği, elyafların matris tarafından uygun şekilde ıslatılması ve yönlendirilmesi gibi süreçlerin dikkatle yönetilmesi gerekir (Arı, 2022).

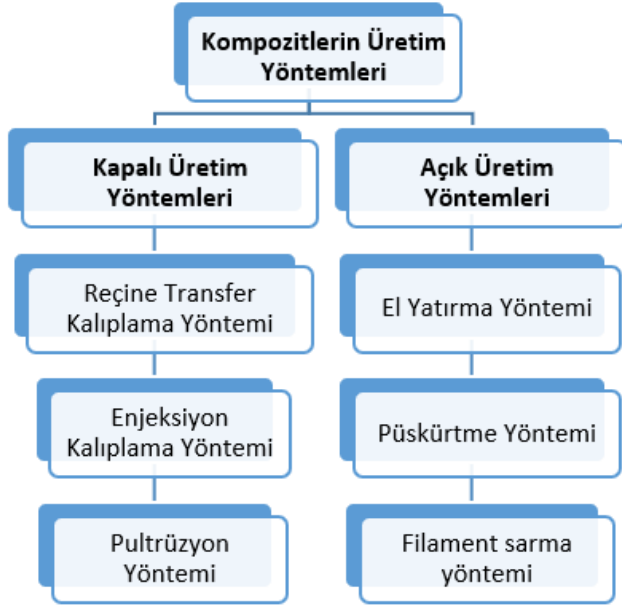


Şekil 2. Takviye çeşitlerine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kaynak: Agarwal et al, 2017

Kompozitler İçin Üretim Yöntemleri

Kompozit plakalar, çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilebilmektedirler. Kompozit yapıların üretiminde, üretim yöntemleri kapalı ve açık kalıplama yöntemi olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Şekil 3’te bu gruplara ait alt gruplardaki üretim yöntemleri verilmiştir.



Şekil 3. Takviye çeşitlerine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Şekil 3'te yer alan/almayan yöntemleri de el yatırma yöntemi, vakum torbalama yöntemi, vakum infüzyon yöntemi, pultrüzyon yöntemi, reçine transfer kalıplama, filament sarma yöntemi, prepreg yöntemi, baskı kalıplama, sprey yöntemi, enjeksiyon kalıplama yöntemi şeklinde sıralayabiliriz. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları el yatırma yöntemi, vakum infüzyon yöntemidir. Kompozitler için kullanılan üretim yöntemlerinin detayları aşağıda sıralanmıştır.

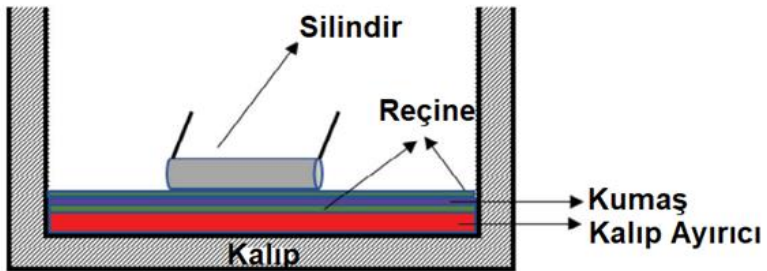
El Yatırma Yöntemi (Hand Lay-Up Method)

Kompozitleri üretiminde kullanılan el yatırma yöntemi, en eski ve en temel tekniklerden biri olup, geniş boyutlara sahip parçaların düşük üretim hacimlerinde üretilmesi için uygun bir süreçtir. El yatırma yöntemi, elyaf veya kumaşların bir kalıp içerisine elle yerleştirilerek, rulo veya fırça yardımıyla reçine ile

doğurulması yoluyla şekillendirme işlemi olarak tanımlanabilir. Parçanın nihai geometrisi, kullanılan kalıbın şekli ile belirlenir. Kalıbın yüzeyi, genellikle parçanın dış yüzeyiyle doğrudan temas halinde olup, bu yüzeyin özelliklerini belirleyici bir role sahiptir. Kullanılan kalıp, düz bir levha formunda olabileceği gibi, karmaşık eğrilere ve sınırsız kenarlara sahip daha kompleks yapılar da içerebilir.

Şekil 3'te el yatırma metodunun şematik gösterimi verilmiştir. Takviye malzemesi yerleştirilir ve üzerine reçine dökülür. Takviye malzemesi ve reçine, manuel olarak kullanılan rulolar yardımıyla yoğunlaştırılır, hava kabarcıkları giderilerek takviye malzemesinin reçine ile tamamen kaplanması sağlanır. İstenilen kalınlığa ulaşana kadar bu işlem, katmanlar eklenerek tekrarlanır.

Bu yöntemin avantajları arasında düşük takım maliyeti, sürecin basitliği, geniş boyut aralığında parça üretme imkânı ve tasarım esnekliği bulunmaktadır. Ancak, yöntemin emek yoğun olması ve üretilen parçaların yalnızca bir yüzeyinin düzgün bir yapıya sahip olması önemli dezavantajlar olarak öne çıkar. El yatırma yöntemi, özellikle düşük hacimli üretimler ve büyük ebatlı parçalar için maliyet-etkin bir çözüm sunar (Var, 2021; Özgür ve ark., 2023).

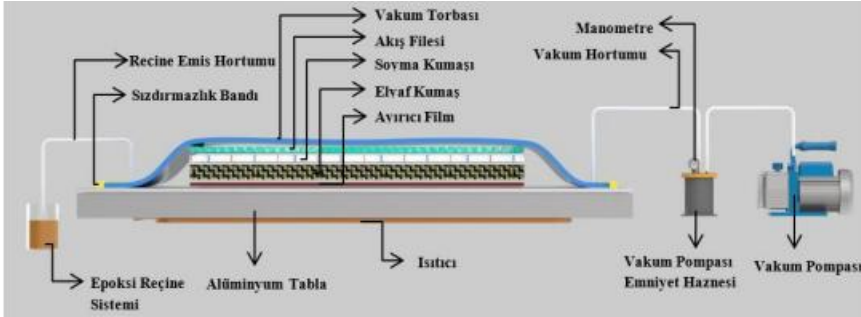


Şekil 3. El yatırma metodu şematik gösterimi

Kaynak: Özgür ve ark., 2023

Vakum İnfüzyon Yöntemi (Vacuum Infusion Method)

Vakum infüzyon yöntemiyle üretilen levhalar, daha homojen bir yapıya sahip olabilmektedir. Bu yöntemde üretim süreci, temel adımlarla gerçekleştirilmektedir. Şekil 4'te vakum infüzyon sisteminin şematik bir gösterimi görülmektedir. Yöntemde ilk adım, reçine sisteminde bulunan hava kabarcıklarının tamamen giderilmesi amacıyla, gaz giderme işleminin yapılmasıdır. Daha sonra kalıp ayırıcı üzerindeki toz ve kirden temizlenir. Üretilecek kompozit plakalar için takviye malzemeler serilir. Sırasıyla ayırıcı kumaş ve reçine emici katman serilir. En üst tabakaya ise vakum torbası yerleştirilerek sızdırmazlık bantları ile sabitlenir. Vakum ve reçine infüzyon noktalarına bağlantı hortumları yerleştirilir. Üretim sürecine başlamadan önce, kalıpta herhangi bir hava kaçağı olasılığına karşı vakum altında basınç kontrolü yapılır. Ardından, cihaz çalıştırılarak reçinenin kalıp içerisindeki kompozit katmanlara nüfuz etmesi sağlanır. Bu aşamalar sonucunda, kompozit plakaların üretimi başarıyla tamamlanmış olur. Bu adımlar, vakum infüzyon yöntemiyle üretilen kompozit parçaların homojen, yüksek kaliteli ve istenen mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar (Durgun, 2013; Sarpkaya ve Sabır, 2023).



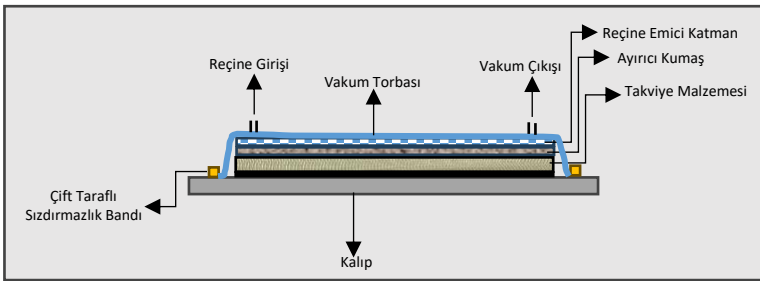
Şekil 4. Vakum infüzyon yöntemi şematik gösterimi

Kaynak: Aydın, 2019

Vakum Torbalama Yöntemi (Vacuum Bagging)

El yatırma yönteminin bir ileri seviyesi olarak kabul edilen bu teknikte, takviye malzemeleri ve reçine, vakum torbası kullanılarak sıkıştırılır. Torba içinde vakum oluşturularak reçinenin homojen şekilde yayılması sağlanır. Bu yöntem, daha yüksek mekanik özelliklere sahip kompozitlerin üretiminde ve karmaşık şekilli lamine kompozitlerin üretilmesi sırasında meydana gelen kalınlık sapmalarını ve şekil bozukluklarını minimize etmek için tercih edilmektedir.

Şekil 5'te vakum torbalama sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Bu yöntemin temel prensibi, düşük basınç ortamında reçinenin lamine yüzeylere düzgün şekilde nüfuz etmesini sağlamaktır. Vakum torbalama yönteminde, tek torbalı vakum sistemi, modifiye tek torbalı vakum sistemi ve çift torbalı vakum sistemi olarak çeşitleri bulunmaktadır. Tek torbalı vakum sistemi, düz geometriler için kullanılırken, çift torbalı vakum sistemi ise daha karmaşık geometrilere sahip kompozitler için uygun sonuç vermektedir. Vakum torbalama yönteminde kullanılan vakum torbası, reçinenin yüzeyde düzgün dağılmasını sağlar, köşe bölgelerdeki sıkışma etkisi gibi sorunları azaltması bu yöntemin avantajı olarak söylenebilir. (Hall ve ark., 2021; Durgun ve ark., 2013; Mujahid ve ark.,2020).



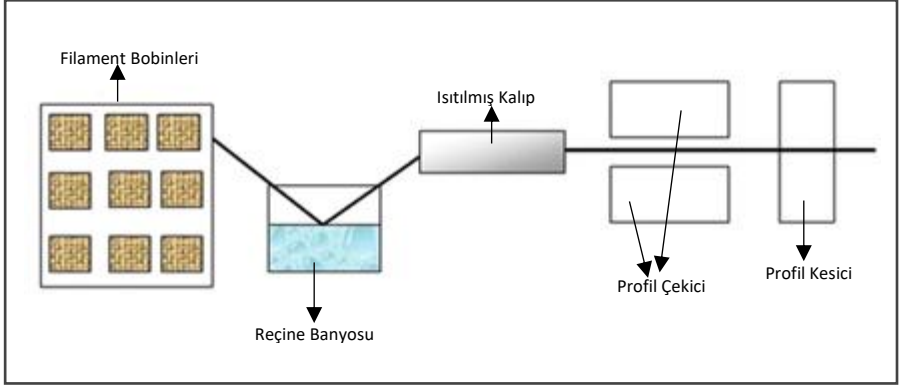
Şekil 5. Vakum torbalama yöntemi şematik gösterimi

Pultrüzyon Yöntemi (Pultrusion)

Sürekli profil üretimi için kullanılan bir yöntemdir. Elyaf takviyeler, reçine banyosundan geçirilerek bir kalıptan çekilir ve sertleştirilir. Bu yöntem, özellikle çubuk, boru ve profil üretiminde yaygındır. Sürekli üretim imkânı ve düşük maliyet, bu üretim yönteminin avantajı iken, geometrik çeşitliliğin sınırlı olması da dezavantajı durumundadır. Pultrüzyon, karbon fiber ve cam elyaf gibi sürekli takviye malzemelerinin termoset reçine ile doyurulduktan sonra sıcak bir kalıptan çekilerek profillerin üretildiği bir yöntemdir. Bu terim, İngilizce *Pull* (çekmek) ve *Extrusion* (ekstrüzyon) kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir.

Termoset matrisler bu yöntem için en sık tercih edilen malzemelerdir. Fenolik reçineler, yüksek ısıl dayanımları ve düşük maliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılırken, doymamış poliestere reçineler düşük ısı gereksinimi ve hızlı jelleşme özellikleri sayesinde sıklıkla tercih edilmektedir.

Pultrüzyon yöntemi şekil 6'da verilmiştir. Yöntemde, takviye fiber malzeme boyuna doğrultuda düzenlenmiş sürekli filament fitilleri, reçine havuzundan geçirilir. Reçine ile doymamış hale getirilen bu lifler, istenen forma sahip bir kalıptan geçirilerek ısı yardımıyla kürlenir ve nihai yapısal özelliklerini kazanır. Liflerin %100 oranında boyuna doğrultuda düzenlenmesi, üretilen boruların mükemmel çekme dayanımına sahip olmasını sağlar (Balasubramanian ve ark., 2018; Var, 2021; www.kompozitshop.com, 2024)



Şekil 6. Pultrüzyon yöntemi şematik gösterimi

Kaynak: Fairuz ve ark., 2015

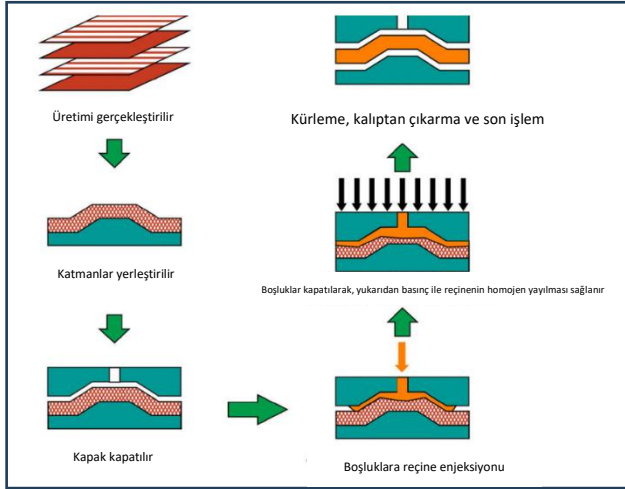
Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi (RTM)

Reçine transfer kalıplama (RTM-resin transfer molding), üç boyutlu, karmaşık ve büyük kompozit parçaların üretimi için kullanılan, yüksek derecede otomasyona uygun bir kapalı kalıp üretim teknolojisidir. RTM, düşük basınçlı bir enjeksiyon işlemi olup, yüksek üretim hacimlerinde ve kaliteli kompozit parçaların üretiminde elverişli bir yöntemdir.

Şekil 7’de RTM yönteminin şematik gösterimi verilmiştir. Bu yöntemde öncelikle elyaf kuru halde tek kat ya da önceden şekillendirilmiş kalıplara yerleştirilir. Elyaf yerleştirildikten sonra kalıp kapatılır. Sabit bir basınç veya sabit bir akış hızıyla reçine enjeksiyonu sağlanır. Bu şekilde reçine, elyafı tamamen ıslatır ve fazla reçine kalıptan tahliye edilir. Sonraki aşamada, kalıbın tam dolmasının ardından, havalandırma portları kapatılır ve reçine kürlenmeye bırakılır. Kürleme sırasında isteğe bağlı olarak basınç uygulanabilir.

