

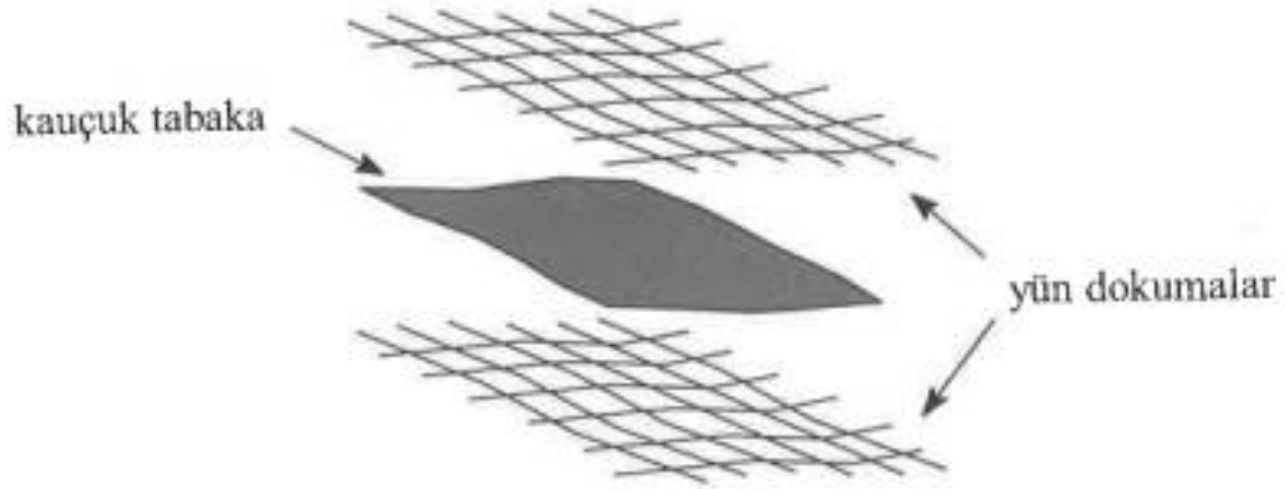
BÖLÜM 10

POLİMER KOMPOZİTLERİ

Kompozitler, farklı maddelerin istenilen amaca yönelik, belli düzende bir araya getirilmesiyle hazırlanan malzemelerdir. Kompoziti oluşturan maddelerin arasında birincil kimyasal etkileşimler bulunmaz ve çoğu kez kompozitteki bileşenlerin birbirleri ile temas ettiği noktalar gözle ayırt edilebilir. Kompozit malzemeleri hazırlamadaki temel amaç, değişik maddelerin iyi özelliklerini tek bir madde altında birleştirebilmektir.

Şekil 10.1 de iki yün dokuma arasına kauçuktan yapılmış bir tabakanın yerleştirilip ısı altında sıkıştırılmasıyla hazırlanabilecek, üç katmanlı bir polimer-polimer kompoziti basit olarak gösterilmiştir. Böyle bir kompozit yağmurluk yapımına, saf yün ve saf kauçuktan daha uygundur. Kauçuk bileşen sudan etkilenmeyi önlerken, pamuk dokuma giyim kolaylığı sağlar.

Kompozit malzemelerin kullanımı uzun yıllar öncesine dayanır. Çamur ile saman (kerpiç) veya diğer bitkilerin karıştırılması ile hazırlanan kompozitler, ilk kullanılan yapı malzemeleridir. Günümüz inşaat sektörünün en önemli yapı malzemesi olan beton, temelde çimento ve kumdan hazırlanan bir kompozittir. Beton dökümü sırasında çoğu kez takviye amacıyla demir çubuklardan yararlanılır ve başka bir kompozit malzemeye geçilir. Ticari amaçlı üretimi yapılan liflerle takviye edilmiş ilk polimerik kompozitler, fenolik reçinelerden ve melamin reçinelerinden hazırlanmıştır. Fiberglas ticari adı ile 1940 larda üretilen ve doymamış poliester ile cam liflerden hazırlanan kompozit iyi bilinen ve günümüzde de yaygın olarak kullanılan kompozitlerden birisidir.



Şekil 10.1 Pamuk ve kauçuktan her iki polimerin bazı iyi özelliklerini taşıyan bir kompozit hazırlanabilir.

