

SELÜLOZ ESASLI DOĞAL LİFLERİN KOMPOZİT ÜRETİMİNDE TAKVİYE MATERYALİ OLARAK KULLANIMI

Yasemin BULUT*
Ümit Halis ERDOĞAN
Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü/İzmir

Gönderilme Tarihi / Received: 28.03.2011
Kabul Tarihi / Accepted: 23.05.2011

ÖZET

Bu çalışmada, doğal lif takviyeli kompozit materyallerde takviye materyali olarak kullanılan selüloz esaslı doğal lifler, içyapıları, mekanik ve fiziksel özellikleri ve matris polimerleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca doğal lif takviyeli kompozit materyallerin üretiminde en çok uygulanan arayüzey modifikasyon teknikleri detaylarıyla açıklanmış ve daha önceki çalışmalar ile desteklenmiştir. Son olarak da kompozitlerin yaygın olarak kullanılan üretim metotları ve kullanım alanlarına kısaca değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: kompozit, doğal lif, polimer, arayüzey modifikasyonu

USABILITY OF CELLULOSE BASED NATURAL FIBERS AS REINFORCEMENT MATERIALS IN COMPOSITE MANUFACTURING

ABSTRACT

In this study, cellulose based natural fibers which are used as reinforcement material for natural fiber reinforced composites, their fine structure, mechanical and physical properties and also matrix polymers were introduced in details. Moreover, mostly applied interface modification techniques in natural fiber reinforced composite manufacturing were explained considering the previous studies. Finally, widely used composite production methods and their end-uses are introduced.

Keywords: composite, natural fiber, cellulose, interface modification

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: yasemin.bulut@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, sağladıkları avantajlar ve çeşitlilikleri dolayısı ile bugün birçok mühendislik uygulamasında önemli bir yer tutmaktadır. Uygulama alanlarında istenilen bazı fiziksel ve/veya kimyasal özellikleri tek başına karşılayamayan polimerlerin çeşitli tipte ve oranlarda tekstil lifleri ile desteklenmesi sonucunda istenilen özellikleri sağlayabilen kompozit yapıların elde edilmesi, son zamanlarda yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir.

Mühendislik malzemelerinde kullanım yerine göre sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ışınları gibi) dayanıklılık, tokluk gibi temel özelliklerin yanı sıra zamana bağlı yorulma, darbe dayanımı, çatlama, eğilme dayanımları, kimyasal dayanım ve benzeri değerlerin uygunluğu da aranmaktadır. Bütün bu istenen özellikleri tek bir malzemede bulmak son derece ender rastlanan bir durumdur. 1950'li yıllardan itibaren alternatif malzeme olarak üretilmeye başlayan kompozitler farklı özellikleri bir arada bünyesinde barındıran malzeme teminindeki sıkıntıya çözüm olmaya başlamıştır. Lif ile güçlendirilmiş polimerik kompozitlere olan ilgi, yüksek özgül mukavemet ve modül özellikleri nedeniyle geçmiş yıllardan bu yana giderek artış göstermiştir.

Kompozitler genel olarak polimer maddelerin görünüm, bağlanma ve fiziksel özellikleri ile liflerin, yüksek mekanik ve fiziksel performanslarını birleştiren, lif takviyeli polimerlerden oluşmuş hibrid materyallerdir. Kendisini oluşturan malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip bir bileşik malzeme olan kompozitler genellikle takviye ve matris olmak üzere en az iki materyalden oluşmaktadır. Kompozitlerde tekstil liflerinin takviye elemanı olarak tercih edilmesinin en önemli nedeni, kompozite yüksek mukavemet ve yüksek modül değerleri kazandırmasıdır. Kompozit yapılarda; hafiflik, mukavemet ve modül, yorulma mukavemeti, elektrik ve ısı iletkenliği ve ekonomiklik gibi nedenler takviye materyalinin seçiminde rol oynamaktadır. Lifler arasında gerilim transferi sağlamak, lifleri korozyon, oksidasyon, ortamın etkisi ve darbelerden korumak ise matris malzemenin seçim kriterlerini oluşturmaktadır. Kompozit malzemelerin avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir.

Kompozit malzemeler otomotiv, elektronik, havacılık, spor malzemesi ve inşaat gibi birçok farklı alanda kullanım olanağı bulmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde sağladıkları yüksek mukavemet ve modül nedeni ile takviye malzemesi olarak çoğunlukla cam, karbon gibi inorganik lifler veya aramid ve HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) gibi yüksek performanslı sentetik lifler tercih edilmektedir. Bununla birlikte hem çevresel bilincin hem de yasal düzenlemelerin artması ile cam, karbon veya aramid takviyeli epoksi, polyester, poliüretan ya da fenolik esaslı kompozitlerin üretimine ve kullanımına ait sorunlar gün-

deme gelmektedir. Takviye ve matris elemanlarının birbirlerine çok kuvvetli şekilde bağlanması nedeni ile bileşenlerin birbirinden ayrılmasında ve geri dönüştürülmesinde karşılaşılan zorluklar, kompozitlerin en büyük olumsuz özellikleri arasında yer almaktadır[1]. Hem bu sorunların azaltılması hem de materyallerin çevreye uyarlanmasına dair artan talep nedeniyle polimer maddelerin özellikle keten, kenevir, jüt, rami ve sisal gibi doğal lifler ile desteklenerek “doğal lif takviyeli kompozitler”in üretimleri ve kullanımları günümüzde dikkat çekici bir noktaya gelmiştir. Bu yüzden son yıllarda doğal lif takviyeli kompozit malzemenin üretim yöntemleri ve kompozit malzemenin nihai özellikleri[2-4], bileşenlerin kompozit malzeme içerisindeki davranışları[5] ile farklı tipte ve oranlarda doğal lif kullanımının kompozit malzeme özelliklerine etkisi [6,7] üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda incelenen başlıca parametreler:

- Kompozit malzeme üretim tekniği
- Doğal takviye lifinin cinsi, fiziksel ve kimyasal özellikleri, oranı ve formu (lif, iplik ve kumaş)
- Matris malzemesinin cinsi ve özellikleri
- Doğal lif ve matris malzemesi uyumu, işlenebilirlikleri ve her iki bileşene uygulanan arayüzey işlemleri olarak özetlenebilir.

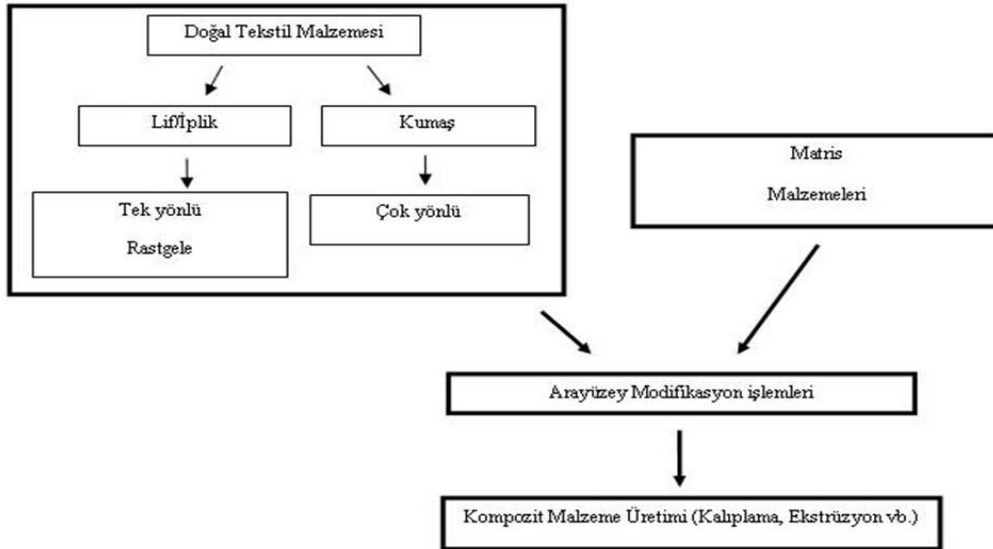
Şekil 1'de doğal lif takviyeli bir kompozit malzemenin üretim akış şeması gösterilerek sonraki bölümlerde bu aşamalardaki malzeme ve işlemler hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KULLANILAN DOĞAL LİFLER