Kürlenmiş kompozit parça kalıptan dikkatlice çıkarılırlararak kompozit imalatı tamamlanmış olur. Bu üretim yönteminde kapalı bir ortamda işlem devam ettiği için çevresel etgki azalarak daha temiz bir üretim sağlanır. Ayrıca elyaf üzerine reçine dağılımı

homojen bir şekilde sağlandığı için üretilen kompozitin mekanik özellikleri oldukça iyidir. Karmaşık geometrilere sahip büyük boyutlu parçaların üretiminde etkili bir yöntemdir (Danisman ve ark., 2007; Schmachtenberg ve ark. 2005).



Şekil 7. Reçine transfer kalıplama yöntemi (RTM) şematik gösterimi

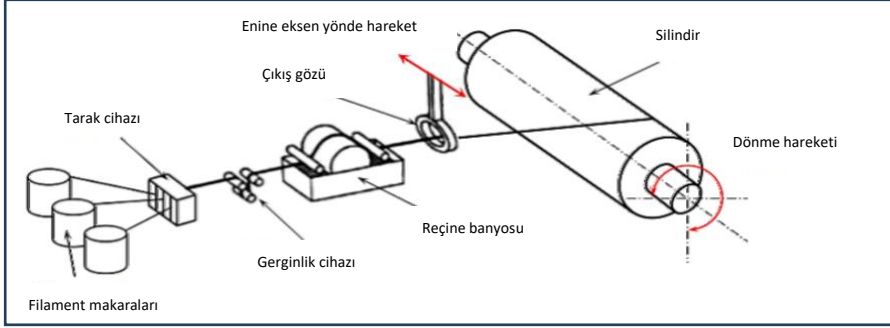
Kaynak: Bhat ve ark., 2009

Filament Sarma Yöntemi (Filament Winding)

Filament sarma tekniği, kompozit üretiminde kullanılan en eski ve temel yöntemlerden biridir. Genellikle boru, tank ve silindirik parçaların üretiminde kullanılır. Filament sarma yöntemi, tasarım ve sarım yönüne göre üretilen parçaların mukavemetinin optimize edilmesini sağlar. Ayrıca, bu yöntemin otomasyona ve robotik üretim süreçlerine uygunluğu, önemli avantajları arasında yer alır. Şekil çeşitliliğinin sınırlı olması bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Şekil 8’de filament sarma yöntemi verilmiştir. Bu yöntemde, sürekli elyaflar bir reçine banyosundan geçirilerek, taşıma sistemi vasıtasıyla, dönen bir silindir üzerine sarılır. Bu silindir sabit bir gerginlik ve hızla dönmektedir. Sarım açısı, mekanik özellikleri optimize etmek için önceden belirlenir. Sarım

işlemi tamamlandıktan sonra, elde edilen yapı oda sıcaklığında ya da fırında kürlenmeye bırakılarak nihai sertlik ve dayanım özelliklerine ulaşır. Kürlleme işlemi tamamlandıktan sonra silindir yapıdan ayrılır (Azeem ve ark., 2022; Var, 2021; Quanjin ve ark., 2019).



Şekil 8. Filament sarma yöntemi şematik gösterimi

Kaynak:Quanjin ve ark., 2019

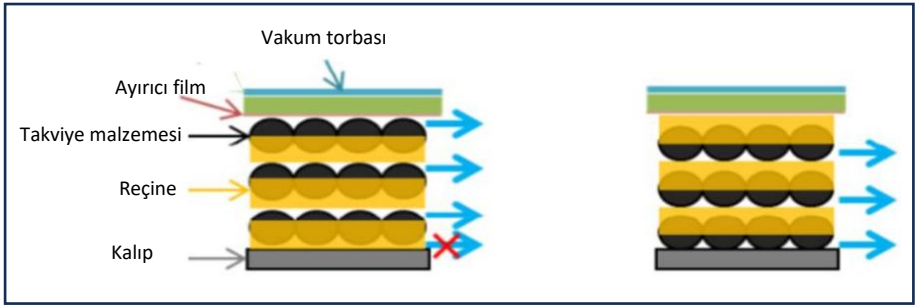
Prepreg Yöntemi

Prepreg, reçine ile önceden muamele edilmiş ve kısmen kürlenmiş takviye malzemeleri için kullanılan bir terimdir. Prepreg üretim yönteminde, takviye elemanları reçine ile önceden emdirilir ve kısmen kürlenerek kompozit malzeme üretimi yapılır. Bu yöntemde kullanılan reçine, tam olarak kürlenmemiş halde bırakılarak, jel evresi olarak adlandırılan bir duruma getirilir. Malzeme daha sonra yüksek sıcaklık ve basınç altında nihai kürlenme işlemine tabi tutularak kompozit üretimi tamamlanır.

Üretim yönteminin aşamaları sırasıyla, takviye malzemenin hazırlığı (malzemelerin belirli bir düzende yerleştirilmesi), reçine emdirmesi (reçinenin takviye malzeme üzerine kontrollü bir şekilde verilerek homojen dağılımını sağlamak), kısmi kürlleme (reçinenin, tam kürlenmeden önce jel evresine kadar ısıtılarak prepreg malzemesi elde edilmesi), saklama (prepregler, düşük sıcaklıkta (-18°C gibi) nihai üretim sırasında kullanıma hazır halde saklanır. Üretim sırasında, prepreg malzeme katmanlar halinde bir kalıba

yerleştirilir ve yüksek sıcaklık ve basınç altında tam kürleme gerçekleştirilir.

Bu yöntemin avantajları, yüksek performans, tekrarlanabilirlik, uygulama alanı çeşitliliği iken, dezavantajları ise, prepreg malzemelerin yüksek maliyeti ve depolama sırasındaki özel saklama koşulları gereksinimi sayılabilir (Acar ve ark., 2013; Köseadağ ve Ekici, 2021). Şekil 9'da yöntemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 9. Prepreg yöntemi şematik gösterimi

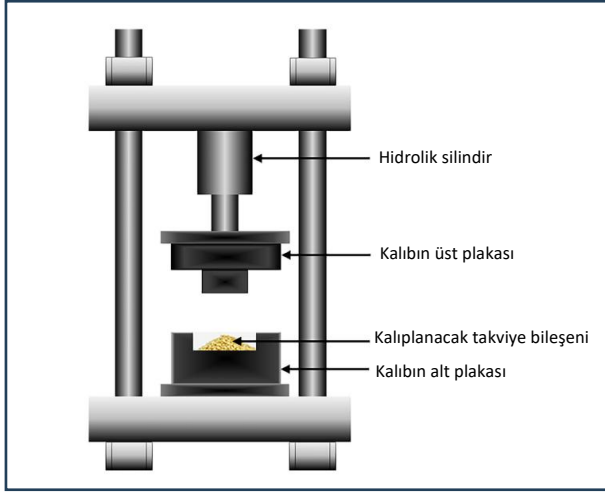
Kaynak: Köseadağ ve Ekici, 2021

Baskı Kalıplama (Compression Molding)

Baskı kalıplama yöntemi, yüksek mukavemetli, değişken boyutlarda ve karmaşık geometrilere sahip parçaların üretimi için kullanılan etkili bir imalat tekniğidir. Genellikle doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin üretiminde kullanılan, kapalı kalıp bir imalat yöntemidir. Baskı kalıplama, düşük maliyet, malzeme israfının azaltılması ve kısa çevrim süreleri gibi avantajlar sunar.

Şekil 10'da baskı kalıplama yönteminin şematik gösterimi görülmektedir. Bu yöntemde, hidrolik veya mekanik bir kalıplama presine monte edilmiş erkek ve dişi kalıp takımları kullanılır. Kalıplanacak malzeme açık kalıba yerleştirilirdikten sonra, ısıtılmış kalıbın kapatılması ve belirli bir basınç uygulanmasıyla malzeme istenilen şekle dönüştürülür. Süreç, parçanın boyutuna ve kalınlığına bağlı olarak genellikle 1 - 5 dakika arasında tamamlanır.

Baskı kalıplama yöntemi, üstün mekanik ve kimyasal özelliklere sahip kompozit malzemelerin üretilmesine olanak sağlar. Bunun yanı sıra, yüksek yüzey kalitesi, geniş renk seçeneği ve bitim işlemlerinin minimum maliyetle gerçekleştirilmesi gibi avantajlar sunar. Yöntemin bu özellikleri, bilhassa yüksek hassasiyet ve estetik gereksinimlerin olduğu uygulamalarda kullanımı için ideal kılar (Var, 2021; Jaafar ve ark., 2019)



Şekil 10. Baskı kalıplama yöntemi şematik gösterimi

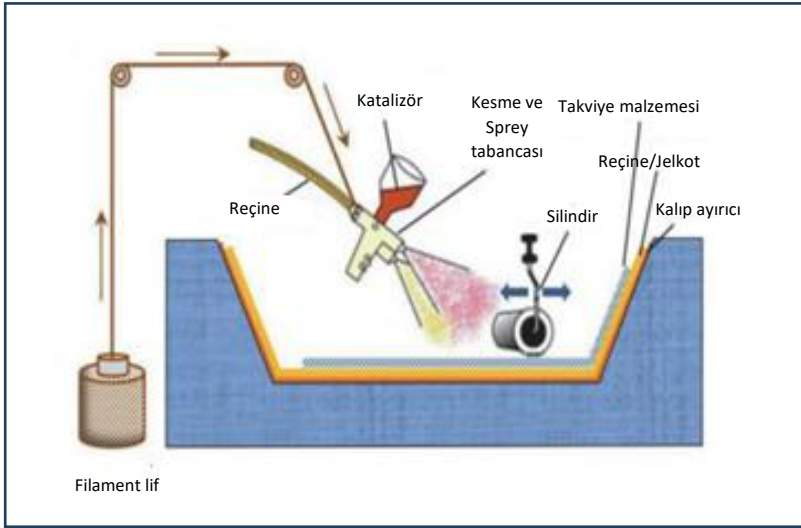
Kaynak: Jaafar ve ark., 2019

Püskürtme Yöntemi (Spray Lay-Up Method)

Püskürtme yöntemi, el yatırma yöntemine benzer bir kompozit üretim tekniği olup, temel farkı üretimin manuel olarak değil, bir alet yardımıyla ve kırılmış lifler kullanılarak gerçekleştirilmesidir. Bu yöntemde, reçineye sertleştirici eklenerek hazırlanan bir karışım, özel bir spreyci tabancası ile kalıp yüzeyine püskürtülür. Liflerin kırılması, tabanca üzerinde bağımsız çalışan bir kesici mekanizma aracılığıyla gerçekleştirilir.

Püskürtme işleminden sonra, oluşabilecek hava kabarcıklarının giderilmesi ve yüzeyin düzgün bir form alması için

merdane ile yüzey düzeltilir. Bu yöntem, karmaşık şekillere ve büyük boyutlara sahip kompozit parçaların üretimi için oldukça uygun bir teknik olarak öne çıkar. Reçine ve kırılmış sürekli liflerden oluşan karışımın açık kalıp yüzeyine eşit şekilde püskürtülmesi, yöntemin temel uygulama aşamasını oluşturur. Püskürtme işlemi tamamlandıktan sonra, yüzeydeki hava kabarcıkları elle giderilir ve kompozit malzeme, ortam sıcaklığında kürlenmeye bırakılır (Şekil 11). Kompozit malzeme atmosferik koşullarda kürlenerek nihai formuna ulaşır. Bu yöntem, hızlı üretim süreçleri ve düşük maliyetli ekipman gereksinimleri ile endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (Yıldız, 2019; Şimşir, 2020).



Şekil 11. Püskürtme yöntemi şematik gösterimi

Kaynak: Sumithra ve ark., 2023

Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, yüksek üretim kapasitesi sunan ve özellikle termoplastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir imalat tekniğidir. Bununla birlikte, termoset malzemelerin üretiminde de uygulanabilmektedir. Termoplastik ve termoset uygulamaları arasındaki temel fark, sistemin farklı

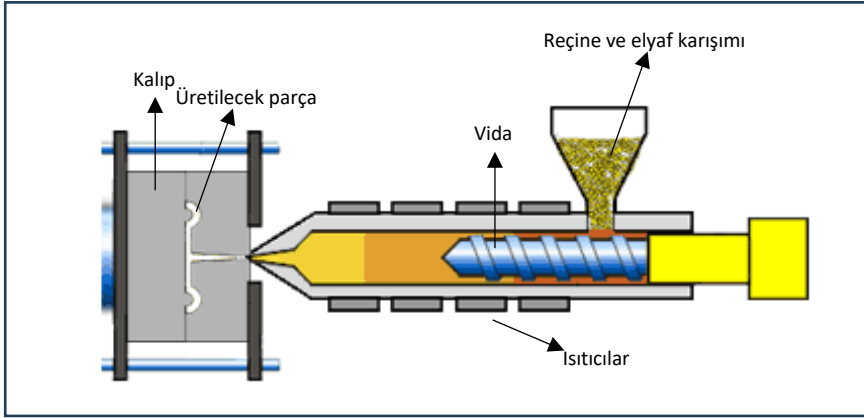
bölgelerinde sıcaklık kontrolünün sağlanma şeklidir. Termoplastiklerde enjeksiyon vidası ve hazne yüksek sıcaklıkta tutulurken, termosetlerde vida ve hazne sıcaklığı dikkatle kontrol edilir. Bu, reçinenin kalıp boşluğuna ulaşmadan önce çapraz bağ oluşumunu engellemek ve reçinenin kalıba enjekte edilebilir olmasını sağlamak için gereklidir.

Termoset uygulamalarda, kalıp doldurulduktan sonra, malzeme belirli bir sıcaklık seviyesine çıkarılarak çapraz bağlanma reaksiyonu başlatılır ve nihai ürün oluşur.

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, polimer malzemelerin ısıtılarak plastik hale getirilmesi ve ardından yüksek basınç altında kalıp boşluğuna enjekte edilmesi esasına dayanır. Bu yöntem, hassas ölçülere sahip parçaların üretimini mümkün kılar. Üretim süresi genellikle 10-30 saniye arasında değişmekle birlikte, bazı durumlarda bu süre 1 dakika ve üstü sürelerle uzayabilir. Aynı kalıp içerisinde birden fazla parça üretmek de mümkündür. Bu yöntem, özellikle otomobil tamponları gibi büyük hacimli termoplastik ürünlerin üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Enjeksiyon kalıplama, teorik olarak reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemine benzerlik göstermektedir. Ancak, RTM'den farklı olarak reçine ve takviye malzemesi enjeksiyon öncesinde dışarıda karıştırılır ve ardından düşük viskoziteli reçine karışımı, basınç yardımıyla kalıp boşluğuna enjekte edilerek üretim gerçekleştirilir (Şekil 12).

Bu yöntem, diğer imalat tekniklerine kıyasla daha hızlı bir üretim süreci sunar. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar birçok endüstriyel üründe kullanılabilen enjeksiyon kalıplama, kompozit malzemelerin üretiminde düşük maliyetli ve verimli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Yıldız, 2019; Şimşir, 2020; Var, 2021).