En basit kompozit malzeme, *takviye edici* ve *matris* adları verilen iki bileşenden oluşur. Takviye edici, kompozitin mekanik dayanıklılığından sorumludur ve dayanıklılığı artırıcı etkisi çoğu kez kompozit içerisindeki hacmi %10 unu geçtiğinde gözlenmeye başlar.

Kompozitin matris bileşeni, takviye maddesini bir arada tutma yanında takviye ediciyi dış etkilerden korur, ayrıca kompozitin şeklini belirler. Bir kompozitin kullanım sıcaklığı matrisin kullanım sıcaklığı ile sınırlıdır. Matris malzeme kompozit boyunca sürekli faz halindedir, takviye edici genellikle kompozitin kesikli fazıdır.

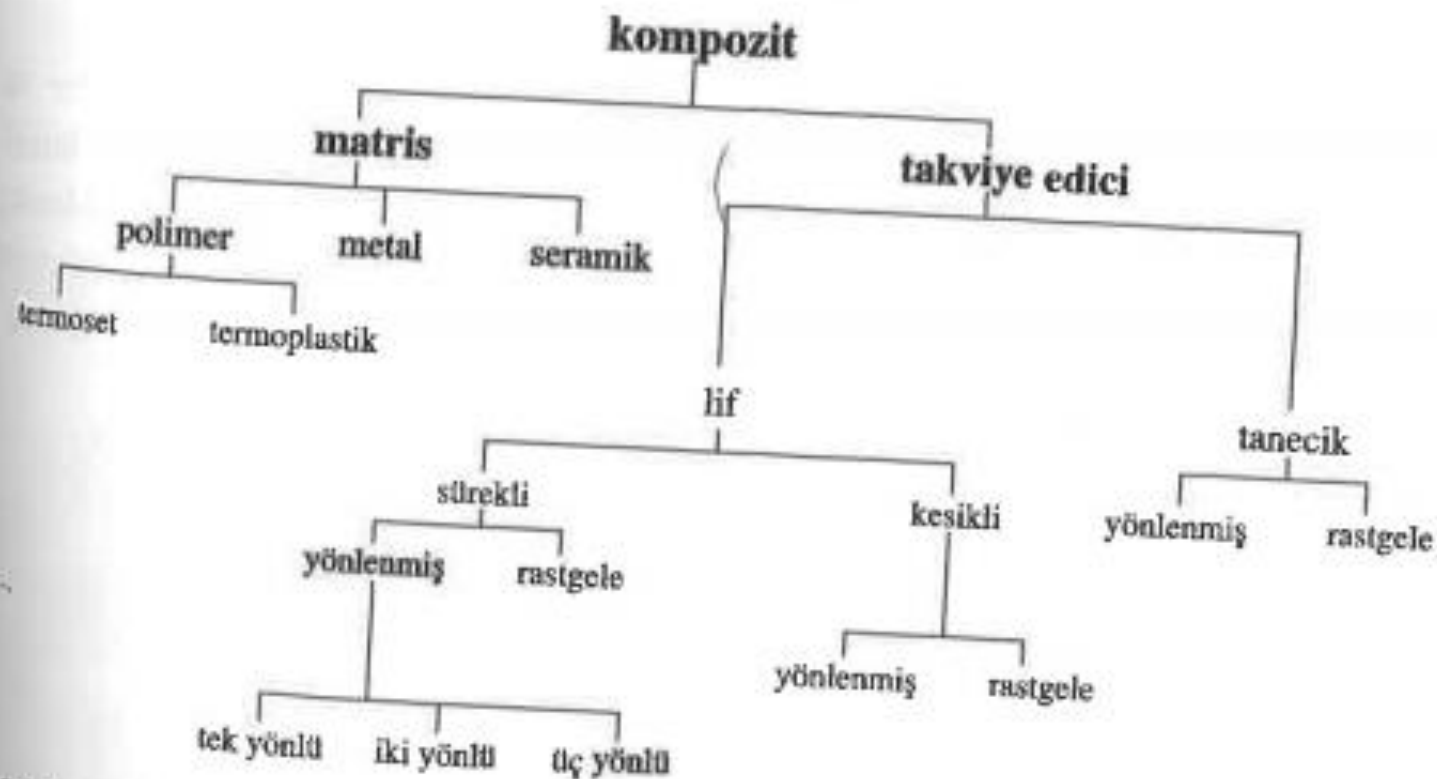
Polimerik kompozitler uzay araçlarındaki metal parçaları, daha hafif ve dayanıklı başka malzemelerle değiştirmek amacıyla geliştirilmişlerdir. Kompozitlerin metallerden üstün oldukları noktalar,