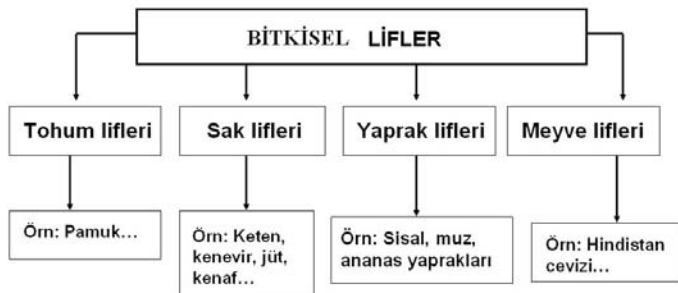
Doğada canlılardan oluşan ve hücrelerden meydana gelen doğal lifler hayvansal ve bitkisel lifler olmak üzere 2 grup içinde sınıflandırılmaktadır [8]. Kompozit materyal üretiminde genellikle selülozik karakterli bitkisel lifler sınıfında yer alan sak lifleri, meyve ve yaprak lifleri kullanılmaktadır. Geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik gibi kavramların ön plana çıktığı günümüzde doğal liflerin kompozit malzemelerde kullanımı hızla artmaktadır. Takviye materyali olarak kullanılan doğal liflerin biyolojik olarak parçalanabilirlik ve geri dönüştürülebilirlik özellikleri, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet değerlerinin yanı sıra bitkisel kökenli doğal kaynakların yenilenebilir olması nedeniyle ekolojik materyaller gelişim göstermektedir [9]. Sentetik liflerin teknolojik gelişimine rağmen son yıllarda keten [10-12], kenevir [13,14], jüt [15,16] ve Hindistan cevizi [17,18] gibi doğal liflerin çeşitli üstün özellikleri nedeni ile özellikle otomotiv sektöründe cam lifleri yerine kullanımı dikkat çekmektedir. Ancak doğal liflerin hidrofob özellikteki polimer matris ile uyumsuzluğuna neden olan hidrofil karakteri ve bozunma olasılığı nedeni ile işlem sıcaklığının düşük derecelerde olması gerekliliği doğal liflerin kompozit üretimindeki sınırlayıcı özellikleri olmaktadır [1].

Cam, karbon, aramid gibi klasik takviye lifleri istenilen özelliklere sahip olacak şekilde üretilebilirken, doğal liflerin özellikleri lifin alındığı bitkinin özellikleri, üretim yeri ve iklim gibi birçok faktöre bağlı olarak varyasyon göstermektedir. Kompozit üretiminde çoğunlukla doğal liflerin bitkisel lifler sınıfında yer alan lifler kullanılmaktadır. Kompozit üretiminde kullanılan bitkisel lifler Şekil 2'de görüldüğü gibi, tohum (pamuk), sak (keten, kenevir, rami, jüt, kenaf), yaprak (sisal) ve meyve lifleri (Hindistan cevizi) olmak üzere 4 sınıfa ayrılmaktadır[8]. Ayrıca zirai esaslı bitkisel lifler (pirinç kapsülleri, pirinç ve buğday sapları gibi) de kompozitlerde takviye materyali olarak işlev görebilmektedir [19].

Şekil 2'de görülen bitkisel lifler yapıları gereği selüloz esaslı materyaller olup, amorf karakterli lignin ve hemiselüloz matris içerisinde mikrofibriller içermektedir. Doğal lifler, lif boyunca devam eden fibriller yapıdan oluşmaktadır (Şekil 3). Lifin kimyasal yapısındaki hidrojen köprüleri ve diğer bağlar life dayanım ve rijitlik kazandırmaktadır. Lifin iç yapısındaki mikrofibriller, lignin ve hemiselüloz matris içerisinde takviye elemanları konumunda bulunmaktadır. Bu nedenle bitkisel lifler doğal gereği kompozit malzemelerdir.



Şekil 1. Doğal lif takviyeli kompozit malzeme üretim şeması

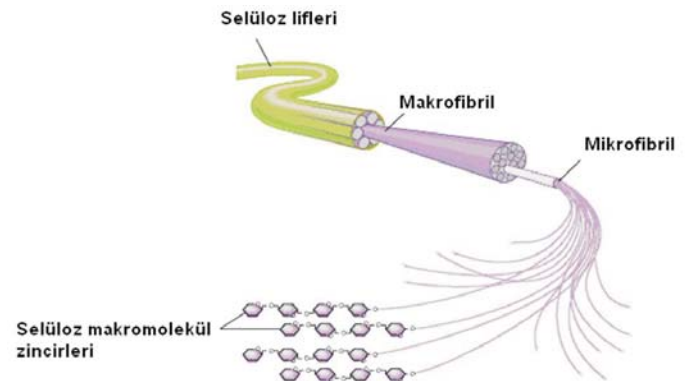


Şekil 2. Kompozitlerde kullanılan bitkisel liflerin sınıflandırılması [8]

Tablo 1'de kompozit lif üretiminde kullanılan çeşitli bitkisel liflerin kimyasal özellikleri görülmektedir. Bu liflerin en önemli bileşenleri, selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Her bir bileşenin karakteristik özellikleri lifin tüm özelliklerinde belirleyici rol oynamaktadır.

Tablo 1. Doğal liflerin kimyasal bileşenleri [1,21,22]

Lif	Selüloz (%)	Lignin (%)	Hemiselüloz (%)	Pektin (%)
Jüt	61-71,5	12-13	13,6-20,4	0,2
Ketan	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



Şekil 3. Selülozun mikro yapısı [20]

Bitkisel liflerin kimyasal yapısının büyük bir kısmını oluşturan selüloz genel formülü $(C_6H_{10}O_5)_n$ olan bir polisakkarittir. Selüloz makromolekülleri birçok (n tane) β -D glikoz yapıtaşının 1. ve 4. karbon atomları üzerinden oksijen köprüleriyle birbirine bağlanması sonucu oluşmuştur. Her bir glikoz yapıtaşında 3 tane hidroksil grubu bulunması nedeniyle selüloz makromolekülleri lif içerisinde tek başlarına bulunmayıp hidrojen köprüleriyle birbirlerine bağlanmaktadır [23]. Hidroksil gruplarının hidrofil özellik kazandırdığı selüloz lifi hidrofob karakterdeki polimere takviye edildiği zaman zayıf lif/matris arayüzeyi meydana getirmekte ve nem absorpsiyonuna dayanımı düşük olmaktadır.

Şekil 3'de görüldüğü gibi makrofibrillerden meydana gelen bitkisel liflerde selüloz fibrillerine kuvvetli hidrojen köprüleri ile bağlı olan hemiselüloz, düşük molekül ağırlığına ve amorf bir yapıya sahiptir. İçerdiği hidroksil ve asetil grupları nedeni ile suda çözünmemektedir. Hemiselüloz, lifin nem absorpsiyonunu, biyolojik olarak parçalanmasını ve termal bozunma özelliklerini belirlemektedir. Amorf yapıdaki lignin polimeri ise tekrarlanan fenilpropan ünitelerinden oluşmaktadır. Lignin doğal lif bileşenleri içerisinde en düşük su absorbe etme kapasitesine sahiptir [24]. Hemiselülozun termal dayanımı, lignin maddesinin UV dayanımı daha düşük olmaktadır [25]. Pektin ise sak liflerinde hem hüzmeler halinde bulunan lif hücrelerini birbirine bağlar (iç pektin) hem de bu lif hüzmelerini sakın epiderm adı verilen en dışta bulunan kabuk tabakasına bağlamaktadır (dış pektin).