Şekil 12. Enjeksiyon kalıplama yöntemi şematik gösterimi

Kaynak: www.toolcraft.co.uk,2024

Sonuç

Bu çalışmada, kompozitlerin yapısal özellikleri, uygulama alanları ve üretim yöntemleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma, kompozitlerin özellikle kullanım alanlarına göre üretim yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Kompozit malzemelerin kapsamlı araştırılması ve geliştirilmesi, daha dayanıklı ve daha güçlü yapıların tasarlanmasına olanak sağlayarak, sanayi ve teknoloji alanındaki yeniliklere hız kazandıracaktır. Kompozit malzeme tasarımında elde edilen ilerlemeler, bu malzemelerin daha geniş bir yelpazede ve daha yaratıcı biçimlerde kullanılmasının yolunu açacaktır.

Kaynaklar

Acar, V., Akbulut, H., Sarikanat, M., Seydibeyoglu, M. Ö., Seki, Y., & Erden, S. (2013). Karbon elyaf takviyeli prepreg kompozitlerde arayüzey mekanığının karbon nanoyapı katkısıyla iyileştirilmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(3), 43-51.

Agarwal, B. D., Broutman, L. J., & Chandrashekhara, K. (2017). *Analysis and performance of fiber composites*. John Wiley & Sons.

Arı, A. (2022). Polimer matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Doktora Tezi.

Aydın, M. C. (2019). Interply ve Intraply Hibrit Kompozitlerin Karşılaştırmalı Mekanik ve Dinamik Analizi, *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Doktora Tezi.

Azeem, M., Ya, H. H., Alam, M. A., Kumar, M., Stabla, P., Smolnicki, M., ... & Mustapha, M. (2022). Application of filament winding technology in composite pressure vessels and challenges: a review. *Journal of Energy Storage*, 49, 103468.

doi: 10.1016/j.est.2021.103468

Balasubramanian, K., Sultan, M. T. and Rajeswari, N., (2018). *Sustainable Composites for Aerospace Applications*, Woodhead Publishing, 55-67.

Bhat, P., Merotte, J., Simacek, P., & Advani, S. G. (2009). Process analysis of compression resin transfer molding. *Composites Part A: Applied science and manufacturing*, 40(4), 431-441.

Danisman, M., Tuncol, G., Kaynar, A., & Sozer, E. M. (2007). Monitoring of resin flow in the resin transfer molding (RTM) process using point-voltage sensors. *Composites Science and Technology*, 67(3-4), 367-379.

Diltemiz, S. F., & Eroğlu, E. (2023). Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Termografik Muayene ile Kontrolü. *Demiryolu Mühendisliği*, (17), 186-198.

doi: 10.47072/demiryolu.1202657

Durgun, İ. (2013). Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Karbon Fiber Motor Kaput Üretimi, *II. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu*, 7 – 9 Kasım 2013, İzmir.

Durgun, İ., Vatansever, O., Ertan, R., Yavuz, N. (2013). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kompozit Parça İmalat Yöntemlerinin Deneyisel Olarak Karşılaştırılması, *II. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu*, 7 – 9 Kasım 2013, İzmir.

Fairuz, A. M., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., & Jaafar, C. N. A. (2015). Pultrusion process of natural fibre-reinforced polymer composites. *Manufacturing of natural fibre reinforced polymer composites*, 217-231.

doi:10.1007/978-3-319-07944-8_11

Hall, W., Javanbakht, Z., Hall, W., & Javanbakht, Z. (2021). Advanced Methods—Vacuum Bagging and Prepreg Moulding. *Design and Manufacture of Fibre-Reinforced Composites*, 55-68.

Jaafar, J., Siregar, J. P., Tezara, C., Hamdan, M. H. M., & Rihayat, T. (2019). A review of important considerations in the compression molding process of short natural fiber composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105, 3437-3450.

doi:10.1007/s00170-019-04466-8.

Kösedag, E., & Ekici, R. (2021). Impact Behavior of Aramid Reinforced Polymer Matrix Composites Produced By Hot Press-Prepreg Method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 84-90.

doi: 10.31590/ejosat.986167

Madhu, P., Sanjay, M. R., Jawaid, M., Siengchin, S., Khan, A., & Pruncu, C. I. (2020). A new study on effect of various chemical treatments on Agave Americana fiber for composite reinforcement: Physico-chemical, thermal, mechanical and morphological properties. *Polymer Testing*, 85, 106437.

doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106437

Mujahid, Y., Sallih, N., Mustapha, M., Abdullah, M. Z., & Mustapha, F. (2020). Effects of processing parameters for vacuum-bagging-only method on shape conformation of laminated composites. *Processes*, 8(9), 1147.

Özgür, E., Sabır, E.C, Sarpkaya, Ç. (2023). Multi-objective Optimization of Thermal and Sound Insulation Properties of Basalt and Carbon Fabric Reinforced Composites Using the Taguchi Grey Relations Analysis, *Journal of Natural Fibers*, 20:1, 2178580, 1-13.

doi: 10.1080/15440478.2023.2178580

Quanjin, M., Rejab, M. R. M., Idris, M. S., Zhang, B., Merzuki, M. N. M., & Kumar, N. M. (2019). Wireless technology applied in 3-axis filament winding machine control system using MIT app inventor. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 469, p. 012030). IOP Publishing.

doi: 10.1088/1757-899X/469/1/012030

Sarpkaya, Ç., Sabır, E.C. (2023). Ulaşım Sanayi İçin Kumaş Takviyeli Katmanlı Kompozitlerin Isı ve Ses Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması, 2. *Bilsel International Truva Scientific Research and Innovation Congress*, Turkey.

Schmachtenberg, E., Zur Heide, J. S., & Töpker, J. (2005). Application of ultrasonics for the process control of Resin Transfer Moulding (RTM). *Polymer testing*, 24(3), 330-338.

Sumithra, G., Reddy, R. N., Kumar, G. D., Ojha, S., Jayachandra, G., & Raghavendra, G. (2023). Review on composite

classification, manufacturing, and applications. *Materials Today: Proceedings*.

doi: 10.1016/j.matpr.2023.04.637

Şimşir, E. (2020). Taşıtlarda kullanılan polimer matrisli kompozit yan darbe kırıışlerinin tasarımı ve analizleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı*, Doktora Tezi.

Topcuoğlu, A. (2023). Havacılık sektöründe kullanılan kompozit malzemelerin yangına karşı davranışlarının incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi, Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi.

Var, C. (2021). Karbon kumaş takviyeli hibrit kompozit yapıların mekanik özelliklerinin araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi.

www.kompozitshop.com, 2024

www.toolcraft.co.uk, 2024

Yıldız, R. (2019). Karbon prepreg, cam prepreg ve bazalt elyaf ile üretilmiş hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi.

BÖLÜM II

Kompozit Malzemelere Uygulanan Mikroyapısal ve Mekanik Testler

Çiğdem SARP KAYA¹

Giriş

Günümüzde, enerji verimliliği yüksek, hafif, biyolojik olarak parçalanabilir ve yenilenebilir özelliklere sahip malzemelere olan talep hızla artmaktadır. Bu talep doğrultusunda, endüstriyel uygulamalarda daha çevreci ve sürdürülebilir malzemelerin kullanımı ön plandadır. Özellikle son yıllarda doğal liflerin, polimer esaslı kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanımı büyük ilgi görmüş ve birçok endüstride yaygın şekilde benimsenmiştir. Bu malzemeler, çeşitli sektörlerde ticari ürünlerin üretiminde kendine önemli bir yer bulmuştur. Aşağıda bu sektörlerdeki uygulama alanları verilmiştir:

- **Havacılık ve Uzay Endüstrisi:** Kompozit yapılar hafiflik, mukavemet ve sertlik gereksinimlerini karşılayan üstün mekanik özellikleri nedeniyle havacılık sektöründe yaygın

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Karabük Üniversitesi, Safranbolu Şefik Yılmaz Dizdar MYO, Moda Tasarım Bölümü, Karabük/Türkiye, Orcid: 0000-0001-7710-1035, csarpkaya@karabuk.edu.tr

olarak kullanılmaktadır. Uçak kanatları, gövdeleri, kuyrukları, helikopter pervaneleri, roket gövdeleri, uzay araçlarının iniş takımları ve iç kabin elemanları gibi uygulamalarda kullanılır. Rotor kanatları gibi helikopter bileşenlerinde de sıklıkla kullanılan bu malzemeler, hafif metal alaşımlarına kıyasla daha yüksek ağırlık tasarrufu ve özelleştirilebilir mekanik özellikler sunar.

- **Otomotiv Endüstrisi:** Araç kaportaları, tamponlar, şasi parçaları, elektrikli araç batarya kutuları, iç tasarım elemanları (koltuklar, paneller), fren diskleri ve süspansiyon sistemlerinde tercih edilmektedir.
- **Raylı Sistem Yapıları:** Demiryolu aksı, ön kabin, kapılar, zemin panelleri ve gövde yapılarında doğal lif takviyeli kompozitler kullanılmaktadır.
- **İnşaat ve Altyapı Sektörü:** Köprüler, kolonlar, kirişler, prefabrike yapı elemanları, deniz yapıları (iskeleler, platformlar) ile su ve kanalizasyon borularında bu malzemeler önemli bir yere sahiptir.
- **Enerji Sektörü:** Rüzgâr türbini kanatları, enerji nakil direkleri ve paneller, petrol ve doğal gaz boru hatları gibi alanlarda çevreci çözümler sunmaktadır.
- **Denizcilik Endüstrisi:** Tekneler, yatlar, gemi gövdeleri, denizaltı parçaları, deniz fenerleri ve şamandıralar bu malzemelerin yaygın kullanım alanları arasındadır.
- **Elektrik ve Elektronik Endüstrisi:** İzolasyon panelleri ve kaplamalar, elektrik kutuları, devre elemanları ve antenler gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.
- **Sağlık Sektörü:** Protez ve implantlar, tıbbi cihazlar ve ekipmanlar gibi hassas uygulamalarda doğal lif takviyeli kompozitler tercih edilmektedir.
- **Savunma Sanayii:** Zırh sistemleri, helikopter ve tank parçaları, askeri araç gövdeleri, radar ve elektronik

ekipmanlarda yüksek performanslı malzemeler olarak öne çıkmaktadır (Madhu ve ark, 2020; Towsyfy ve ark. 2020; Var, 2021; Diltemiz ve Eroğlu, 2023; Topçupğlu, 2023).

Kompozit malzemelerin artan ilgi, üretim süreçlerinden kaynaklanan hatalar ve kullanım sırasında oluşabilecek hasarların tespiti ve onarımı gibi yeni zorlukları da beraberinde getirmiştir. Son yıllarda kompozit malzemelerin üretim tekniklerinde ve performans değerlendirme yöntemlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

Üretim sürecinde kullanılan yöntemler, malzemenin nihai özelliklerini doğrudan etkileyerek, mekanik dayanım, termal stabilite, korozyon direnci ve yüzey kalitesi gibi kritik parametrelerin değerlerini etkilemektedir. Bunun yanı sıra, kompozit malzemelere uygulanan testler, malzemenin dayanım, yorulma davranışı, kırılma tokluğu ve çevresel etkiler altındaki performansını belirlemek için de önemli bir rol oynar. Mekanik testler (çekme, eğilme, darbe), termal analizler (ısı iletkenliği, DSC, TGA) ve mikroyapısal incelemeler (SEM, XRD) gibi yöntemler kompozitlerin iç yapısal özelliklerini anlamak ve onların uygulama alanlarına uygunluğunu değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kompozit malzemelere çeşitli uygulanan mikroyapısal ve mekanik testlerin detaylı bir şekilde incelemesi yapılmıştır.

Kompozit Malzemelere Uygulanan Testler

Kompozit malzemeler, matris ve takviye elemanı olmak üzere iki temel bileşenden oluşan ve üstün mekanik özellikler sunan yapılardır. Takviyeli, katmanlı kompozitler, özellikle otomotiv, havacılık ve ulaşım sektörlerinde, ısı yalıtımı, ses yutuculuk, yüksek dayanım, eğilme mukavemeti ve mekanik stabilite gibi özelliklerin kritik öneme sahip olduğu uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür malzemelerin performansının artırılması için çeşitli takviye elemanları ve üretim yöntemleri kullanılarak dayanıklılıkları ve kullanım ömürleri optimize edilmektedir. Matris malzemesinin özellikleri, kompozitin darbe dayanımı, kimyasal direnç, su absorpsiyonu ve aşındırıcı süreçlere karşı dayanıklılığı gibi kritik performans kriterlerini doğrudan etkilemektedir. Bu

nedenle kompozit malzemelerin test edilmesi, mekanik, termal ve yapısal performanslarının değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Kompozitlerin test edilmesi, katman ayrılması, matris çatlaması ve lif kırılması gibi malzeme ömrü ve güvenilirliğini etkileyen başarısızlık mekanizmalarının anlaşılması açısından da büyük önem taşır. Şekil 1’de kompozit malzemelere uygulanan testler verilmiştir. Kompozit malzemelerin test edilmesinde çeşitli uluslararası standartlar uygulanır. Örneğin, çekme testleri için ASTM D638, eğme testleri için ASTM D790 standartları kullanılır. Darbe testlerinde ASTM D7136 testi ile malzemenin enerji absorpsiyon kapasitesini değerlendirmek için yaygın olarak tercih edilir (Var, 2021; Shanmugam ve ark. 2021).

Kompozit malzemeler, farklı mekanik, termal ve kimyasal özelliklere sahip bileşenlerden oluşan kompleks yapılar olduğundan, bu malzemelere uygulanan testler, performanslarını değerlendirmek ve uygulama alanlarına uyumlarını belirlemek açısından kritik öneme sahiptir. Bu testlerin sonuçları doğrultusunda, kompozitlerin üretim süreçleri ve kullanım alanlarına yönelik optimize edilmesine olanak sağlar ve farklı sektörlerdeki uygulamalarını genişletir. Oluşturulan kompozitlerin mekanik dayanımı, hasar toleransı, yorulma ömrü ve çevresel etkiler altındaki davranışları vb özellikleri, çeşitli test yöntemleriyle incelenerek, mühendislik tasarımı ve malzeme seçim süreçlerinde yol gösterici olmaktadır.