- *spesifik dayanıklılık*: cam lif takviyeli çoğu kompozitin birim kütle başına vurma dayanımları, çelik ve titanyum gibi metallerle karşılaştırılabilir düzeydedir
- *fiyat*: kompozitler, yerlerini aldıkları metallerden genel de daha ucuzdur
- *kullanım yeri*: kompozit bileşenlerinin oranları ayarlanarak farklı özelliklerde ve değişik yerlerde kullanılabilecek ürünler hazırlanabilir
- *işlenebilirlik*: metallerin işlenmesinde fazlaca ısı enerjisi kullanılır, polimer kompozitlerinin işlenmeleri veya şekillendirilmeleri daha ekonomiktir

10.1 KOMPOZİTLERİN GRUPLANDIRILMASI

Kompozitler farklı yaklaşımlarla kendi içlerinde gruplandırılabilirler. Bunlardan en yaygını, takviye malzemesi ve matris türüne göre yapılanıdır (Şekil 10.3).

Kompozitlerde matris malzeme olarak polimerler, metaller veya seramikler kullanılabilir ve matris türüne göre kompozitler;



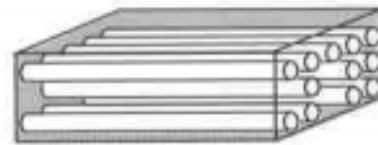
Şekil 10.3 Kompozitlerin gruplandırılması.

Tanecik takviyeli kompozitlerde, takviye amacıyla kullanılan malzemenin üç yöndeki boyutları arasında önemli ve belirgin bir fark yoktur. Pul, pelet, granül, küre, disk vb geometrilerdeki veya şekilsiz küçük kırıntılar bu grupta yer alır.

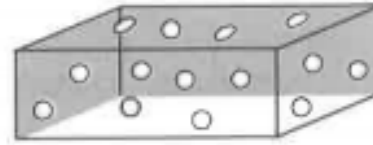
Polimerlere maliyeti düşürmek amacıyla dolgu maddeleri adı verilen kireç, kil, karbon siyahı, odun unu, kabuklar, saplar vb bazı tanecikli malzemeler karıştırılır. Ayrıca polimerleri bazı etkilere karşı korumak amacıyla antioksidant, ısı stabilizatörleri, alevlenmeyi geciktiriciler vb katkı maddeleri kullanılır. Ancak bazı katkı maddeleri polimerlerin dayanıklılığını artırsa da, sözü edilen maddelerin karıştırıldığı polimerler kompozit grubunda değerlendirilmezler.

Lif tanımı, makroskobik açıdan homojen, boyu kesitinin en az 100 katı olan esnek malzemeler şeklinde yapılır ve değişik lifler kompozitlerde takviye amacıyla kullanılır. Lif takviyeli kompozitlerde dışarıdan yapılan yüklemeleri karşılayan ana bileşen liftir, polimer matris ise lifleri istenilen geometride birarada tutan çevreyi oluşturur. Bu nedenle takviye amacıyla kullanılan lifin mekanik dayanımı matrisden belirgin yüksek olmalıdır.

Kompozitlerde lifler yanında düz, çapraz vb dokumalar, sürekli fitiller ve keçeler takviye amacıyla kullanılmaktadır. Liflerin en önemli özelliklerinden birisi, kompozit yapı içerisindeki yönlendirmelerinin kontrol edilebilmesidir. Dokuma yapısındaki lifler, dokumanın doğası gereği yönlendirilmiş haldedirler ve takviye özellikleri yüksektir. Günümüzde üretilen kompozitlerin %90 ı, liflerle takviye



(a)



(b)

Şekil 10.4 (a) Lif ve (b) tanecik takviyeli kompozit iç yapısı.

10.2 POLİMER KOMPOZİTLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Polimerik kompozitler; korozyona dirençli, uzun süreli kullanımlara yatkın, işlenmeleri kolay, hafif, karmaşık geometrilerde biçimlendirilebilen, birim kütle başına yük taşıma özellikleri yüksek malzemelerdir. Bu üstün özelliklerinden dolayı aşağıda örnekleri verilen alanlarda kullanılırlar.