Liflerin mekanik özelliklerine; liflerin morfolojik yapıları, kristalin ve amorf bölge oranı, oryantasyonu gibi fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşenleri etki etmektedir. Ayrıca doğası gereği hidrofillik karakterli olan doğal liflerin nem alma kapasitesi de lifin yapısına göre değişmektedir. Tablo 2'de kompozit malzeme üretiminde çoğunlukla kullanılan doğal liflerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri özetlenmiştir.

3. DOĞAL LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILAN MATRİS MALZEMELERİ

Kompozit malzemelerin ikinci ana bileşeni olan matris, takviye lifleri arasında gerilim transferi sağlamak ve lifleri

çevresel etkilere karşı korumaktadır. Dışarıdan gelebilecek nem, ısı, kimyevi vb. her türlü etkiye karşı ilk maruz kalan matris polimeri olması nedeniyle, kompozit malzemenin özelliklerinde matris malzeme belirleyici unsurdur[26].

Kompozit materyalde lifin istenilen performansı göstermesi uygun matris seçimine bağlıdır. Matris seçiminde, polimerin doğal liflere kimyasal ve fiziksel uyumunun yanı sıra maliyet ve kullanım kolaylığı gibi unsurlar göz önüne alınmalıdır. Ayrıca malzemenin nem ve su alma özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir [27,28].

Kompozit üretiminde polimer maddeler düşük yoğunluk ve işlenebilirlik gibi özellikleri sebebi ile matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kompozit üretiminde termoset ve termoplastik polimerler kullanılmaktadır. Yapısında bulunan zayıf bağlar nedeni ile ısıtıldığında tekrar tekrar eritilebilen termoplastik polimerler yüksek sertlik ve darbe dayanımı özelliklerine sahiptir.

Termoset polimerler lif takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde daha fazla kullanılmaktadır. İçerdikleri çapraz bağlar ve üç boyutlu ağ yapısı nedeni ile tekrar eritilmeleri mümkün değildir. Rijit olan termoset polimerler ısıtıldıklarında sertleşen ve bu halini sonsuza dek koruyan plastiklerdir.

Kompozit materyallerin üretiminde termoset ve termoplastik polimerlerin yanı sıra biopolimerler de gittikçe artan bir kullanım alanına sahiptir. Biopolimerlerin farklı olarak biyolojik olarak parçalanabilmesi, doğaya uyumlu olması, atık miktarlarında azalma sağlaması, karbondioksit salınımının daha az olması nedeni ile iklime minimum seviyelerde etki etmesi gibi özellikleri ön plana çıkmaktadır. Biopolimerde mikrobiyal etkiye bağlı olarak parçalanma işlemi sırasında polimer zincirinde kopma, oksidasyon, hidroliz ve fotobozunma görülebilmektedir. Biopolimerlerin depolanma ya da kullanım süresince stabil kalması ve istenilen kullanım ömrünü tamamladıktan sonra bir kerede parçalanabilmesi gerekliliği nedeniyle bu polimerlerin kompozit üretiminde kullanılabilmesi için yapısının ve özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir[1].

Biopolimer esaslı biokompozitlerin üretiminde genellikle selüloz asetat, nişasta ve nişasta karışımları, polilaktik asit, polivinilalkol vb. polimerler kullanılmaktadır [29,30].

Tablo 2. Bazı doğal liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri [1,21,22]

Lif	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kopma mukavemeti (MPa)	Young modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)	Çap (µm)	Fibriller açı	Polimerizasyon derecesi	Nem içeriği (%)
Pamuk	1,5-1,6	287-800	5,5-12,6	7,0-8,0	11,5-17,0	20-30°	2020-4700	8,5
Jüt	1,3-1,45	393-773	13-26,5	1,16-1,5	15,9-20,7	8,0°	1920-4700	12,6
Keten	1,50	345-1100	27,6	2,7-3,2	17,8-21,6	10,0°	2190-4700	10,0
Kenevir	1,48	690	70	1,6	17,0-22,8	6,2°	2200-4800	10,8
Rami	1,50	400-938	61,4-128	1,2-3,8	28,1-35,0	7,5°	2660-5800	8,0
Sisal	1,45	468-640	9,4-22,0	3-7	18,3-23,7	20,0°	2160	11,0
Hindistan cevizi	1,15	131-175	4-6	15-40	16,2-19,5	39-49°	-	8,0
Ananas yaprağı	1,52-1,56	413-1627	34,5-82,51	1,6	20-80	14	-	11,8

4. LİF/MATRİS ARAYÜZEYİ

Kompozit materyalde takviye lifleri ile matris polimeri arasında bağ oluşumu söz konusu olduğunda ortaya arayüzey kavramı çıkmaktadır. Arayüzey, kompozitin özelliklerini meydana getiren matris ve takviye elemanından sonraki üçüncü önemli unsurdur [28]. Arayüzeyin sahip olduğu bağ kuvveti değeri kompozitin davranış karakterini, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemektedir.

Lif takviyeli kompozit malzemelerde, yapıya uygulanan yük, lif-matris arayüzeyi tarafından life iletilmektedir. Bundan dolayı arayüzey yapısı ve özellikleri, kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle arayüzey kayma mukavemeti, kompozit malzemenin mukavemet ve rijitliğinin kontrol edilmesinde önemli bir parametre olmaktadır. İyi mekanik özelliklere sahip bir kompozit elde etmek ve lif özelliklerinden maksimum seviyede faydalanmak için arayüzey boyunca optimum bir yapışma sağlanmalıdır [31].

Selülozik liflerin birbirleriyle olan etkileşimi ve lifleri bir arada tutan kuvvetli hidrojen bağları, liflerin termoplastik polimer içinde homojen bir şekilde dağılımını önlemektedir. Liflerin ön bir muameleye tabi tutulması ya da ilave kimyasal maddelerin kullanılması bu sorunun azaltılmasında uygulanan yöntemlerdendir. Stearik asit, mineral yağlar yada maleik anhidrid asit aşılana etilen gibi bağlayıcı maddeler genellikle liflerin ağırlıkça %1'i oranında kullanılmaktadır. Stearik asit lifler arasındaki etkileşimi azaltarak lif dağılımını geliştirmekte etkilidir. Raj ve Kokta (1989) tarafından yapılan çalışmada odun lifi takviyeli kompozitte lif agregasyonuna stearik asit ile yapılan muamelenin etkisi incelenmiştir. Optik mikroskop ile incelenen kompozitlerde stearik asit konsantrasyonu arttıkça, agregatların boyutlarında azalma meydana geldiği görülmüştür [32]. Mineral yağlar ise lifler tarafından absorbe edilerek lifler arasındaki etkileşimi önlemekte ve liflerin polimer içerisinde ayrılmasını sağlamaktadır [25].