1-Mikroyapısal Analizler • Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizleri • X-ışını Difraksiyon (XRD) Testleri	2-Mekanik Testler • Çekme Dayanımı Testleri (Tensile Strength) • Basma Testleri (Compression Testing) • Eğilme Dayanımı Testleri (Flexural Strength Testing) • Darbe Dayanımı Testleri (Impact Strength Testing) • Yorulma Testleri (Fatigue Testing)	3-Termal Testler • Isı İletkenliği Testleri (Thermal Conductivity Test) • Isıl Genleşme Testleri (Thermal Expansion Test) • Termal Analiz (TGA ve DSC)
3-Kimyasal Dayanıklılık Testleri • Çevresel Etkiler Altında Testler • Korozyon ve Kimyasal Dayanıklılık Testleri	4-Yüzey Özellikleri ve Yapışma Testleri • Yüzey Enerjisi Ölçümleri • Yapışma (Adhesion) ve Bağlantı Testleri	5-Akustik ve Titreşim Testleri • Ses Hızında Ölçümler • Titreşim ve Ses Yalıtım Testleri

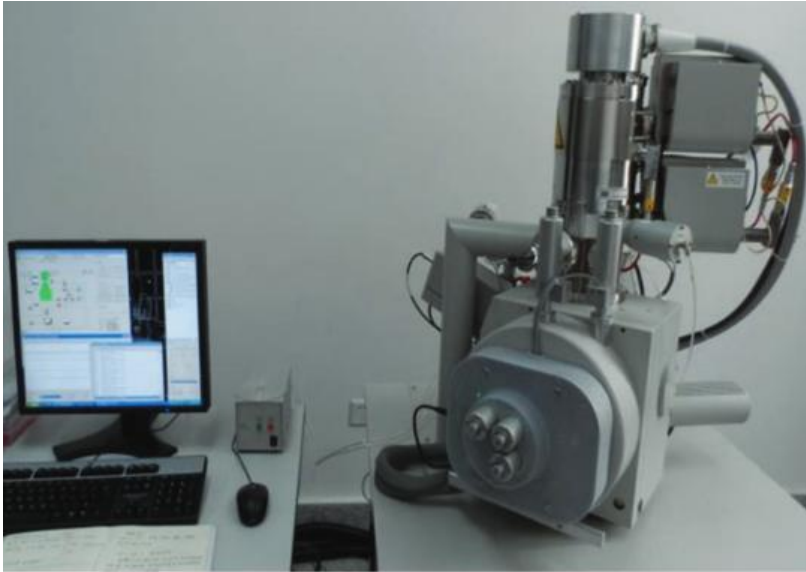
Şekil 1. Kompozit malzemelere uygulanan testler

1. Mikroyapısal Analizler

Mikroyapısal analiz testleri, kompozit malzemelerin yapısal bütünlüğünü, takviye elemanlarının dağılımını, gözeneklilik oranını ve malzemenin iç yapı homojenliğini değerlendirmek için kritik bir analizdir. X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) gibi teknikler yapılan çalışmalarda kompozit malzemenin yapısını analiz etmekte sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Bu testler, özellikle ileri mühendislik uygulamalarında kullanılan kompozitlerin mekanik ve termal performansını optimize etmek amacıyla uygulanır. XRD, kompozitlerde bulunan fazların tespiti ve kristal yapının analizi için kullanılırken, SEM görüntüleme ve enerji dağılımlı X-ışını (SEM-EDX) analizleri, takviye partiküllerinin dağılımını ve matris ile takviye arasındaki ara yüzey etkileşimlerini gözlemlemeye olanak tanır (Şenel, 2020).

1.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), yüksek çözünürlükle yüzey topografyasını ve mikroyapısal özellikleri incelemek amacıyla kullanılan gelişmiş bir görüntüleme teknolojisidir. SEM, bir elektron demetinin incelenecek örnek yüzeyi üzerinde tarama yapması prensibine dayanır. Mikroskop, örnek yüzeyi üzerinde belirli bir noktadan başlayarak sıralı bir şekilde hareket eden ince bir elektron demeti kullanır. Elektronlar, örneğin içinden geçmek yerine, yüzeyine önceden kaplanmış ince bir metal tabakaya çarparak geri yansır. Yansıyan bu elektronlar bir dedektör tarafından algılanır, daha sonra sinyal yükselticiler aracılığıyla işlenir ve monitöre aktarılır. Bu süreç, örneğin yüzey özelliklerini yüksek hassasiyetle görselleştirmek için temel oluşturur. SEM, geniş bir büyütme aralığı ve yüksek derinlik alanı sunarak yüzey morfolojisi, çatlaklar, gözenekler ve diğer mikroyapısal detayların detaylı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır (Karakoç ve ark. 2016). Şekil 2’de Quanta 450 FEG taramalı elektron mikroskobu verilmiştir.



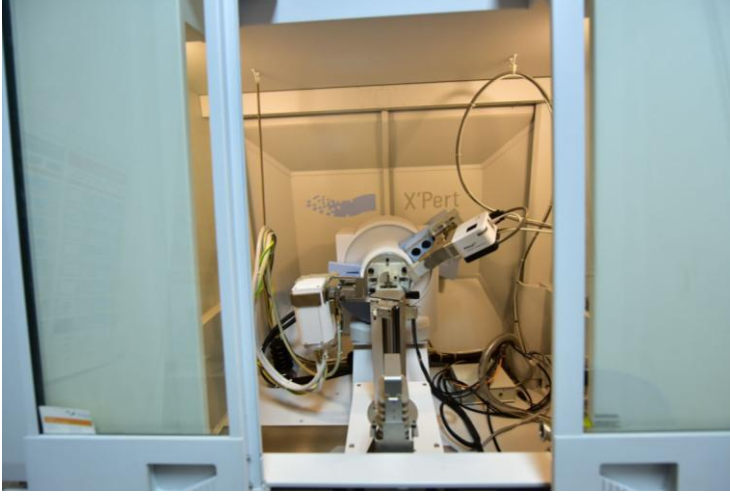
Şekil 2. Quanta 450 FEG taramalı elektron mikroskobu

Kaynak:Liu ve ark. 2020

1.2. X-Işını Difraksiyon (XRD) Testleri

X-ışını kırınım analizi (XRD), X-ışınlarının kristallerin atomik düzlemleriyle etkileşerek kırınımına uğramasını inceleyen bir tekniktir. Her kristalin kendine özgü atomik yapısı, X-ışınlarının farklı açılarda kırınım yapmasına neden olur ve bu kırınım desenleri, kristalin kimyasal bileşim ve faz yapısının tanımlanmasını sağlayan bir tür "parmak izi" olarak kullanılır. Difraksiyon, ışık veya X-ışınlarının bir engelin kenarından veya küçük bir açıklıktan geçerken dağılması ve kırılması olayına dayanır. Difraktometre sayesinde bu materyallerin bu parmak izi belirlenmiş olur. XRD, numunenin tahrip edilmeden analiz edilmesine olanak tanır ve çok az miktardaki malzeme ile detaylı analiz yapılmasını mümkün kılar. Bu yöntem, faz kompozisyonu, kristal yapı, kristalit boyutu ve malzemedeki makro ve mikro gerilimlerin belirlenmesi gibi geniş bir yelpazede bilgi sunar.

X-ışını demeti, Bragg-Brentano geometrisi temel alınarak numune yüzeyine yönlendirilir ve yansıyan ışınlar analiz edilir. X-ışınlarının numunedeki kristal düzlemlerle etkileşimi sonucu oluşan kırınım açısı ve yoğunluk verileri, kristal yapı ve faz analizi için kritik bilgiler sağlamaktadır (Karakoç ve ark., 2016; Kurdiş, 2023). Şekil 3'te Panalytical Philips X'Pert PRO marka XRD cihazı örnek bir cihaz olarak verilmiştir.



Şekil 3. Panalytical Philips X'Pert PRO marka XRD cihazı

Kaynak: <https://ingv.it/en/ingv-newsletter-n-03-2022-year-xvi/the-x-pert-pro-diffractometer>, 2024

2. Mekanik Testler

Mekanik testler, kompozit malzemelerin farklı yükleme koşulları altındaki tepkilerini değerlendirir. Bu testler, malzemelerin mukavemet, rijitlik ve dayanıklılık gibi özelliklerini belirlemek için kullanılır. Çekme dayanımı testi, basma testleri, eğilme dayanımı testi, darbe dayanımı testi, yorulma testleri mekanik testler grubundadır ve sıklıkla kompozitlerin mekanik davranışlarını belirlemek için kullanılan test metodlarıdır.

Yapılan mekanik testler sayesinde, çatlak ilerlemesi, delaminasyon ve fiber kırılması gibi hasar mekanizmaları belirlenebilir. Test sonuçları sayesinde, farklı uygulamalar için en uygun malzeme seçimi ve optimizasyonu kolaylaşır. Yapılan mekanik testlerin bir diğer yararı ise, kompozitlerin uygulama sırasında güvenilirliğini artırmak için tasarım parametrelerinin optimize edilmesine yardımcı olur.

Mekanik testler, kompozit malzemelerin farklı yükleme koşulları altındaki davranışlarını detaylı bir şekilde analiz etmeyi

sağlar. Bu yöntemler, çeşitli mühendislik çalışmalarının da temelini oluşturur.

2.1. Çekme Dayanımı Testi (Tensile Strength Testing)

Çekme testleri, kompozit malzemelerin çekme kuvvetleri altındaki davranışlarını değerlendirmek ve gerilme mukavemeti, elastik modülü ve kırılma uzaması gibi özelliklerini analiz etmek için kullanılır. Testin yapılışında ASTM D 638M standardı kullanılır. Çekme özelliklerinin belirlenmesinde, malzemenin yatay yönde uygulanan kuvvete karşı direnci ölçülür. Test numunesine yatay yönde kontrollü bir kuvvet uygulanarak kopma noktasına kadar, numunenin kuvvet karşısındaki uzaması ölçülür. Ölçüm sonucunda gerilim - gerinim eğrisi elde edilir. Elde edilen veriler, malzemenin elastik modülü, çekme mukavemeti ve kopma uzaması gibi mekanik özelliklerini belirlemeye yardımcı olur. Test sonucunda elde edilen maksimum çekme dayanımı değeri, malzemenin kırılmadan önce taşıyabileceği en yüksek çekme yükünü göstermektedir. Çekme dayanımı testi sonuçları, kompozit malzemelerin mekanik performansını anlamak için kritik veriler sağlar. Bu sonuçların dikkatlice yorumlanması, malzemenin tasarım gereksinimlerine uygun olup olmadığını belirlemek, üretim süreçlerini iyileştirmek ve daha güvenilir ve dayanıklı yapıların geliştirilmesine katkıda bulunmak için önemlidir (*Shanmugam ve ark. 2021; Özgür, 2022*). Şekil 4'te Zwick Roell Z010 Çekme test cihazı verilmiştir.



Şekil 4. Zwick Roell Z010 Çekme test cihazı

Kaynak: Özgür,2022

2.2. Basma Testleri (Compression Testing)

Kompozit malzemelerde basma testi, malzemenin sıkıştırma yüklerine karşı mekanik performansını değerlendirmek için kullanılan temel test yöntemlerinden biridir. Bu test, kompozit malzemelerin sıkıştırma kuvvetleri altındaki deformasyon davranışını, dayanım sınırlarını ve olası başarısızlık modlarını belirlemek için yapılır. Basma testi, özellikle havacılık, otomotiv ve inşaat sektörlerinde kullanılan kompozitlerin tasarım ve performans analizinde kritik bir rol oynar.

Basma testlerinde, numune eksenel bir basma yüküne maruz bırakılır ve malzemenin basma mukavemeti, elastik modülü ve deformasyon özellikleri incelenir. Kompozit fiber yapıların basınç altında maruz kaldığı hasar mekanizmaları, fiberlerin yapısal özellikleri ve kırılma davranışları detaylı şekilde incelenir. Bu

hasarlar, mikro burkulma, fiber kıvrılması, boyuna çatlaklar ve reçine zengin bölgelerde gözlemlenen nehir desenleri gibi karakteristik özelliklerle kendini göstermektedir. ASTM D6641 standardı, polimer matris kompozit malzemelerin basma özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan bir test yöntemidir. Bu testler, kompozitlerin stabilite ve deformasyon özelliklerini anlamada kritik öneme sahiptir. Basma dayanımı testi, kompozit malzemelerin yapısal bütünlüğünü ve sıkıştırma yükleri altındaki güvenilirliğini değerlendirmek için vazgeçilmez bir araçtır. Test sonuçlarının dikkatli bir şekilde analiz edilmesi hem tasarım süreçlerini hem de uygulamalarda malzeme performansını iyileştirir (Shanmugam ve ark. 2021; Zimmermann ve Wang, 2020). Şekil 5'te ADMET basma test cihazı görülmektedir.



Şekil 5. ADMET Basma test cihazı

Kaynak: <https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/astm-d6641-composite-compression-testing>, 2024

2.3. Eğilme Dayanımı Testi (Flexural Strenght Testing)

Eğilme testleri, kompozit malzemelerin eğilme yüklerine karşı gösterdiği mekanik davranışların değerlendirilmesi amacıyla kullanılan temel yöntemlerden biridir. Bu testler, genellikle üç nokta veya dört nokta eğilme testleri şeklinde gerçekleştirilir ve numunenin eğilme mukavemeti, elastik modülü gibi özelliklerini belirlemek için uygulanır. ASTM D790 standardı, kompozit malzemelerin eğilme özelliklerinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan bir test yöntemidir.

Eğilme testleri, 100 kN kapasiteli elektronik kontrollü bir cihaz ve gerekli bağlantı elemanları ile yapılmaktadır (Şekil 6). Numune, iki destek noktası arasındaki mesafenin 110 mm olacak şekilde yerleştirilir ve numunenin üst merkezine 2,95 mm/dk hızla yük uygulanarak eğilmesi sağlanır. Test sırasında, uygulanan yük karşısında oluşan sapma değerleri belirli bir çapraz başlık hızında ölçülür. Test, numunenin kırılmasına kadar devam eder ve her bir numune için test birkaç kez tekrarlanarak ortalama değerler elde edilir. Testler, oda koşullarında gerçekleştirilir. Eğilme performansını, baskı parametreleri (katman kalınlığı ve dolgu yoğunluğu) ile fiber oranı gibi değişkenler önemli ölçüde etki etmektedir (Bahçe ve ark. 2023; Rajasekar ve ark. 2018; Leblebiciier ve Asi, 2022; Shanmugam ve ark. 2021).



Şekil 6. MTS Insight universal eğilme test cihazı

Kaynak: Rajasekar ve ark. 2018

2.4. Darbe Dayanımı Testleri (Impact Strenght Testing)

Darbe testleri, kompozit malzemelerin ani ve hızlı yükler altındaki mekanik davranışlarının değerlendirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Bu testler, darbe sonucu meydana gelen iç ve yüzey hasarlarının analiz edilmesini sağlar ve kullanım sırasında karşılaşılabilecek alet düşmeleri, yabancı cisim çarpmaları gibi durumların etkilerini simüle eder. Test ASTM D7136 standardına göre uygulanan, düşük hızlı darbe dayanımını ölçmek için yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir. Test yöntemi, belirli bir enerji seviyesine sahip bir sarkaç veya düşen ağırlık yardımıyla numuneye darbe uygulanması ve malzemenin darbe enerjisini absorplama kapasitesinin ölçülmesi esasına dayanır. Bu ölçüm, özellikle otomotiv ve havacılık gibi darbelere maruz kalan uygulamalar için kritik öneme sahiptir (Shanmugam ve ark. 2021; Sarasini ve ark. 2013). Şekil 7’de darbe testlerinde kullanılan, CEAST Fractovis Plus model darbe test cihazı görülmektedir.