Doğal lif takviyeli kompozitlerde lif/matris arasındaki zayıf arayüzeyin geliştirilmesi ve optimizasyonu için farklı kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Lif modifikasyonunda lifin yüzeyi pürüzlendirerek sürtünmeyle kopma gerilmesi artırılabilir, bağ yapıcı özelliği olan ilave maddeler kullanılabilir, kimyasal buhar aracılığı ile bağ oluşturma ve bağın dayanımını artırma gibi yöntemler denebilir. Ayrıca korona ve plazma gibi fiziksel metotlar da uygulanabilmektedir [33]. Lif modifikasyonunun yanı sıra matris polimer de modifiye edilerek arayüzey dayanımı geliştirilebilmektedir. Doğal lif takviyeli kompozit malzeme üretiminde arayüzey etkinliğini arttırmak için kullanılan başlıca lif ve matris yüzey modifikasyon yöntemleri aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.1. Lif modifikasyonu

4.1.1. Alkali işlem

Alkali işlem takviye liflerini genellikle çeşitli konsantrasyonlarda sodyum hidroksit (NaOH) ile farklı sıcaklık veya

sürede muamele etmektir. Bitkisel lifler, yapılarında bulunan hidroksil gruplar (selüloz) nedeniyle polar karakterlidir. Liflerde bulunan pektin, lignin ve vaks gibi safsızlıklar ve yüksek miktarlardaki hidroksil grupları, bu liflerin matris polimerine bağlanmasına engel olup arayüzeyi zayıflatmakta ve nihai kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Alkali işlem ile selüloz liflerinin yüzeyinde bulunan bu maddelerin bir kısmı giderilmekte ve lif yüzeyinde polimer ile etkileşime girebilecek çok sayıda açık selüloz uçları oluşmaktadır. Alkali işlem lifin yüzeydeki serbest enerjisini arttırmaktadır. Aynı zamanda lif yüzeyini pürüzlü hale getirerek lif/polimer arayüzeyinde mekaniksel bağlanmayı geliştirmektedir [34]. Alkali işlem selüloz fibrillerine etki ederek, selüloz polimerizasyon derecesini düşürmekte, liften ayrılan lignin ve hemiselülozun miktarını direk olarak etkilemektedir [24].

Van de Weyenberg ve ark. (2003) alkali işlemin keten lifi takviyeli kompozitin kopma mukavemeti ve modülünde yaklaşık %30 oranında artış sağladığını ve liften pektin maddesini uzaklaştırdığını belirtmişlerdir [10]. Liu ve Dai (2007) yaptıkları çalışmada jüt liflerinde alkali işlem sonrası pürüzlü bir yüzey meydana geldiğini ve alkali işlemin jüt/polipropilen arayüzey dayanımını arttırdığını belirtmişlerdir [15]. Seki (2009) %5 konsantrasyondaki NaOH ile yapılan muamelenin jüt lifi takviyeli epoksi ve polyester kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştirdiğini belirtmiştir. Ancak alkali işleme ek olarak siloksan bağlayıcı maddesi ile yapılan modifikasyon işleminin kompozitlerin arayüzey dayanımlarını sırasıyla epoksi kompozit için 13,00MPa'dan 19,85MPa'a, polyester kompozit için ise 8,85 MPa'dan 17,64MPa'a arttırarak önemli bir şekilde gelişim sağladığını vurgulamıştır [35].

Alkali işlemin etkinliği, alkali çözeltinin konsantrasyonuna ve cinsine, işlem süresine ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Mishra ve ark. (2003) %5'lik NaOH çözeltisi ile yapılan modifikasyon işleminin %10'luk NaOH çözeltisi ile yapılan muameleye göre sisal takviyeli kompozite daha yüksek oranda çekme mukavemeti kazandırdığını tespit etmişlerdir [36]. Yüksek konsantrasyonlarda yapılan alkali işleminde gerekenden fazla miktarda ligninin uzaklaştırılması life zarar vererek zayıflamasına neden olmaktadır. Bu nedenle alkali işlemin ancak optimum koşullarda yapılması kompozitin mekanik özelliklerini geliştirmektedir.

4.1.2. Bağlayıcı madde ile modifikasyon

Doğal lif takviyeli kompozit malzemelerde lif ve polimer arayüzeyini modifiye etmek için en yaygın olarak kullanılan yöntem lif ile matris arasında etkileşimi değiştirebilen bağlayıcı madde kullanımudur. Bitkisel liflerin matris ile birleşiminden önce hidrofob bir polimer ile kaplanması, lif ile matris arasındaki uyumluluğu ve liflerin polimer içerisindeki dağılımını geliştirilebilmektedir. Bağlayıcı maddeler lif/matris ara yüzeyinde optimum gerilim transferini sağlamaktadır.

Bağlayıcı maddelerin kompozit içerisinde farklı etki mekanizmaları bulunmaktadır.

- Doğal lif yüzeyindeki zayıf katmanları elemine eder,
- Polimer ile lif arasında belli bir modüle sahip çapraz bağlı arayüzey oluşturur,
- Polimerin life tutunabilirliğini geliştirir,
- Hem doğal lif hem de polimer arasında kovalent bağlar oluşturur,
- Lif yüzeyinin asitlik derecesini değiştirir [24,37].

Doğal lif takviyeli kompozitlerde bağlayıcı maddelerin, selülozun OH grupları ve matris polimerin fonksiyonel grupları ile etkileşimi olmak üzere iki temel fonksiyonu bulunmaktadır.

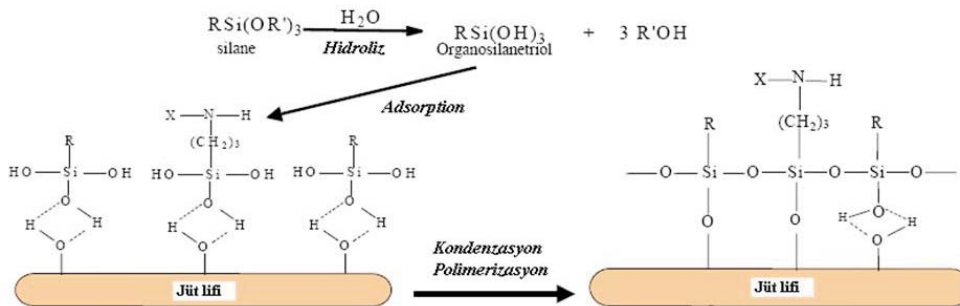
Bağlayıcı maddeler kompozitin dayanım ve sertlik özelliklerini kombine ederek optimum düzeye getirmektedir. Günümüzde silan, isosiyanat ve titanat esaslı bağlayıcı maddeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlayıcı maddeler genellikle lif yüzeyi ile reaksiyona girerek lif/matris arasında köprü görevi görmektedir [38].

Silan, lif yüzeyi ve polimer ile reaksiyona giren ve genel kimyasal formülü X_3Si-R olan multifonksiyonel bir moleküldür. Genellikle R polimer matris ile, X ise sulu çözeltide hidrolize uğrayıp silanol grupları meydana getirerek selüloz yüzeyindeki hidroksil grupları ile reaksiyona girmektedir. R ve fonksiyonel grupların istenilen kondenzasyon sıcaklıklarında polimerin fonksiyonel grupları ile etkileşime girmesi önem teşkil etmektedir. Ayrıca X grupları, selüloz yüzeyinde bulunan OH grupları ve silan arasında reaksiyonu sağlayacak şekilde hidrolize uğramalıdır. Modifikasyona uğrayan lifler kurutulduğunda, silanol ve OH grupları arasında tersinir bir kondenzasyon reaksiyonu meydana getirerek, selüloz yüzeyine bağlanan polisiloksan katmanı oluşturmaktadır (Şekil 4). Silan kaplı selüloz yüzeyi polimer ile temas ettiğinde, lif yüzeyindeki R grupları polimer matristeki fonksiyonel gruplar ile reaksiyona girerek stabil bir kovalent bağ meydana getirir [33,38]. Kovalent bağlar sayesinde selüloz ve polimer arasındaki bu iki taraflı etkileşim, lif/polimer arayüzeyi arasında

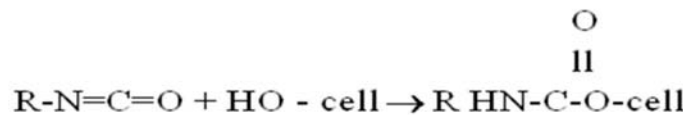
moleküler bağlanma ve süreklilik sağlamaktadır. Liflerin silan ile modifikasyonu kompozitin arayüzey dayanımını ve mekanik özelliklerini geliştirmektedir.

Agrawal ve ark (2000) güneş keneviri ve palmye liflerini modifiye etmek için %0,033 konsantrasyonda silanın sulu çözeltisini ve %1 konsantrasyonda silanın etanol çözeltisini hazırlamışlardır. Yapılan testler sonucunda silan ile yapılan modifikasyon işleminin alkali ile yapılan modifikasyona göre lif/matris arasındaki etkileşimi daha fazla geliştirdiği ve kompozitin çekme mukavemetini daha fazla arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca kompozitin termal stabilitesi de silan işleminden sonra gelişme göstermiştir [39]. Park ve ark (2008) jüt takviyeli polipropilen kompozitlerin arayüzey kayma gerilimi testi sonucuna göre silan ile yapılan muamelenin arayüzey dayanımını arttırdığını belirtmişlerdir [40]. Sever ve ark (2010) jüt kumaşa uyguladıkları farklı konsantrasyonlardaki silan bağlayıcı maddesinin poliester kompozitin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucuna göre %0,3 konsantrasyondaki silan bağlayıcı maddesi ile yapılan modifikasyon işleminin, jüt lifi ve polyester arasında en iyi arayüzey dayanımı sağladığı ve dolayısıyla kompozit materyalin en yüksek mekanik özellikleri gösterdiği belirlenmiştir [41].

Kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen bağlayıcı maddenin mikro yapısına pek çok faktör etki etmektedir [42]. Silanın yapısal özellikleri, organofonksiyonelliği, asitlik derecesi, kurutma koşulları ve lif yüzeyinin kimyasal bileşimi bu faktörler arasında sayılabilir [33]. Doğal lif takviyeli kompozitlerin bağlayıcı madde olarak kullanılan *isosiyanat* ile yapılan modifikasyon işleminde ise, lif ya önceden isosiyanat ile kaplanmakta ya da isosiyanat direkt olarak lif-polimer karışımına katılmaktadır [33]. Polimetilen poliisosiyanat (PMPPIC) selüloza kuvvetli kovalent bağlarıyla kimyasal olarak bağlanmaktadır. Şekil 5'de görüldüğü gibi PMPPIC'nin $-N=C=O$ grubu selülozun OH grubu ile etkileşime girerek üretan bağı oluşturmaktadır [33]. Selüloz-isosiyanat arasındaki birincil kovalent bağlar ve polimer-isosiyanat arasındaki ikincil bağlar kompozitin mekanik özelliklerini geliştirmektedir [38].



Şekil 4. Jüt lifi ve silan bileşiği etkileşimi [34]



Şekil 5. Selüloz ile polimetilen poliisosiyanat etkileşimi [38]

4.1.3. Asetilasyon

Doğal liflerin asetilasyonu selülozik liflerin plastikleştirilmesine öncülük eden esterifikasyon işlemidir. Şekil 6'da görülen asetik anhidrid ile doğal lif reaksiyonu lignoselülozik liflerin kullanımından önce uzaklaştırılması gereken asetik asit oluşumunu içermektedir. Asetik anhidrid ile yapılan kimyasal modifikasyon işlemi hidroksil grupları ile asetil grupları değiştirerek polimerin özelliklerini modifiye etmekte ve hidrofob özellik kazandırmaktadır [24].

Manikandan-Nair ve ark (2001) sisal liflerini önce %18'lik NaOH çözeltisinde daha sonra buzlu asetik asit çözeltisinde ve son olarak 2 damla H₂SO₄ içeren asetik anhidrid çözeltisinde 1 saat süreyle muameleye tabi tutmuşlardır. İşlem sonrası sisal liflerinin yüzeyi pürüzlü hale gelmiş ve polistiren matris ile mekaniksel bağlanmayı sağlayan boşluklar meydana gelmiştir. Aynı zamanda modifiye edilen sisal takviyeli kompozitin termal stabilitesinin daha iyi olduğu görülmüştür [43].

4.1.4. Aşı kopolimerizasyonu

Aşılama kopolimerizasyonu işleminde; lif yüzeyine matris ile uyumlu bir çözünürlük parametresine sahip bir polimerin bağlanması ile gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan bağ, bağlayıcı madde olarak hareket etmekte ve lif-matris arasındaki adhezyonu geliştirmektedir. Metilmetakrilat, akrilamid ve akrilonitril gibi vinil monomerlerin selüloz, selüloz türevleri ve lignoselülozik liflerine aşı kopolimerizasyonu uzun yıllardan beri çalışılmaktadır [25]. Mishra ve ark (2001) sisal liflerine akrilonitrilin aşı kopolimerizasyonunun etkisini araştırmışlardır. %25 oranında akrilonitril aşılama sisal liflerinin su absorpsiyonunun azaldığı belirtilmiştir. Liflerin %5 akrilonitril ile modifiye edilmesi lifin çekme dayanımı ve modülünde %10 ve %25 akrilonitril ile muamele edilmesinden daha yüksek bir artışa yol açtığı belirtilmiştir [44].

4.1.5. Diğer Yöntemler

Yukarıda anlatılan doğal liflere uygulanan belli başlı yöntemlerin dışında farklı kimyasal maddeler de arayüzey modifikasyonunda kullanılmaktadır.

Paul ve ark (1997) alkali ile ön bir muamele tabi tutulmuş sisal liflerini farklı konsantrasyonlardaki permanganat çözeltisinde 1 dak süreyle bekletmişlerdir. Permanganat işlemi sonrasında liflerin hidrofollik özelliğinin azalarak kompozitin su absorpsiyonunda düşüş saptamışlardır. Doğal liflerin hidrofollik eğilimi permanganat konsantrasyonun artması ile azalmaktadır. Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda selülozik liflerinin degradasyonu sonucu lif ve matris arasında polar gruplar oluşmaktadır [45].

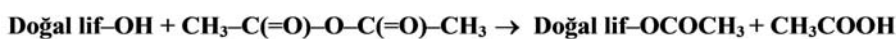
Paul ve ark (1997) stearik asidin etil alkol çözeltisini lifleri modifiye etmek amacıyla kullanmışlardır. Yapılan modifikasyon işlemi lifteki kristalin olmayan bileşenleri uzaklaştırmış ve lifin yüzey topolojisini değiştirmiştir [45].

Sreekala ve ark (2000) benzoil peroksit ile muamele edilmiş palmye lifi takviyeli fenilformaldehit kompozitin daha yüksek çekme kuvvetine dayanabildiğini belirtmişlerdir [46].

Khan ve ark (2010) jüt lifi takviyeli polipropilen kompozitin özelliklerine potasyum dikromat ile muamelelenin etkisini araştırmışlardır. %0,02 potasyum dikromat konsantrasyonunda modifiye edilen kompozitin en iyi mekanik performansı sağladığını belirtmişlerdir. Ancak termal özelliklerine modifikasyonun bir etkisi olmadığını gözlemlemişlerdir [47].

Fenolformaldehid, melaminformaldehid gibi polikondenzasyon maddeleri ile jüt lifine yapılan muamele sonrası lifin polimer ile ıslanabilirliğinin arttığı, su absorpsiyonunun ise azaldığı görülmüştür. *Kardanol-formaldehit* ile yapılan işlemin jüt/polyolefin kompozitin su absorpsiyonunu azalttığı ve mekanik özelliklerini ise geliştirdiği tespit edilmiştir. Jüt liflerinin *etilendiamin ve hidrazin* ile yapılan muamelesi sonucunda selülozun hidroksil gruplarıyla birleşik oluşturulmuş ve lifin nem absorpsiyonunda düşüşler meydana gelmiştir [25].