Şekil 7. CEAST Fracovis Plus darbe dayanımı test cihazı

Kaynak: Önal ve Temiz, 2021

2.5. Yorulma Testleri (Fatigue Testing)

Numunenin belirli bir yükleme döngüsüne dayanma kapasitesi yorulma ömrü olarak tanımlanır. Kompozit malzemelerin tekrarlı yükler altındaki davranışlarını değerlendirmek amacıyla uygulanan yorulma testleri, bu malzemelerin yorulma ömrünü, hasar mekanizmalarını ve çatlak ilerleme hızlarını analiz etmek için önemli bir yöntemdir. Bu testlerde, numune belirli bir frekans ve genlikte tekrarlayan yüklemelere tabi tutulur. ASTM D3479 standardı, kompozit malzemelerin yorulma özelliklerini belirlemek için kullanılan yaygın bir test yöntemidir.

Elektronik kontrollü bir yorulma test cihazı kullanılarak, numuneye sürekli ve sabit bir çekme yükü uygulanır. Numune, belirli bir frekansta sabit yükleme döngüsüne maruz bırakılır. Bu döngüler sırasında numunenin gerilme-yorulma dayanımı ölçülür. Test, numunenin kırılmasına kadar veya önceden belirlenmiş bir döngü sayısına ulaşana kadar devam eder. Şekil 8’de MTC Landmark yorulma test cihazı verilmiştir. Yorulma testleri, kompozit malzemelerin tekrarlanan yükler altında gösterdiği performansı anlamak için hayati bir test yöntemidir. Elde edilen test sonuçları ile, malzemenin uzun ömürlülüğü ve güvenilirliği hakkında önemli bilgiler verir. Yüksek yorulma ömrü, malzemenin uzun vadeli dayanıklılığını ve yapısal güvenilirliğini gösterir. Düşük yorulma ömrü, içsel zayıflıkların, üretim kusurlarının veya tasarımın yetersizliğinin bir göstergesi olabilir. Bu bilgiler hem malzeme seçiminde hem de uygulama alanlarında yüksek performanslı ve güvenilir yapılar tasarlamak için kullanılır (Sharma ve ark., 2023; Singh, 2022). Yorulma testlerinden elde edilen veriler, tasarım parametrelerinin optimize edilmesine olanak tanır. Malzemenin kritik uygulamalarda güvenle kullanılabilmesini sağlar. Üretim sırasında meydana gelebilecek hataları tespit etmek ve iyileştirmek için kullanılır.



Şekil 8. MTS Landmark yorulma test cihazı

Kaynak: Ren ve ark. 2024

Sonuç

Kompozit malzemeler, belirli mekanik özelliklere ve uygulama gereksinimlerine göre tasarlanan matris ve takviye malzemelerinden oluşan yapılardır. Takviye malzeme özellikleri, kompozit malzemelerin temel bileşenleri olup, mekanik yüklerin büyük bir kısmını taşırlar ve kompozit yapının dayanıklılığını, malzeme performansını doğrudan etkilerler.

Günümüzde, mühendislik alanındaki yenilikler ve araştırmalar, sayesinde üstün nitelikli kompozit malzemelerin geliştirilmesi hızlanmıştır. Bununla birlikte, mevcut kompozit malzemelerin özelliklerinin optimize edilmesi de, yeni malzeme geliştirme süreçlerinde karşılaşılabilecek zorlukların ve kaynak

israfının önüne geçmek için etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada üretilen kompozitlerin üstün niteliklerinin belirlenmesi amacıyla, kompozitlere uygulanan testler hakkında bilgiler verilerek, özellikle mikroyapısal ve mekanik testler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan testler sayesinde, kompozit malzemelerin mühendislik uygulamalarında güvenilirliği artacak, malzeme tasarım süreçleri iyileşecek, performans gereksinimlerine uygun malzeme seçimi kolaylaşacaktır.

Kaynaklar

Bahçe, E., Özdemir, B., & Önal, T. (2023). Sıcak Pres CETP Kompozit Panellerin Eğilme Performansları Üzerine Deneysel ve Teorik Çalışmalar. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 6(3), 229-234.

doi: 10.34248/bsengineering.1255266

Diltemiz, S. F., & Eroğlu, E. (2023). Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Termografik Muayene ile Kontrolü. *Demiryolu Mühendisliği*, (17), 186-198.

doi: 10.47072/demiryolu.1202657

<https://ingv.it/en/ingv-newsletter-n-03-2022-year-xvi/the-x-pert-pro-diffractometer>, 2024

<https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/astm-d6641-composite-compression-testing>, 2024

Karakoç, Z., Ketani, M. A., & Ketani, Ş. (2016). Mikroskopların çalışma mekanizması ve çeşitleri. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, (1), 1-6.

Kurdiş, M. M. (2023). Nanopartikül katılmış pan nanofiberler ile güçlendirilmiş termoplastik kompozitlerin üretimi, X-ışını ve elektromanyetik dalgaların soğurulması. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, Türkiye.

Leblebicier, B., & Asi, O. (2022). Pultrüzyon Yöntemi ile Üretimi Yapılan Kompozit Malzemelerin Sıcaklık Şoku Testi Sonucunda Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-10.

doi: 10.47137/usufedbid.1119797

Liu, Z., Zhang, L., Liu, G. R., Li, W., Li, S., Wang, F., ... & Han, L. (2020). Material constituents and mechanical properties and

macro-micro-failure modes of tight gas reservoirs. *Energy Exploration & Exploitation*, 38(6), 2631-2648.

doi: 10.1177/0144598720913069

Madhu, P., Sanjay, M. R., Jawaid, M., Siengchin, S., Khan, A., & Pruncu, C. I. (2020). A new study on effect of various chemical treatments on Agave Americana fiber for composite reinforcement: Physico-chemical, thermal, mechanical and morphological properties. *Polymer Testing*, 85, 106437.

doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106437

Önal, T., & Temiz, Ş. (2021). Balsa çekirdekli sandviç kompozitlerin darbe davranışlarının deneysel olarak incelenmesi. *El-Cezeri*, 8(1), 333-345.

doi: 10.31202/ecjse.797049

Özgür, E. (2022). Bazalt, Karbon Kumaş Takviyeli Parçacık Katkılı Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik, Isı ve Ses Yalıtım Özelliklerinin Optimizasyonu. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, Türkiye.

Rajasekar, B. R., Asokan, R., Senbagan, M., & Karthika, R. (2018). Evaluation on mechanical properties of intra-ply hybrid carbon-aramid/epoxy composite laminates. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 25323-25330.

Ren, Y., Shi, J., Zhou, L., & Peng, S. (2024). Experimental study on flexural fatigue resistance of fiber-reinforced sustainable walnut shell ash mortar. *Discover Applied Sciences*, 6(11), 600.

doi: 10.1007/s42452-024-06334-x

Sarasini F, Tirillo J, Valente M, Ferrante L, Cioffi S, Iannace S, Sorrentino L. (2013). Hybrid composites based on aramid and basalt woven fabrics: Impact damage modes and residual flexural properties, *Materials and Design*, 49, 290–302.

doi: 10.1016/j.matdes.2013.01.010

Shanmugam, V., Rajendran, D. J. J., Babu, K., Rajendran, S., Veerasimman, A., Marimuthu, U., ... & Ramakrishna, S. (2021). The mechanical testing and performance analysis of polymer-fibre composites prepared through the additive manufacturing. *Polymer testing*, 93, 106925.

doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106925

Sharma, N., Singh, K. K., & Ansari, M. T. A. (2023). Fatigue life assessment of GFRP composite laminate under axial and transverse fatigue loading. *Materials Today: Proceedings*.

doi:10.1016/j.matpr.2023.05.357

Singh, D., Dharshan, G. V., Akshay, A., Kumar, R. R., Gaur, P., Ganesan, C., ... & Nisha, M. S. (2022). Investigation of fatigue behavior of Kevlar composites with nano-Graphene filled epoxy resin. *Materials Today: Proceedings*, 62, 773-780.

doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.674 2214-7853

Şenel, M. C. (2020). Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen saf Al ve Al-B₄C, Al-Al₂O₃ kompozitlerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 783-795.

doi: 10.17714/gumusfenbil.689359

Towsyfyhan, H., Biguri, A., Boardman, R., & Blumensath, T. (2020). Successes and challenges in non-destructive testing of aircraft composite structures. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33(3), 771-791.

doi: 10.1016/j.cja.2019.09.017

Var, C. (2021). Karbon kumaş takviyeli hibrit kompozit yapıların mekanik özelliklerinin araştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, Türkiye

Zimmermann, N., & Wang, P. H. (2020). A review of failure modes and fracture analysis of aircraft composite materials. *Engineering failure analysis*, 115, 104692.

doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104692

Zor, M., Görgün, H. V., & Vaziri, M. (2021). X-ışını Kırınımı (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Kullanılarak Kaynaklanan Gökna, Meşe ve Kestane Odununun Yapısal Karakterizasyonu. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3), 871-877.

doi:10.24011/barofd.989542

BÖLÜM III

Kompozitlerde Kullanılan Doğal ve Kesikli Tekstil Lif Takviyeleri

Emel Ceyhun SABIR¹

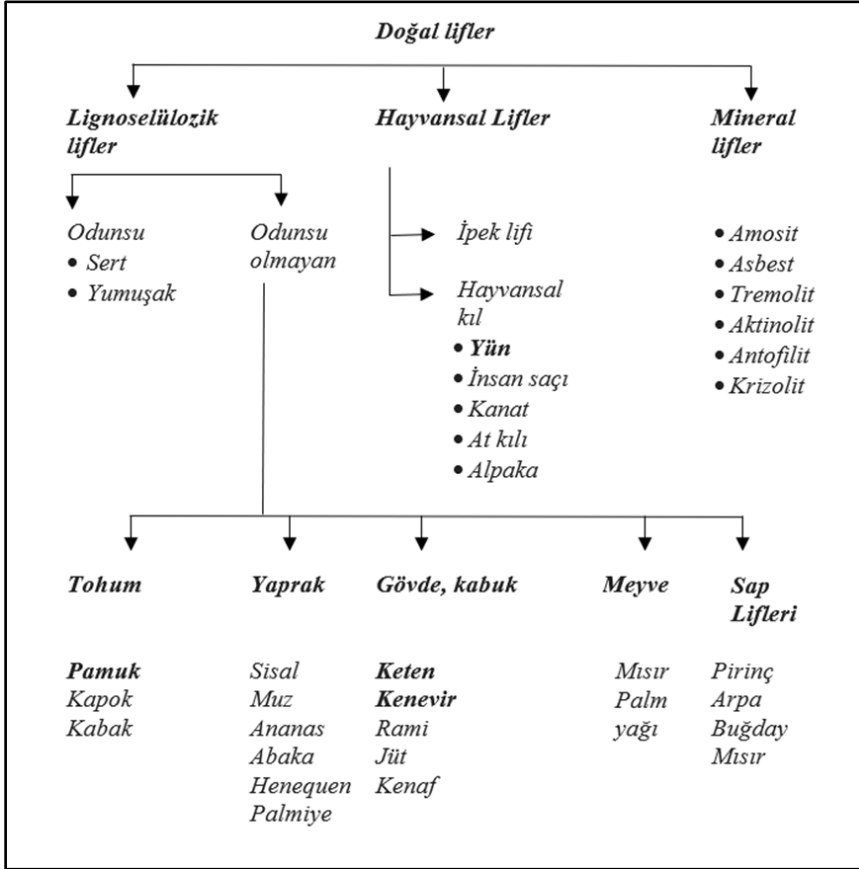
1.Giriş

Dünya genelinde, malların üretimi ve ilgili çevre mevzuatları sırasında yenilenemeyen kaynakların kullanımı konusunda endişe verici endişeler olmuştur. Bu nedenle, doğal malzemelerin kullanımı ve bunlardan kompozitlerin üretilmesi, özellikle doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin geliştirilmesi önemli ölçüde ilgi görmektedir (Balla ve ark. 2019). Kompozit teknolojisi denince ilk akla gelen çok uzun zamandır, cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozitlerdir. Kompozit malzemelerin üstün performans özellikleri CTP ile rahatlıkla karşılanabilmektedir. Günümüzde küresel ısınma, su ve diğer doğal kaynakların kirlenmesi gibi çevresel etkiler, kaynakların ulaşılabilirliği ve yeterince

¹ Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye, Orcid: 0000-0002-2385-1524, emelc@cu.edu.tr; emelceyhun@gmail.com

karşılanabilirliği, sürdürülebilirlik, geri dönüşüm, hafiflik gibi nedeler kompozitlerde takviye malzemesi olarak doğal liflere olan ilgiyi artırmış hatta ihtiyaç haline gelmiştir. Doğal lif takviyeli kompozitlere olan bu ihtiyaç, çevre dostu üretimleri, ayrışmaları, yüksek özgül mukavemetleri, bol miktarda bulunmaları, iyi fiziksel ve mekanik özelliklerinin keşfedilmesi gibi nedenlerle giderek daha büyük bir hızla artmaktadır. Doğal liflerin pekçoğu tekstil lifleridir ve tekstil teknolojinde kullanımları konvansiyonel liflerdir. Doğal lifler, cam elyafı gibi kompozit takviyesi olarak kullanılan liflerden daha dezavantajlı bazı özelliklere sahiptirler. Kompozit malzemelerde öncelikle su emicilik istenmez ki pekçok tekstil doğal lifi su emici (hidrofilik) özelliğe sahiptir. Ayrıca doğal tekstil lifleri kompozite takviye edilirken reçineye tutunmada ve reçineyi bünyeye almada (arayüzde) lifin üstindeki yapısal bazı bileşenlerden dolayı zorluk çıkarır. Ayrıca yapıda kesikli lif oldukları için homojen dağılım problemi de çıkarmaktadırlar. Lifin boyunda yapısında ve kesit alanında da heterojen yapı görülebilmekte ve bu durum kompozit malzeme yapısında topaklanma, düzgün yayılmama, hava kabarcığı ve süreksizlik gibi ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Ayrıca bahsedilen kesikli lif ve lifin boyuna yapısındaki değişim durumu kompozit imalatında üretim yöntemlerini de kısıtlamaktadır. Bütün bu olumsuz durumların giderilmesi için araştırmacılar literatüre önemli katkılarda bulunmaktadır. Örneğin arayüz tutunması problemini gidermek için, doğal life yüzey aşındırma işleminin uygulanması bir çözüm olmuştur. Lifin yüzey aşındırmasının yük taşıyıcı bileşen olan takviyede mekanik özelliklerde bir etkisinin olup olmadığı pekçok araştırmacı tarafından incelenmektedir. Dünyada ticari amaçlı üretilen bazı doğal lifler içerisinde en büyük payı şekerpancarı lifi alır (75000×10^3 ton). Bunu 30000×10^3 ton ile bambu lifi, 2300×10^3 ton ile jüt lifi, 830×10^3 ton ile keten lifi, 214×10^3 ton ile kenevir lifi izlemektedir (Camhilbo 2016). Şekil 1, doğal lif türlerini ve bunların sınıflandırılmasını gösterirken, Şekil 2, liflerin bazı örneklerini sergilemektedir. Doğal lifler içerisinde en yaygın olarak kullanılan tekstil lifleri; lingoselülozik liflerden odunsu olmayan tohum lifi

pamuk, gövde liflerinden keten ve kenevir ile hayvansal liflerden yün lifidir.