Kimyasal modifikasyon işlemlerinin yanı sıra plazma ve UV ışını uygulaması gibi fiziksel yöntemler de doğal lif takviyeli kompozitlerin mekanik ve performans özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Gassan ve Gutowski (2000) oksijen plazmanın ve UV ışını uygulamasının jüt liflerinin polaritesini arttırdığını tespit etmişlerdir. Lif yüzeyi oksidasyonu hem jüt lifinin hem de takviye edildiği kompozitin mukavemetini azaltmaktadır. Ayrıca kompozitin mekanik özelliklerini geliştirmek için jüt lifinin UV ışını uygulaması ile artan polaritesi ile azalan mukavemeti arasında denge kurulması gerektiğini belirtmişlerdir [48]. Xu ve ark (2006) bambu liflerinin morfolojik karakterine, nem alma ve boyanma özelliklerine argon plazmasının etkisini incelemişlerdir. Bambu lifinin yüzey özelliklerinin bombardıman etkisiyle aşınarak yüzey pürüzlüğünün arttığı belirlenmiştir. Ayrıca plazma işlemi sonrası bambu lifinin temas açısının azalarak hidrofollüğünün arttığı, boyar madde alabilirliğinin geliştiği tespit edilmiştir [49]. Seki ve ark (2011) jüt lifine uygulanan düşük frekans ve radyo frekans oksijen plazmanın jüt lifi takviyeli polyester kompozitin arayüzey etkileşimini geliştirerek tabakalar arası kayma dayanımını sırasıyla %72 ve %129 oranında arttırdığını belirtmişlerdir [50].



Şekil 6. Asetik anhidrid ile doğal lif etkileşimi [24]

4.2. Matris modifikasyonu

Doğal lif takviyeli kompozit materyallerde arayüzey dayanımını arttırmak için takviye materyallerinin yanı sıra matris polimeri de modifiye edilebilmektedir. Polimer esaslı kompozitlerde polimer molekülündeki reaktif grupların az olması nedeni ile lif ve matris arasındaki bağlanma sadece Van der Waals kuvvetleri ile sağlanmakta ve bu durum lif/matris adhezyonunu zayıflatmaktadır. Jüt lifi takviyeli polipropilen kompozitlerde lif ve polipropilen arasındaki adhezyonu arttırmak için matris modifikasyonunda kullanılan bağlayıcı maddelerden biri maleik anhidrid asit aşılansmış polipropilendir (MAHgPP). Bu bağlayıcı madde polar doğal lif ile apolar özellikteki polimer arasında uyum artırıcı olarak işlev görmektedir. Şekil 7'deki jüt lifi ile MAHgPP bağlayıcı madde arasındaki etkileşim incelendiğinde selülozun hidroksil grupları ve bağlayıcı maddenin maleik anhidrid grupları arasında hidrojen ve ester bağları olduğu görülmektedir. Bağlayıcı maddenin (MAHgPP) polipropilen zincirlerinin polipropilen matrise difüz etmesi lif ve matris arasındaki adhezyonu arttırmaktadır[34]. MAHgPP, jüt takviyeli polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmekte ancak nem absorbe etme kapasitelerini azaltmaktadır[51,52].

Mohanty ve ark (2004) jüt liflerinin yüzey modifikasyonu için MAHgPP bağlayıcı maddesini kullanmışlardır. %0,5'lik MAHgPP-toluen çözeltisi ile yapılan muamelelerin kompozitin eğilme direncini %72,3 oranında arttırdığı görülmüştür[53]. Rahman ve ark (2009) maleik asit ile yapılan muamele sonrası jüt takviyeli polipropilen kompozitin daha az su absorbe ettiğini belirtmişlerdir [52].

5. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE KULLANIM ALANLARI

Doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin üretimi çoğunlukla kalıplama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Takviye malzemesi olan doğal lifler kesikli lif ya da yüzey halinde kullanılabilir. Kesikli lifler kalıp içerisine gelişigüzel ya da tek yönlü(unidirectional), yüzey halindeki takviye malzemeleri ise katmanlar halinde yerleştirilebilmektedir. Kalıplama yönteminin seçim kriteri kullanılacak malzemelerin yapısına, çeşidine ve maliyetine bağlı olarak değişmektedir. Doğal lif takviyeli kompozitlerde kalıplama materyali olarak genellikle polimerik malzemeler kullanılmaktadır. Doğal lif takviyeli malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemler [54,55] bu bölümde kısaca anlatılmaktadır.

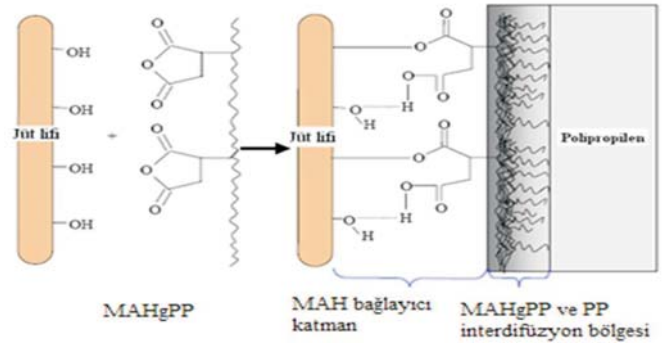
5.1. Kompozit malzemelerin üretimi

5.1.1. Kalıplama tekniği ile kompozit üretimi

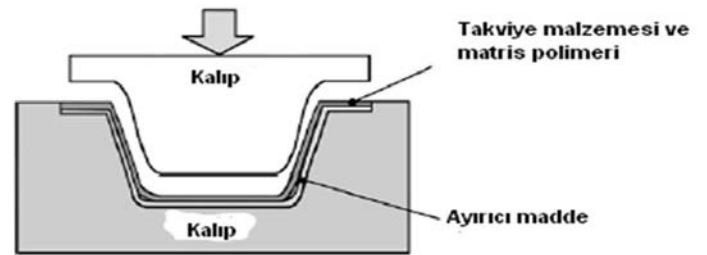
Genellikle iki kalıp kullanılan kalıplama tekniğinde matris ile emdirilmiş takviye malzemesi önceden ayırıcı madde uygulanan alt kalıba yerleştirildikten sonra üst kalıp par-

çası kapatılarak basınç uygulanmaktadır (Şekil 8). Ortam sıcaklığında ya da daha yüksek sıcaklıkta polimerizasyon işlemi gerçekleşmektedir.

Günlük yaklaşık ortalama 200 adet ürün üretilmesine imkân veren kalıplama tekniği özellikle otomobil, havacılık ve uzay sanayi parçalarının üretiminde kullanılmaktadır [56].



Şekil 7. Arayüzeyde jüt lifi ve MAHgPP bağlayıcı madde etkileşimi [34]



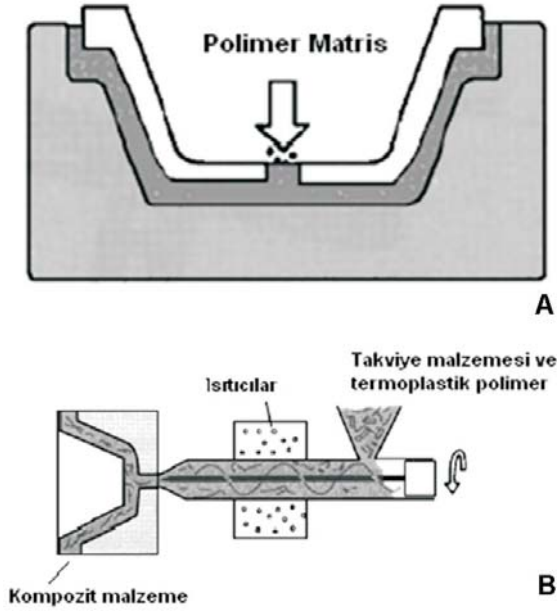
Şekil 8. Kalıplama tekniği ile kompozit üretimi [56]

5.1.2. Enjeksiyon tekniği ile kompozit üretimi

Enjeksiyon tekniği ile kompozit üretiminde takviye malzemesi alt ve üst kalıp arasına yerleştirildikten sonra polimer reçine enjekte edilmektedir (Şekil 9a). Ayrıca kesikli lif formundaki takviye malzemesi ve polimer karışımı ısıtma işlemine tabi tutulmakta ve kalıplara enjekte edilerek kompozit üretilmektedir (Şekil 9b). Düşük basınç uygulanan bu yöntemde dikkat edilmesi gereken nokta, polimerin takviye malzemesi içerisine iyi işlenebilmesi için polimer enjeksiyonu öncesinde kalıplar arasındaki havanın vakumlanması gerekliliğidir. Üretim maliyeti yüksek olan enjeksiyon tekniği genellikle otomobil gövdesi parçalarının üretiminde uygulanmaktadır [56].