Şekil 1. Doğal liflerin sınıflandırması (Camhilbo, 2016)



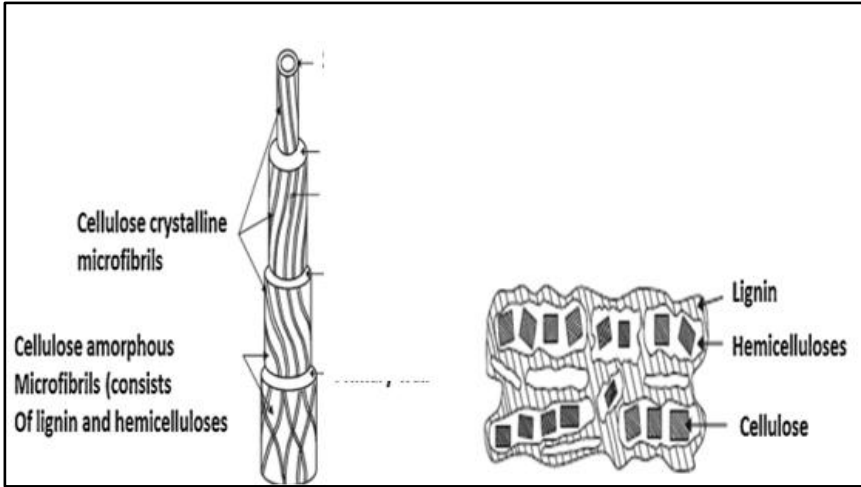
Şekil 2. A) Bambu lifi, a) Muz lifi c) Hindistan cevizi lifi, d) Pamuk, e) Kenaf, f) Keten g) Kenevir h) Jüt i) Isırganotu j) Palmiye bitkisi k) Rami l) Sisal (Textile Handbook 2001, Mohd ve ark. 2014)

2. Doğal Lif ve Kompozit

Kompozit malzeme yapısı en az iki bileşenden oluşur. Bu bileşenlerden birisi yük taşıyıcı görevi üstlenen takviye ve diğeri takviye malzemesini birarada tutan ve çevresel etkilere karşı yapının stabilitesini sağlayan matris bileşendir. Lif, kompozitte takviye bileşen görevini üstlenmektedir.

Lif denilince akla yaygın olarak kompozitten önce tekstil gelmektedir. Lif, tekstil materyalinin temel bir birimidir ve doğal ve sentetik olmak üzere iki büyük gruba ayrılabilir. Bu grup içerisinde bir kısım lifler tekstil lifi olarak kullanılabilir. Tekstil lifleri iplik eğirmede kullanılırlar. İpliklerden dokuma, örme ve dokusuz yüzey gibi tekstil yüzeyleri oluşturulur (Sondhelm, 2000). Doğal liflerden bazıları tekstil teknolojisinde tekstil lifi olarak da kullanılmakla birlikte kompozit sektörü için kullanılan pekçok doğal lif tekstil teknolojisinde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu sebeple doğal liflerin tamamının tekstil lifi olarak kullanılacağını düşünmek yanlış olacaktır. Tekstil lifi olarak kullanılabilmenin ilk şartı eğrilebilirliktir (SCI, İplik eğrilebilirlik indeksi). Kompozit

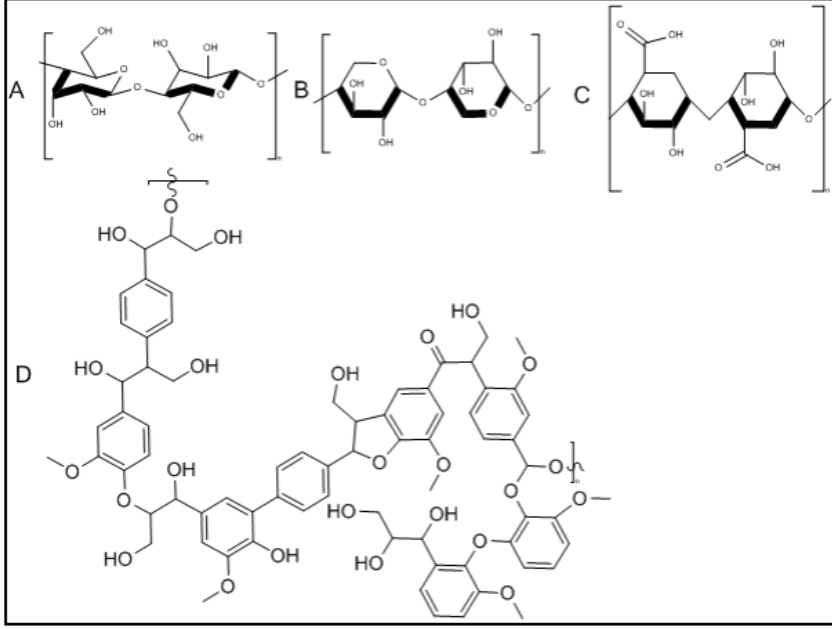
teknolojisinde kullanılan doğal liflerden pekçoğu tekstil lifi olarak kullanıma uygun değildir. Bu liflerin tekstil amaçlı kullanılabilmesi için bazı enzimatik işlemlerden geçirilmek durumunda kalabilirler ve aynı zamanda lif uzunluğu da eğrilmelerine uygun olmadığı zaman tekstil lifi olarak kullanılamazlar. Tabii ki liflerin morfolojik bazı özellikleri, mukavemeti, boyanabilirliği gibi pekçok faktör de tekstil lifi olarak kullanılabilmelerinde engel teşkil edebilir. Özellikle lingin maddesi eğrilebilirlikte oldukça etken bir maddedir. Doğal lifleri kompozit malzemesi olarak kullanmadan önce iç yapısındaki erken maddeleri iyi tanımak gerekir. Lifi yapısındaki selüloz üzerinde lingin ve hemiselüloz bölgeleri bulunur (Kabir ve ark., 2012; Rong ve ark, 2001). Bu bölümler aslında yapı gereği life doğal kompozit yapısı kazandırmaktadır. Kompozit içerisinde takviye görevi gören doğal liflerde yük taşıma görevi lingin ve hemiselülozca karşılanır (Bulut ve Erdoğan, 2011). Doğal liflerin yapısı şematik olarak lingin, hemiselüloz ve selüloz bölümleri Şekil 3'ten görülebilir.



Şekil 3. Doğal lif yapısı (Sanjay ve ark, 2019)

Doğal liflerde selüloz yarı kristalin bir polisakkarittir ve doğal liflerin hidrofilik yapısından sorumludur. Hemiselüloz, selüloza kıyasla daha düşük moleküler ağırlığa sahip tamamen amorf

bir polisakkarittir. Hemiselülozların amorf yapısı, suda ve alkali çözeltilerde kısmen çözünür olmasına neden olur ve pektin lifteki yapıları birarada tutan maddedir (Westman ve ark, 2010).



Şekil 4. Doğal lif yapısındaki maddelerin kimyasal gösterimi a) Selüloz b) Hemiselüloz c) Pektin d) Lignin

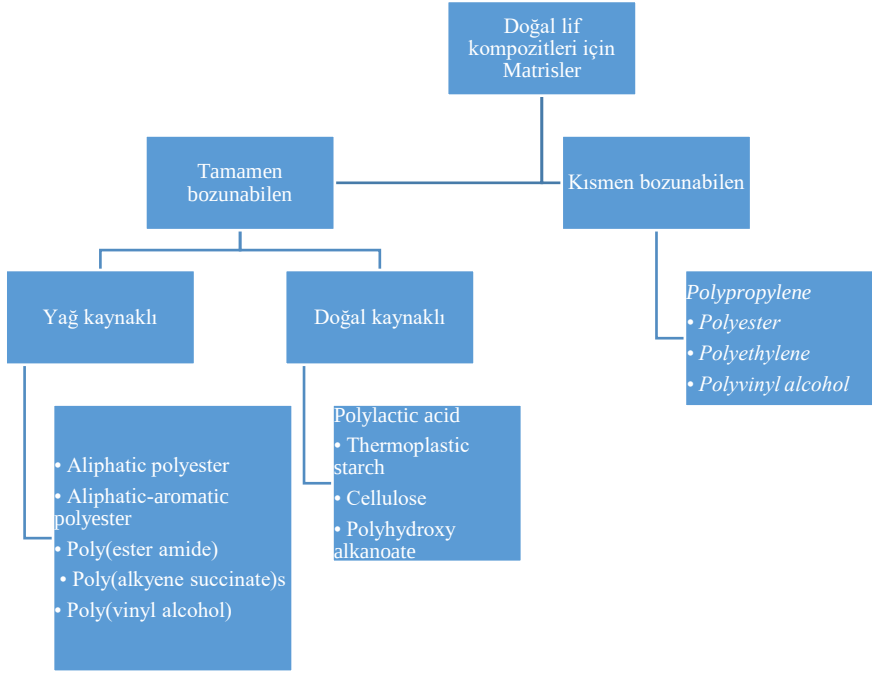
Çizelge 1, bazı doğal liflerin kimyasal bileşenlerini göstermektedir. En yaygın kesikli, doğal tekstil lifi olan pamuk referans alınarak tablo incelendiğinde, selüloz oranının oldukça fazla olduğu, lignin oranının çok düşük olduğu görülmektedir. Keten ve kenevir de belirgin şekilde benzer yapıdadır. Pamuk, keten ve kenevirin neden tekstil lifi olarak yaygın şekilde kullanıldığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 1. Bazı doğal liflerin kimyasal içeriği (Bulut ve Erdoğan 2011)

Lif	Selüloz (%)	Lignin (%)	Hemiselüloz (%)	Pektin (%)
Jüt	61–71,5	12–13	13,6–20,4	0,2
Keten	71	2,2	18,6–20,6	2,3
Kenevir	70,2–74,4	3,7–5,7	17,9–22,4	0,9
Rami	68,6–76,2	0,6–0,7	13,1–16,7	1,9
Kenaf	31–39	15–19	21,5	2
Sisal	67–78	8–11	10,0–14,2	10,0
Hindistan cevizi	36–43	41–45	0,15–0,25	3–4
Pamuk	82–96	0,5–1	2–6	5–7
Abaca	61–64	12	21	0,8
Ananas yaprağı	80–81	4,6–12	16–19	2–3
Muz lifi	60–65	5–10	6–19	3–5

Doğal lifler, kesikli tekstil lifleri kompozit malzemede takviye görevi gören bileşen olarak yer alır. Çok çeşitli doğal lifler olduğu gibi pekçok matris malzemesi kompozit sanayinde kullanılmaktadır.

Doğal liflerin, özellikle de tekstil liflerinin kompozit alanında kullanımı; atık değerlendirmesi, çevresel faktörler, dünya kaynaklarının verimli kullanımı, hafiflik gibi parametreler nedeniyle geri dönüştürülebilir, yenilenebilirlik gibi nedenlerden ötürü diğer kompozit bileşenlerinin de geri dönüştürülebilir malzemelerden seçilebilmesini gerekli kılmıştır. Bu sebeple doğada çözünebilir doğal liflerle doğada tamamen veya kısmen çözünebilir matrisler birlikte kullanılarak yeşil kompozit malzemeler imal edilebilir. Tekstil lifleri ile birlikte kullanılabilen matris malzemeleri Şekil 5’de görülmektedir. Bu matrisler tamamen bozunabilen veya kısmen bozunabilen şeklinde ikiye ayrılabilir.



Şekil 5. Doğal lif kompozitleri için Matrisler (Gholampour ve Ozbakkaloglu 2020).

2.1. Kompozit Üretiminde Doğal Lif Kaynaklı Zorluklar

Kompozit teknolojisi büyük ölçüde çevresel ve mekanik etkilere karşı dayanımı yüksek malzeme üretimine odaklanmıştır. Doğal lif takviyeli kompozitlerde doğal liflerin yük taşımada ve mekanik mukavemette çok tercih edilmediği bilinmektedir. Bu nedenle uzun zamandır doğal lif takviyeli kompozitlere yönelik çalışmalar sınırlı kalmıştır. Ancak bu tür kompozitlerin yük taşıma ve mekanik etkiler konusunda üstün beklentilerin olmadığı kullanım alanlarında tercih edilebileceği, liflerde ilgili bazı teknik düzenlemelerin bahsedilen zorlukları azaltabileceği son yıllarda artan çalışmalarla ortaya konulmaya başlanmıştır (Campilho 2016). Doğal lif takviyeli kompozitlerdeki zorluklar sadece mekanik

beklentilerle sınırlı değildir. Bu malzemeler için en büyük zorluk nem alabiliyor olmalarıdır. Doğal liflerin hidrofilik yapısı onları su emilimine yatkın hale getirir ve hidrofobik polimer matrislere zayıf yapışmaya yol açar (Campilho 2016). Ayrıca darbeye karşı direncin düşük olması, üretim süreçlerindeki sınırlar, lif-matris uyumluluğu diğer zorluklar arasındadır. Araştırmacılar bu zorlukların kaplamaların uygulanması, lif yüzey işleme teknolojisi, yeni reçineler ve katkı maddelerinin dahil edilmesi gibi çözümlerle aşılabileceğini göstermiştir. Lif modifikasyonu genellikle alkalileştirme sürecini içerir, bu da selülozun hidrojen bağlama kapasitesini azaltır ve buna karşılık açık hidroksil gruplarının su molekülleriyle bağlanmasını iptal eder. Bu işlem aynı zamanda liflerin daha az hidrofilik olmasına yardımcı olan hemiselülozu ortadan kaldırır (Campilho 2016).

Malzemelerin fiyatı, doğal lif kompozitlerin pazardaki konumunun ve genel potansiyelinin değerlendirilmesi için de önemli bir konudur. Özellikle inşaat sektöründe, hammaddelerin maliyeti toplam maliyetlerin %60 ila %75'i arasında bir paya sahiptir ve bu nedenle, malzemelerin doğru seçimi, üzerinde düşünülmesi gereken önemli bir konudur (Dittenber ve GangaRao, 2012). Başka bir alternatif ise Duralin buhar işlemi gibi görünmektedir. Bu işlem aldehit ve fenolik ile su ortamlarında nem alımının ve malzemede difüzyonun önemli ölçüde azaltılmasını sağlar. Böylece lif mukavemeti, sünekliği ve mantarlara karşı direnc ve boyutsal kararlılık artar (Bismarck ve ark. 2005).

Doğal lifler ve doğal lif kompozitleri, hammadde maliyetlerin azaltılması, daha düşük ağırlık, daha kısa çevrim süreleri ve sürdürülebilirlik açısından inşaat, otomotiv dışında biyomedikal gibi çeşitli endüstrilerdeki araştırmacıların dikkatini çekmektedir (Saheb ve Jog, 1999). Geleneksel plastik bazlı ambalajların kullanımı, çevresel endişeleri artıran büyük miktarda belediye katı atığına yol açmıştır (Silva ve ark. 2024). Hızlı kentleşme ve ekonomik büyüme nedeniyle belediye katı atık miktarının 2025 yılına kadar yılda 2200 milyon tona önemli ölçüde artabileceği tahmin edilmektedir (Chen ve ark. 2022). Bu ve benzer

nedenlerden ötürü cam veya diğer sentetik lif türlerinin yerini pamuk, keten, kenevir ve jüt doğal lifleri alabilir. Bu tekstil lifleri gerçekten de çevre dostu olma, ham maddelerin yenilenebilirliği, geri dönüştürülebilirlik, toksisite olmaması ve CO₂ salınımı konusunda yapay liflerden daha iyi durumdadır.