5.2. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Günümüzde kompozit malzemeler otomotiv ve havacılık sanayinden inşaat sektörüne spor malzemelerinden ev eşyalarına kadar birçok kullanım alanı için üretilme imkânı bulmaktadır. Bugün yaygın olarak uçak, roket, füze gövdelerinde ve yüksek kalitede spor malzemeleri alanlarında kullanıldığı gibi lastik, otomotiv sanayi, beyaz eşya ve basınca dayanımlı boru yapımında da kullanılan kompozit malzemelere önümüzdeki yıllarda uzay ve havacılık başta olmak üzere robotik ve gelişen diğer teknolojilerde daha çok ağırlık verileceği öngörülmektedir [26].



Şekil 9. Enjeksiyon tekniği ile kompozit üretimi [56]

6. SONUÇ

Bu çalışmada, doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde en sık kullanılan teknikler ve üretim parametreleri ile ilgili literatürdeki araştırmalar incelenmiş ve bunların önemli noktaları ele alınarak değerlendirilmiştir. Son yıllarda polimer teknolojisinde kullanılan her materyalin özellikle çevreye uyarlanmasına ve ekolojik olmasına dair gündem güne artan bir talep oluşmaktadır. Polimere hem mukavemet ve dayanıklılık kazandıran hem de biyoyoumluluk özelliği ile ön plana çıkan doğal liflerin takviye edilmesi ile geliştirilen kompozit malzemeler çok farklı alanlarda üstün özellikleri ile alternatif ürün olarak kullanım olanağı bulmaktadır. Ayrıca hidrofob karakterdeki sentetik polimerler ile hidrofil özellikteki doğal lifler arasındaki uyumu ve bağlanmayı arttırmak amacıyla uygulanan farklı yüzey modifikasyon işlemleri kompozit materyalin fiziksel ve performans özelliklerini geliştirerek kullanım alanlarını çeşitlendirmektedir.

KAYNAKLAR

1. Mohanty, A.K., Misra, M. ve Hinrichsen, G., (2000), *Biofibres, Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview*, Macromolecular Materials and Engineering, 276/277, 1-24.
2. Doan, T.T.L., Brodowsky, H. ve Mader, E., (2007), *Jute Fibre/Polypropylene Composites II. Thermal, Hydrothermal and Dynamic Mechanical Behaviour*, Composites Science and Technology, 67, 2707-2714.
3. Hong, C.K., Hwang, I., Kim, N., Park, D.H., Hwang, B.S. ve Nah, C., (2008), *Mechanical Properties of Silanized Jute-Polypropylene Composites*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 14, 71-76.

4. Uma Dewi, L., Bhagawan, S.S. ve Thomas, S., (1997), *Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber-Reinforced Polyester Composites*, Journal of Applied Polymer Science, 64, 1739-1748.
5. Arranberri-Askargorta, I., Lampke, T. ve Bismarck, A., (2003), *Wetting behavior of flax fibers as reinforcement for polypropylene*, Journal of Colloid and Interface Science, 263, 580-589.
6. Xu, Y., Wu, Q., Lei, Y., Yao, F. ve Zhang, Q., (2008), *Natural Fiber Reinforced Poly(vinyl chloride) Composites: Effect of Fiber Type and Impact Modifier*, Journal of Polymers and The Environment, 16, 250-257.
7. Garcia, M., Garmendia, I. ve Garcia, J., (2008), *Influence of Natural Fiber Type in Eco-Composites*, Journal of Applied Polymer Science, 107, 2994-3004.
8. Harmancıoğlu, M. ve Yazıcıoğlu, G., (1979), *Bitkisel Lifler*, Ege Üniversitesi Tekstil Fakültesi Yayınları, No:3, İzmir.
9. Doan, T.T.L., Gao, S.L. ve Mader, E., (2006), *Jute/ Polypropylene Composites I. Effect of Matrix Modification*, Composites Science and Technology, 66, 952-963.
10. Van de Weyenberg, I., Ivens, J., De Coster, A., Kino, B., Baetens, E. and Verpoest, I., (2003), *Influence of Processing and Chemical Treatment of Flax Fibres on their Composites*, Composites Science and Technology, 63, 1241-1246.
11. Cantero, G., Arbelaiz, A., Llano-Ponte, R. ve Mondragon, I., (2003), *Effects of Fibre Treatment on Wettability and Mechanical Behaviour of Flax/Polypropylene Composites*, Composites Science and Technology, 63, 1247-1254.
12. Van Den Oever, M.J.A., Bos, H.L. ve Van Kemenade, M.J.J.M., (2000), *Influence of the Physical Structure of Flax Fibres on the Mechanical Properties of Flax Fibre Reinforced Polypropylene Composites*, Applied Composite Materials, 7, 387-402.
13. Wibowo, A.C., Mohanty, A. K., Misra M., ve Drzal, L.T., (2004), *Chopped Industrial Hemp Fiber Reinforced Cellulosic Plastic Biocomposites: Thermomechanical and Morphological Properties*, Industrial Engineering Chemistry Research, 43(16), 4883-4888.
14. Dhakal, H.N., Zhang, Z.Y. ve Richardson, M.O.W., (2007), *Effect of Water Absorption on The Mechanical Properties of Hemp Fibre Reinforced Unsaturated Polyester Composites*, Composites Science and Technology, 67, 1674-1683.
15. Liu, X.Y. ve Dai, G.C., (2007), *Surface Modification and Micromechanical Properties of Jute Fiber Mat Reinforced Polypropylene Composites*, Express Polymer Letters, 1(5), 299-307.
16. Gassan, J. ve Bledzki, A.K., (1999), *Possibilities for Improving the Mechanical Properties of Jute/Epoxy Composites by Alkali Treatment of Fibres*, Composites Science and Technology, 59, 1303-1309.
17. Rout, J., Misra, M., Tripathy, S.S., Nayak, S.K. ve Mohanty, A.K., (2001), *The Influence of Fiber Surface Modification on the Mechanical Properties of Coir-Polyester Composites*, Polymer Composites, 22(4), 468-476.
18. Hill, C.A.S. ve Khalil Abdul, H.P.S., (2000), *Effect of Fiber Treatments on Mechanical Properties of Coir or Oil Palm Fiber Reinforced Polyester Composites*, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 78, 1685-1697.
19. Ardanuy, M., Algaba, I., Garcia-Hortal, J.A., Lopez-Gil, A. ve Rodriguez-Perez, M.A., (2010), *Morphology and Mechanical Properties of Biocomposites Based on Thermoplastic Starch and Cellulosic Fibers from Agricultural Residues*, IV. International Technical Textiles Congress, İstanbul.
20. <http://nutrition.jbpub.com/resources/chemistryreview9.cfm>, Mart, 2011.
21. Taj, S., Munawar, M.A. ve Khan, S., (2007), *Natural Fiber-Reinforced Polymer Composites*, Pakistan Academy of Sciences, 44(2), 129-144.
22. Lewin, M., (2006), *Handbook of Fiber Chemistry*, CRC Pres, USA.
23. Hockenberger, A., (2004), *Tekstil Fiziği*, Alfa Yayınları, 1. Baskı, İstanbul.
24. Li, X., Tabil, L.G. ve Panigrahi, S., (2007), *Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review*, Journal of Polymer Environment, 15, 25-33.
25. Saheb, N. ve Jog, J.P. (1999). *Natural Fiber Polymer Composites: A Review*, Advances in Polymer Technology, 18(4), 351-363.

26. Yıldızhan, H., (2008), *Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı.
27. Ulcay, Y. 1989. *The Effect of Surface Treatment on the Bonding Properties of Spectra Fibers for Use in Composites Structures*. Maryland College Park University, USA.
28. Ulcay, Y., Akyol, M. ve Gemci, R., (2002), *Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 7(1), 93-116.
29. Oksman, K., Skrifvars, A. ve Selin, J.F., (2003), *Natural Fibers as Reinforcement in Poly(lactic Acid) (PLA) Composites*, *Composites Science and Technology*, 63, 1317-1324.
30. Mohanty, A.K., Wibowo, A., Misra, M. ve Drzal, L.T., (2004), Effect of Process Engineering on The Performance of Natural Fiber Reinforced Cellulose Acetate Biocomposites, *Composites: Part A*, 35, 363-370.
31. Karahan, M., (1994), *Kompozit Malzemeler için Yüksek Performanslı Spectra Liflerinde Arabirim Kuvvetinin Çeşitli Kimyasal Etkisinde İncelenmesi*. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
32. Raj, R.G. ve Kokta, B.V., (1989), *Compounding of Cellulose Fibers with Polypropylene: Effect of Fiber Treatment on Dispersion in The Polymer Matrix*, *Journal of Applied Polymer Science*, 38, 1987-96.
33. Mittal, K.C., (1992), *Silane and Other Coupling Agents*. VSPBV, Hollanda.
34. Doan, T.T.L., (2006), *Investigation on Jute Fibres and Their Composites Based on Polypropylene and Epoxy Matrices*, Doktora tezi, Der Fakultät Maschinenwesen Der Technischen Universität Dresden.
35. Seki, Y., (2009), *Innovative Multifunctional Siloxane Treatment of Jute Fiber Surface and Its Effect on The Mechanical Properties of Jute/Thermoset Composites*, *Materials Science and Engineering A*, 508, 247-252.
36. Mishra, S., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S. K. ve ark., (2003), *Studies on Mechanical Performance of Biofiber/Glass Reinforced Polyester Hybrid Composites*, *Journal of Composite Science Technology*, 63, 1377-1385.
37. Bledzki A. K. ve Gassan, J., (1999), *Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibers*, *Progress in Polymer Science*, 24, 221.
38. George, J., Sreekala, M.S. ve Thomas, S., (2001), *A Review on Interface Modification and Characterization of Natural Fiber Reinforced Plastic Composites*, *Polymer Engineering and Science*, 41(9), 1471-1485.
39. Agrawal, R., Saxena, N. S., Sharma, K. B., Thomas, S. ve Sreekala, M. S., (2000), *Activation and Crystallization Kinetics of Untreated and Treated Oil Palm Fiber Reinforced Phenol Formaldehyde Composites*, *Materials Science and Engineering: A*, 277, 77-82.
40. Park, J. M., Kim, P.G., Jang, J.H., Wang, Z., Hwang, B.S., ve DeVries, K.L., (2008), *Interfacial Evaluation and Durability of Modified Jute Fibers/Polypropylene (PP) Composites Using Micromechanical Test and Acoustic Emission*, *Composites: Part B*, 39, 1042-1061.
41. Sever, K., Sarıkanat, M., Seki, Y., Erkan, G. ve Erdoğan, Ü.H., (2010), *The Mechanical Properties of c-Methacryloxypropyltrimethoxy Silane-Treated Jute/Polyester Composites*, *Journal of Composite Materials*, 44(15), 1913-1924.
42. Mohanty, A.K., Misra, M. Ve Drzal, L.T., (2002), *Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in The Green Materials World*, *Journal of Polymers and The Environment*, 10, 19-26.
43. Manikandan-Nair, K.C., Thomas, S. ve Groeninckx, G., (2001), *Thermal and Dynamic Mechanical Analysis of Polystyrene Composites Reinforced with Short Sisal Fibers*, *Composites Science and Technology*, 61, 2519-2529.
44. Mishra S., Misra M., Tripathy S. S., Nayak S. K. ve Mohanty A. K., (2001), *Graft Copolymerization of Acrylonitrile on Chemically Modified Sisal Fibres*, *Macromolecular Materials and Engineering*, 286, 107-113.
45. Paul, A., Joseph, K. ve Thomas, S., (1997), *Effect of Surface Treatments on The Electrical Properties of Low-Density Polyethylene Composites Reinforced with Short Sisal Fibers*, *Composite Science and Technology*, 57(1), 67-79.
46. Sreekala, M.S., Kumaran, M.G., Joseph, S., Jacob, M. ve Thomas, S., (2000), *Oil Palm Fibre Reinforced Phenolformaldehyde Composites: Influence of Fibre Surface Modifications on The Mechanical Performance*, *Applied Composite Materials*, 7, 295-329.
47. Khan, J.A., Khan, M.A., Islam, R. ve Gafur, A., (2010), *Mechanical, Thermal and Interfacial Properties of Jute Fabric-Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Potassium Dichromate*, *Materials Sciences and Applications*, 1, 350-357.
48. Gassan, J. ve Gutowski, V.S. (2000), *Effects of Corona Discharge and UV Treatment on The Properties of Jute-Fibre Epoxy Composites*, *Composites Science and Technology*, 60, 2857-2863.
49. Xu, X., Wang, Y, Zhang, X., Jing, G., Yu, D. ve Wang, S., (2006), *Effects on Surface Properties of Natural Bamboo Fibers Treated with Atmospheric Pressure Argon Plasma*, *Surface and Interface Analysis*, 38: 1211-1217.
50. Seki, Y., Sarıkanat, M., Sever, K., Erden, S. ve Güleç, H.A., (2011), *Effect of The Low and Radio Frequency Oxygen Plasma Treatment of The Jute Fiber on Mechanical Properties of Jute Fiber/Polyester Composite*, *Fibers and Polymers*, 11(8), 1159-1164.
51. Rana, A.K., Mandal, A., Mitra, B.C., Jacobson, R., Rowell, R. ve Banerjee, A.N., (1998), *Short Jute Fiber-Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Compatibilizer*, *Journal of Applied Polymer Science*, 69, 329-338.
52. Rahman, R. ve Hasan, M., Huque, M. ve Islam, N., (2009), *Physico-Mechanical Properties of Maleic Acid Post Treated Jute Fiber Reinforced Polypropylene Composites*, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 00, 1-17.
53. Mohanty, S., Nayak, S.K., Verma, S.K. ve Tripathy, S.S., (2004), *Effect of MAPP as a Coupling Agent on the Performance of Jute-PP Composites*, *Journal of Reinforced Plastics and composites*, 23(6), 625-637.
54. Wibowo, A.C., Mohanty, A. K., Misra M., ve Drzal, L.T., (2004), *Chopped Industrial Hemp Fiber Reinforced Cellulosic Plastic Biocomposites: Thermomechanical and Morphological Properties*, *Industrial Engineering Chemistry Research*, 43(16), 4883-4888.
55. Doan, T.T.L., Gao, S.L. ve Mader, E., (2006), *Jute/Polypropylene Composites I. Effect of Matrix Modification*, *Composites Science and Technology*, 66, 952-963.
56. Gay, D., Hoa, S.V. ve Tsai, S.W.(2003), *Composite Materials Design and Applications*, CRC Press LLC.