Doğal ve kesikli tekstil lifi takviyeli kompozitler, inşaat mühendisliği, araçlar, paketleme ve diğer alanlardaki potansiyelleri nedeniyle son yıllarda endüstri ve araştırmacılar tarafından çok fazla ilgi görmektedir. Bunun nedeni, düşük maliyet, düşük yoğunluk (ve dolayısıyla yüksek özgül özellikler), çevre dostu olma, işleme avantajları ve tüm yaşam döngüsünde CO₂ emisyonlarının azaltılması gibi özelliklerdir. Bu gerçeklere rağmen, düşük mekanik özellikler ve tokluk; özellik değişimleri, sıcaklığa, neme ve UV radyasyonuna duyarlılık ve yangına dayanıklılık gibi bazı zorlaştırıcı sınırlamalar kullanımda kısıtlamaya neden olur. Bu sınırlamalardan bazıları, dış mekân uygulamalarındaki tipik kısa ömürle ilgilidir. Belirgin fiziksel ve mekanik özelliklere sahip çok çeşitli lifler mevcuttur. Bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğu, bu malzemelerin endüstri uygulamalarında kullanımının uygulanabilirliğine odaklanmış olup, ümit verici sonuçlar elde edilmiştir.

Mekanik özellikler, dayanıklılık, ısı ve ses iletimi araştırmanın ana odak noktası olup, uygun işlemlerle geliştirilme ve iyileştirme için birçok çözüm bulunmuştur. Keten, kenevir lifleri özellikle etkileyici spesifik mekanik özellikler gösterir. Lif-matris yapışması mekanik özellikleri belirleyen ana faktördür. Nem emilimi ayrıca lifleri kaplayarak veya yüzeylerini değiştirerek en aza indirilebilmektedir. Lif özelliklerindeki değişkenliği önlemek daha zordur. Doğal kompozitler, sentetik kompozitler için mevcut olan yöntemlerle rahatlıkla üretilebilir. Biyo reçineler de önemli olmakla birlikte doğal liflerle uyumlulukları konusunda bazı sınırlamalar vardır. Bu sorun uygun şekilde ele alınırsa, tam bir ekolojik çözüm elde edilebilir. Doğal kompozitler, malzeme bilimi için büyük bir zorluktur. Günümüzde sentetik kompozitler kadar maliyet açısından verimli olmasalar da doğal lif takviyeli kompozitler maliyetleri

azalmaktar ve performansları giderek artmakta, böylece yakın gelecekte en ekolojik çözüm olmanın ötesinde, en ucuz çözüm olabileceklerdir. Doğal kompozitlerin diğer tüm malzemelerden (örneğin ahşap) daha çevre dostu olduğu varsayılmamalı, yaşam döngüsü analizleri, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında %20 ila %40 arasında enerji gereksinimi olduğu gözden kaçırılmamalıdır (Camhilpo, 2016). Doğal lif kompozitler, özellikle Avrupa'da, konuyla ilgili kamuoyu ve mevzuat nedeniyle daha fazla ilgi ve uygulama görmektedir. Bu malzemelerin kullanımı, yenilenemeyen kaynakları ve gezegeni korumak için önemli görülmektedir.

2.2. Yüzey Aşındırma Metotları

Doğal liflerin matris ile tutunmasını kolaylaştırmak için liflerin yüzeyine işlem uygulanmaktadır. Bu amaçla pekçok metot olmasının yanı sıra en çok uygulanan metotlar, Sodyumhidroksit metodu (NaOH), Asetik asit (CH_3COOH) uygulaması ve silan(SiH_4) uygulaması şeklindedir. En yaygın olanı doğal liflerin NaOH ile işlenmesidir (Reddy ve ark. 2009; Sentharamaikannan ve Kathiresan, 2018). Bu uygulamalarda seçilen tekstil lifi, değişik konsantrasyonlarda hazırlanan yüzey aşındırma çözeltisinde tutulması, derişik asetik asit çözeltisi ile durulanması ve pH'ın 7 ye ayarlanması şeklinde gerçekleşir. Bu oranlar NaOH için %1 ila %15 arasında değişmektedir (İslam ve ark, 2024).

3.Doğal ve Kesikli Tekstil lifleri

Tekstil lifleri şekilsel olarak kesikli ve kesiksiz lifler olarak ikiye ayrılabilir. Doğal tekstil lifleri doğadan doğal yollarla elde edilen bir bitkisel (pamuk, keten, kenevir gibi) veya hayvansal lifler (yün) gibi liflerdir. Kesiksiz lifler ise doğal kaynaklardan kimyasal bir süreç sonucu bir teknoloji yoluyla sağılma benzeri yöntemlerle elde edilen uzun filament adı verilen liflerdir. Kesikli doğal lifler gibi kesiksiz doğal lifler de kompozit teknolojisinde kullanılabilirler.

3.1. Pamuk Lifi

Pamuk, dünyada ilk kullanıma sahip çok özel bir lif türüdür. Pamuk lifi en çok yönlü tekstil liflerinden biridir ve yaklaşık %90-93 oranında *Gossypium* cinsine, *Hibisceae* alt kabilesine ve *Malvacea* familyasına ait selülozdan oluşur (Rahman ve ark, 2023). Pamuk lifi, bir tekstil lifi olarak düşük yoğunluğu, yüksek kristalliliği ve sentetik liflere göre yüksek darbe direnci, biyolojik olarak parçalanabilirliği, yüksek mukavemeti, dayanıklılığı ve nem emiciliğinin yüksekliği gibi üstün özelliklere sahiptir. En iyi bilinen ve en çok tercih edilen bir doğal lif olan pamuk doğal lif destekli kompozitte de iyi bir güçlendirici takviye malzemesidir. Pamuğun kristalin ve fibriler yapısı, olağanüstü dayanıklılık sağlar (Wankhede ve ark. 2023). Pamuk iyi ısı iletkenliğine, esnekliğe ve elastikiyete sahiptir. Pamuk takviyeli kompozitler, inşaat ve otomotiv alanlarında tercih edilen ürünler olarak kullanılabilir. Pamuk polimer kompozitler yüzey işlemleri uygulandığında çekme mukavemeti, kopma uzaması, sertlik vb. gibi iyileştirilmiş mekanik özelliklere sahip olabilmektedirler (Radoor ve ark. 2022). Pamuk lifinin hidrofilitesi yüksektir. Mukavemette iyi bir lif olsa da kompozit için gereken düşük nem alma özelliği iyi değildir. Bu nedenle pamuk lifinin üstün mukavemet ve hafiflik özelliğinin kullanılabileceği ancak nem almayı engellenen PLA kaplama ile ambalaj sanayiinde kullanılabileceği yönünde başarılı çalışmalar mevcuttur (Silva ve ark. 2024). Tekstil lifi olarak en yaygın ve cazip lif olan pamuk lifine yönelik kompozit takviye araştırmaları devam etmektedir (Bajpai ve ark. 2015). Özellikle tekstil atıklarının geri dönüşümü, sürdürülebilirlik, kaynak tasarrufu gibi konulardan ötürü daha da artması beklenmektedir. Pamuk yetiştiriciliğinin sezonluk takip gerektirmesi, iklim olarak stratejik bir iklim seçiciliğinin bulunması, tohum ve gübre ihtiyacı, sulama, zirai mücadele, toplanması için insangücü veya mekanizasyon gerektirmesi gibi nedenlerden ötürü maliyetli bir üretim alanıdır. Bu sebeple pamuk kompozit teknolojilerinde maliyet açısından doğrudan tercih edilmesini zorlaştırmaktadır. Şekil 6, pamuk bitkisi ve lifine ait görüntüleri göstermektedir.



Şekil 6. Pamuk bitkisi ve lif olarak kullanım aşamaları a) Tarlada pamuk
b) Tarladan toplanan pamuğu temizleyen çırçırılama işlemi sonrası pamuk lifi

Pamuk lifleri kesikli ve süreksizlikleri fazla olduğundan kompozit içersinde doğrudan kullanılması tercih edilmemektedir. Bu sebeple lifler tarak makinesinde taranıp tülbent haline getirilir. Kompozit içersinde kullanım oranına göre ağırlıkça takviye olarak hazırlanır (Şekil 7). Pamuk lif inceliği neps gibi paramtrelerin kompozit malzeme mekaniğine etkileri de araştırılmış sadece lif inceliğinin mukavemet araştırmalarında yeterli sonuç vermeyeği belirtilmiştir (Graupner ve ark. 2008). Kompozit malzemedeki kullanılan doğal liflerdeki kimyasal bileşimin kompozitin arayüz tutunmasını etkilediği yukarıda belirtilmiştir. Pamuk lifi için bu bileşim ve pamuğun fizksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Görüldüğü gibi lignin oranı istendiği gibi çok düşüktür.



Şekil 7. Pamuk lifinin taranmamış ve taranmış hali (Raftoyiannis, 2012; Kamath ve ark.2005)

*Çizelge 2. Pamuk Lifinin Özellikleri ve Kimyasal bileşenler
(%ağırlıkça) (Zeng ve ark. 2008)*

Kimyasal içerik	(%)	Fiziksel Özellikler	
Selüloz	83	Lif çapı (um)	20-50
Hemiselüloz	6	Yoğunluk (g/cm3)	1.4
Lingin	1	Kopma uzaması (%)	7.0-8.0
Wax	1	Çekme dayanımı (MPa)	287-597
Kül	3	Elastikiyet mod. (GPa)	5.5-12.6

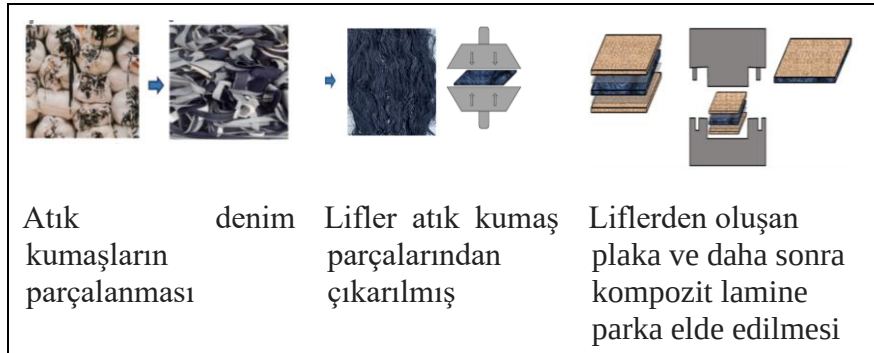
Pamuk lifi takviyeli kompozitler, diğer tekstil lifleri veya doğal lifleri ile karşılaştırılarak araştırmalarda en iyi lif türü ve kombinasyonu araştırılmıştır. Örneğin kapı panellerinde kullanılmak üzere pamuk, keten veya sisal lifleri gibi doğal liflerin kullanımı, cam liflerine kıyasla çevre dostu, düşük maliyetli ve düşük ağırlıkta olma gibi birincil avantajlara sahip olup olmadığı Raftoyiannis (2012) tarafından araştırılmıştır. Araştırmacı, özellikle lif tipinin levhaların yapısal özellikleri üzerindeki etkisine dikkat edildiğinde, pamuk lifleriyle güçlendirilmiş polyester reçineden yapılmış kompozit plakalar, duvar panelleri veya kapılar gibi düşük gereksinimlere sahip yapısal parçalar için tatmin edici olduğunu göstermiştir.

Küresel pazarda otomobillere olan talebin artması ve sürdürülebilirlik, doğal elyaf bazlı malzemelerin otomotivlere dahil edilmesine neden olmuştur. Kamth ve ark., (2005), pamuk ve diğer doğal selüloz liflerin, uygun bir biyolojik parçalanabilir bağlayıcı lif ile uygun şekilde birleştirilmesiyle kalıplanabilir bir dokusuz kumaş üretilebileceğini ve kompozit takviyesi olarak otomotiv sektöründe uygunluğunu araştırmışlardır.

Bahsedildiği gibi pamuk lifi tohumdan tekstil lifi olarak kullanılır hale getirilinceye kadar zahmetli ve pahalı bir süreçtir. Bu lifi bu halde kompozit malzemede kullanmak yerine kullanılmış ve atık haline gelmiş tekstil materyalinden alıp kullanmak daha uygun ve daha az maliyetli bir çözüm olarak görülebilir. Tekstil atıklarından elde edilen pamuklu kumaşların parçalama makinesi ile geri dönüştürülmüş pamuk lifi elde edilebilir. Ancak bu yöntemin de

bazı zorlukları vardır. Açılan tekstil atığında lif ve açılmamış iplik miktarını ölçmek için herhangi bir test standardı mevcut değildir. Bunu tespit için yapılan bir araştırmada parçalama makinesinde %80 tamamen açılmış lif ve %20 açılmamış veya kısmen açılmış iplikler olduğu gözlemlenmiştir (Kamble ve Behera, 2024).

İnşaat ve mobilya endüstrileri gibi düşük uç uygulamalar yüksek yük taşıma kapasitesi gerektirmez. Denim endüstrisinden toplanan atık kumaşlardan pamuk lifini çıkarmak ve pamuk liflerinin yapısal bütünlüğüne minimum hasar vererek kuru preformaya dönüştürmek için yeniliçi çalışmalar Mandal ve ark (2024) tarafından geliştirilmiştir. Çalışmada kompozitlerin hibrit güçlendirme etkinliğini optimize etmek için bir polipropilen matris içinde geri dönüştürülmüş denim lifleriyle birlikte jüt lifleri de eklenmiş ve böylece çekme modülünü yaklaşık $\sim 2,1$ GPa'ya ve darbe mukavemetini yaklaşık $\sim 66,1$ kJ/m²'ye çıkarılabilmektedir. Elde edilen kompozit yapı aşamaları Şekil 8'den görülebilir.

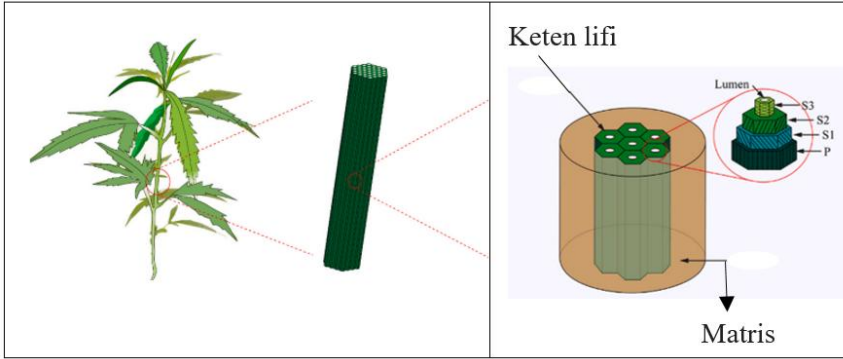


Şekil 8. Atık pamuklu denim kumaşlardan kompozit imalatı (Mandal ve ark., 2024)

Denim sektöründe en önemli materyalin pamuk olması, denim tüketiminin çok olması (en çok tercih edilen dış giyim ürünü) gibi nedenlerle bu tekstil malzemesinin atıklarından kompozit malzeme üretimine yönelik çalışmalar giderek artmaktadır (Hong ve ark. 2024)

3.2. Keten ve Kenevir Lifi

Keten ve kenevir, doğal kesikli bitkisel esaslı bir tekstil lifleridir. Keten ve kenevir liflerinin eldesi için ek işlemler uygulanması gerekmektedir. Pamuk tekstil lifi dışındaki keten ve kenevir gibi doğal liflerin bitkiden ayırmanın en yaygın yöntemleri çiğ çürütme ve su çürütme işlemidir. Lif kategorisine bağlı olarak, bu yöntemler mumların, pektinin, hemiselülozun ve ligninin parçalanması için yaklaşık 14 ila 28 gün gerektirir. Uzun işleme süresini azaltmak için mekanik çıkarma ve kimyasal işlemler gibi alternatif yöntemler tanıtılmıştır. Çürütme işleminde, bitkilerdeki bakteri ve nem varlığı, hücre dokularından ve lifleri çevreleyen yapışkan maddelerinden büyük parçaların parçalanmasını sağlar ve bu da bitkiden tek tek liflerin ayrılmasını sağlar (Sanjay ve ark. 2019). Keten ve kenevir ancak bu şekilde kompozit malzemede takviye olarak kullanılabilir. Keten önemli konfor özellikleri nedeniyle tercih edilen bir liftir. Keten bitkisi ve lif hali için Şekil 9 incelenebilir.



Şekil 9. Keten bitkisi, mikrolif hali (Cai ve ark., 2022)

Keten giyim eşyası olarak kullanımının yanı sıra evsel kullanımda; masalar, sandalyeler, çit elemanları, kapı panelleri, iç paneller, kapı çerçevesi profilleri, yiyecek tepsileri, bölmeler, abajurlar, valizler, kasklar, duş ve banyo üniteleri, borular, ipler, çuvallar, çuvallar, paspaslar ve halılarda da kullanımı yaygındır.

Ketenin Çizelge 3’te verilen içerikleri ve özellikleri onları kompozit sektörü için de uygun bir takviye malzemesi olmasına neden olmaktadır. Keten kompozit sanayinde; iç kapı panelleri, gövde panelleri, koltuk arkalıkları, başlıklar, gösterge panelleri, gösterge paneli, paspaslar, ses yalıtım panelleri, motor yalıtımı, motor kapağı, bagaj kaplamaları, döşeme, paket rafları, stepne kapakları, stepne tavaları, otomobil ve demir yolu otobüs iç mekânı, tekneler, iç halılar, mimari kalıplarda fazlaca kullanılmaya başlamıştır. Ayrıca inşaat sektöründe; Korkuluk, köprü, çatı kiremitleri, bölme ve asma tavan panelleri, bölme tahtaları, duvar, zemin, pencere ve kapı çerçeveleri, doğal afetlere dayanıklı mobil yapılarda kullanımı görülmektedir (Balla ve ark. 2019). Keten lifi takviyeli kompozitlerin kullanım alanları görüldüğü gibi nihai kullanımdaki ürünlere yöneliktir. Bu nedenle yaygın imalat teknikleri kalıplama teknikleri olup, presle (sıkıştırma) kalıplama, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyonla kalıplamadır. Bu yöntemlerle elde edilen ürünlere, otomotiv sektörü için hafif ve yüksek mukavemet gerektirmeyen kısımlarda örnekler (Şekil 10).

*Çizelge 3. Keten Lifinin Özellikleri ve Kimyasal bileşenler
(%ağırlıkça) (Balla ve ark. 2019)*

Kimyasal içerik	(%)	Fiziksel Özellikler	
Selüloz	64-71	Lif çapı (um)	5-76
Hemiselüloz	...	Yoğunluk (g/cm ³)	1.5
Lingin	2.2-2.5	Lif uzunluğu (mm)	4-140
		Nem alma (%)	8-12



Şekil 10. Keten takviyeli kompozit- Otomotiv koltuk arkası, bagaj kapağı (Balla ve ark. 2019).

Kenevir lifi keten lifi gibi tekstil lifi olarak konvansiyonel şekilde kullanımı yaygın olmamakla birlikte üstün özellikleri, geri dönüşüm kolaylığı, eldesinde karbon ayak izinin düşük olması gibi nedenlerle günümüzde tekstil lifi olarak kullanımı artmaktadır. Kenevir ayrıca antibakteriyel özelliği ile de tekstilde kendine yer bulmuştur. %100 kenevir lifinden iplik eğrilmesindeki zorluklar bulunur bu nedenle %100 kenevir tekstil giyim malzemesi üretimi yapılmamakta genellikle pamuk veya diğer tekstil lifleriyle karışım halinde kullanılabilmektedir. Kenevir lifinin kompozit sektörü için önemli bazı özellikleri Çizelge 4’de, bitkisel üretim alanı ve lif görünümü Şekil 11’de ve bazı uygulama alanları Şekil 12’de verilmiştir.

Çizelge 4. Kenevir Lifinin Özellikleri ve Kimyasal bileşenler (%ağırlıkça) (Balla ve ark. 2019)

Kimyasal içerik	(%)	Fiziksel Özellikler	
Selüloz	70-74	Lif çapı (um)	5-40
Hemiselüloz	...	Yoğunluk (g/cm3)	1.47
Ligin	4-10	Lif uzunluğu (mm)	8-55
		Nem alma (%)	6.2-12



Şekil 11. Kenevir bitkisinden tarla, bitkiden lif elde edilmiş hali

Kenevir lifinden kompozitler oldukça dikkat çekmekte olup, araştırmacılar farklı lifler ve farklı matrislerle kenevir lifinin kompozit içerisindeki performansını ortaya koymaya çalışmaktadırlar (Panaitescu ve ark., 2020; Dinesh Kumar ve ark. 2021; Sathish ve ark. 2021)



Şekil 12. Kenevir kompozitlerin yapı, otomotiv parçası örnekleri

Pamuk, keten ve kenevir tekstil lifleri doğal liflerdir ve eğer biyobozunur matrislerle birleştirilirse yeşil kompozit imalatı için doğayla dost ürünler elde edilmesini sağlayabilmekte olacaklardır. Doğa dostu biopolymerler; PLA, PHA, PBAT ve PBS olup bu matrisli kompozitler günümüzde etkin sektörler olan otomobil, paketlenme ve uçak sektörlerinde uygulanabilirler (Maurya ve ark., 2024).

4.Sonuç

Kesikli ve bitkisel doğal lif olan pamuk, keten ve kenevirin kompozit teknolojisinde kullanımına yönelik hazırlanan bu bölümde bu tekstil liflerin diğer doğal liflere göre özellikle mukavemet ve hafiflik yönünden elverişli sonuçlar verdiği görülmüştür. Pamuk lifinin direk kompozit malzemelerde kullanımın sürdürülebilirlikte ve maliyette uygun olmadığı, atık olarak ve diğer doğal liflerle karışım halinde kullanılmasının daha uygun olduğu görülmüştür. Keten ve kenevir liflerinin kompozitte doğal lif kullanımında diğer doğal liflere göre daha üstün lifler olduğu görülmektedir. Keten ve kenevir de atık olarak kompozit sektöründe değerlendirilebilir. Keten ve kenevir pamuk lifine göre daha uzun lifler olduğundan kompozit malzeme içersinde daha üniform dağılım göstereceğinden daha mukavemetli yapılar oluşturabilmektedir. Pamuk, keten ve kenevirin üstün tekstil lifleri olduğu gibi üstün doğal kesikli kompozit malzeme takviyesi olarak da kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Bu tekstil liflerinden mamul kompozitler yüksek mukavemet gerektirmeyeni otomotiv, ualşım ve evsen alanlarda uygun material üretiminde kullanılabileceği görülmüştür. Pamuk, keten ve kenevir liflerinin doğada üretimleri mümkün olduğundan doğal kaynaklara da azarar vermeyen doğal liflerdir.

5.Kaynakça

Anonymous. Textile Handbook. Hong Kong: *The Hong Kong Cotton Spinners Association*; 2001

Bajpai, S. K., Mary, G., & Chand, N. (2015). The use of cotton fibers as reinforcements in composites. *In Biofiber reinforcements in composite materials* (pp. 320-341). Woodhead Publishing.

Balla, V. K., Kate, K. H., Satyavolu, J., Singh, P., & Tadimetri, J. G. D. (2019). Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. *Composites Part B: Engineering*, 174, 106956.

Bismarck, A., Mishra, S., and Lampke, T. 2005. Plant fibers as reinforcement for green composites. In *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, ed. Mohanty, A.K., Misra, M., and Drzal, L.T., 37–108. Boca Raton, FL: *Taylor & Francis*

Bulut, Y., ve Erdoğan, Ü. H. (2011). Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *Tekstil ve Mühendis*, 18(82), 26-35.

Cai, M., Zhang, X., Sun, B., Takagi, H., Waterhouse, G. I., & Li, Y. (2022). Durable mechanical properties of unidirectional flax fiber/phenolic composites under hydrothermal aging. *Composites Science and Technology*, 220, 109264.

Camhilbo R.D.S.G. (2016). *Natural Fiber Composites*. CRC Press, *Taylor & Francis Group*.

Chen D, Zhang Y, Xu Y, Nie Q, Yang Z, Sheng W, et al. (2022). Municipal solid waste incineration residues recycled for typical construction materials: a review. *RSC Adv.* 2022;12(10):6279-91. <http://dx.doi.org/10.1039/D1RA08050D> » <http://dx.doi.org/10.1039/D1RA08050D>

Dinesh Kumar, S., Ponraj Sankar, L., Sathish, T., Vijayan, V., Parthiban, A., Kamalakannan, R., & Rajkumar, S. (2021). Improving the Mechanical Properties of Natural Fiber Composites of Hemp Fiber with Ramie and Banana Fiber through Compression Molding Method. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021(1), 7813634.

Dittenber, D.B., and GangaRao, H.V.S. (2012). Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites: Part A*. 43:1419–1429.

doi:10.1177/14644207221143876

Gholampour A., Ozbakkaloglu T. (2020). A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications. *J Mater Sci* (2020) 55:829–892

Graupner, N., Endres, H. J., & Müssig, J. (2008). Influence of fiber fineness, fiber maturity, and nep content on the properties of natural fiber reinforced cotton-epoxy composites. *Journal of Natural Fibers*, 5(4), 289-315.

Islam, M. Z., Sabir, E. C., & Syduzzaman, M. (2024). Experimental investigation of mechanical properties of jute/hemp fibers reinforced hybrid polyester composites. *SPE Polymers*, 5(2), 192-205.

Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2883-2892.

Kamath MG, Bhat GS, Parikh! DV, Mueller D. Cotton Fiber Nonwovens for Automotive Composites. *International Nonwovens Journal*. 2005; os-14(1). doi:10.1177/1558925005os-1400105

Kamble, Z., Behera, B.K. Investigation on the role of preform architecture on the property performance of recycled cotton-

based engineered eco-composites. *Biomass Conv. Bioref.* (2024). <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05550-0>

Lee Hong, C., Ming Yeng, C., Seong Chun, K. *et al.* Denim fabric-reinforced unsaturated polyester: effect of different fabrication methods on mechanical properties and water absorption properties. *Polym. Bull.* **81**, 2545–2563 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04845-y>

Mandal, A., Habib, A., Paul, B., Islam, M., Ahamed, B., Islam, S., & Sarker, F. (2024). Integration of recycled denim waste cotton fibre and jute fibre in thermoplastic bio composite applications. *Results in Materials*, 23, 100611.

Maurya, A. K., de Souza, F. M., Dawsey, T., & Gupta, R. K. (2024). Biodegradable polymers and composites: recent development and challenges. *Polymer Composites*, 45(4), 2896-2918.

Misnon M.I., Islam M., Epaarachchi J.A., Lau K., Potentiality of utilising natural textile materials for engineering composites applications, *Materials & Design*, Volume 59, July 2014, Pages 359-368

Panaiteanu, D. M., Fierascu, R. C., Gabor, A. R., & Nicolae, C. A. (2020). Effect of hemp fiber length on the mechanical and thermal properties of polypropylene/SEBS/hemp fiber composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10768-10781.

Radoor S., Karayil J., Shivanna J. M., Jayakumar A., Parameswaranpillai J., Siengchin S. (2022). Cotton fibers, their composites and applications. (Ed.(s): Sanjay Mavinkere Rangappa, Jyotishkumar Parameswaranpillai, Suchart Siengchin, Togay Ozbakkaloglu, Hao Wang). *Chapter 17, Plant Fibers, their Composites, and Applications*, (Pages 379-390). In The Textile Institute Book Series, Woodhead Publishing.

Raftoyiannis, I. (2012) Experimental Testing of Composite Panels Reinforced with Cotton Fibers. *Open Journal of Composite Materials*, 2, 31-39. doi: 10.4236/ojcm.2012.22005.

Rahman, A., Chowdhury, M.A., Shuvho, M.B.A. et al. Fabrication and characterization of jute/cotton bio-composites reinforced with eggshell particles. *Polym. Bull.* 80, 931–957 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04049-2>

Reddy, K. O., Maheswari, C. U., Reddy, D. J. P., & Rajulu, A. V. (2009). Thermal properties of Napier grass fibers. *Materials letters*, 63(27), 2390-2392.

Rong, M. Z., Zhang, M. Q., Liu, Y., Yang, G. C., & Zeng, H. M. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and technology*, 61(10), 1437-1447.

Saheb, D.N., and Jog, J.P. 1999. Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology* 18:351–363.

Sanjay M.R., Siengchin S., Parameswaranpillai J., Jawaid M., Pruncu C.I., Khan A. (2019). A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization. *Carbohydrate Polymers*, Volume 207, 2019, pp. 108-121

Sathish, T., Palani, K., Natrayan, L., Merneedi, A., De Poures, M. V., & Singaravelu, D. K. (2021). Synthesis and characterization of polypropylene/ramie fiber with hemp fiber and coir fiber natural biopolymer composite for biomedical application. *International Journal of Polymer Science*, 2021(1), 2462873.

Senthamarai Kannan, P., & Kathiresan, M. (2018). Characterization of raw and alkali treated new natural cellulosic fiber from *Coccinia grandis*. L. *Carbohydrate Polymers*, 186, 332-343.

Silva, L. F., Silveira, P. H. P. M. D., Rodrigues, A. C. B., Monteiro, S. N., Santos, S. F., Morais, J. P. S., & Bastos, D. C. (2024). Cotton incorporated Poly (lactic acid)/thermoplastic Starch Based Composites Used as Flexible Packing for Short Shelf Life Products. *Materials Research*, 27, e20230366.

Sondhelm, W. S. (2000). Technical fabric structures–1. Woven fabrics. *Handbook of technical textiles*, 12, 62

Wankhede B, Bisaria H, Ojha S, Dakre VS. A review on cotton fibre-reinforced polymer composites and their applications (2023). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*. 2023;237(6):1347-1362.

Westman MP., Laddha SG., Fifield LS., Kafentzis TA. Simmons KL. (2010). Natural Fiber Composites: A Review., Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352. *Pacific Northwest National Laboratory*. (https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-19220.pdf)

Zeng, Z., Ren, W., Xu, C., Lu, W., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2009). Effect of bis (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulfide on the crosslink structure, interfacial adhesion, and mechanical properties of natural rubber/cotton fiber composites. *Journal of applied polymer science*, 111(1), 437-443.