- *havacılık ve askeri amaçlı:* Lif takviyeli kompozitler, havacılık ve askeri uygulamalarda hafiflikleri ve birim kütleleri başına yüksek yük taşıma özellikleri nedeniyle yeğlenirler. Uçakların kanatları, gövdeleri ve bazı parçaları aramitler ve karbon liflerle takviye edilmiş polimerlerden yapılır. Uçaklarda en yaygın kullanılan matris polimer epoksitlerdir ve örneğin karbon veya aramit takviyeli epoksit kompozitleri uçak ağırlığının yaklaşık %70 ine kadar çıkabilmektedir. Lif takviyeli epoksit polimerlerinden ayrıca ticari ve askeri helikopterlerin pervaneleri yapılır.
- *uzay uygulamaları:* Lif takviyeli kompozitlerin uzay araçlarında kullanılmalarının en önemli nedeni hafiflikleridir. Uzay mekiklerinde aramit liflerle takviye edilen yüksek performanslı polimerlerden yapılmış basınç kapları kullanılır. Lif takviyeli kompozitlerin uzay teknolojisinde kullanılmalarının bir diğer nedeni, geniş sıcaklık aralığında boyutsal kararlılıklarını koruyabilmeleridir. C-tipi cam takviyeli epoksiler yapay uydularda, uzay teleskoplarında kullanılmaktadır.
- *otomobil sanayi:* Otomobillerin dış yüzeylerinde kullanılan parçalarda (kapıların dış paneli, motor kaputu, tamponlar gibi) darbe dayanımı ve iyi görünüş gibi özellikler önemlidir. Kompozitler bu özellikleri karşılayabilecek malzemelerdir. C-cam lif ve aramit takviyeli kompozitler otomobillerde kullanım açısından günümüz koşullarında pahalıdır, bu nedenle otomobillerde kullanımları sınırlıdır. Otomobillerin bazı parçaları daha ekonomik olan E-cam lif takviyeli poliestерler veya vinilesterlerden hazırlanan kompozitlerden yapılır.
- *spor malzemeleri:* Kompozitlerin yaygın kullanıldığı ve potansiyel kullanım yerlerinin artacağı önemli bir alan spor malzemeleridir. Tenis

10.3 MATRİS MALZEMELER

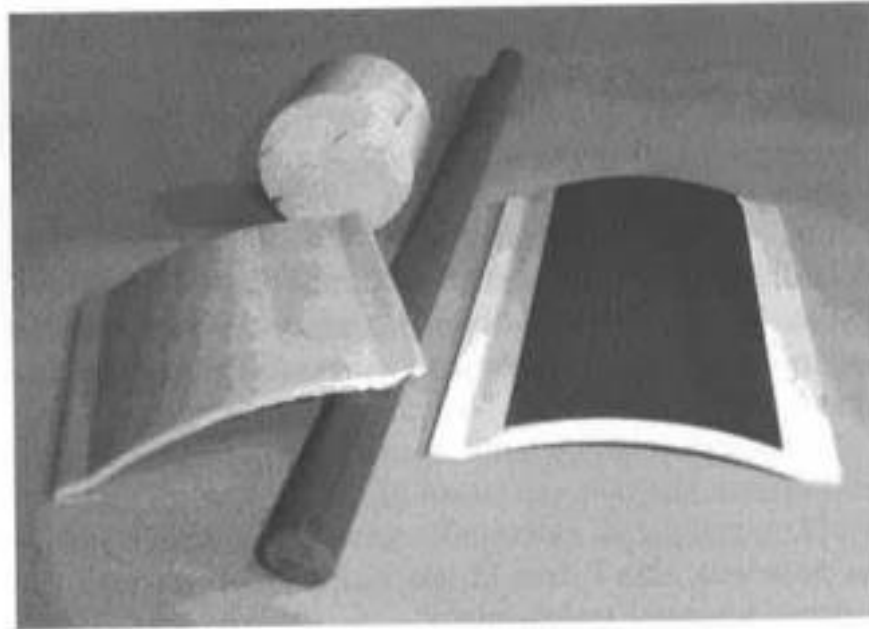
Kompozitlerde polimerler, metaller ve seramikler matris olarak kullanılan maddelerdir. Bu maddeler içerisinde polimerlerin özel bir yeri vardır ve kompozitlerin çoğu polimer matrislerden hazırlanır.

10.3.1 POLİMER MATRİSLER

Matris malzeme seçimi sırasında,

- mekanik özellikler
- geniş bir sıcaklık aralığında boyutsal kararlılık
- sıvılardan etkilenmeme

değerlendirilmesi gereken en önemli noktalardır.



Fotoğraf 10.1 Cam lif takviyeli doymamış poliesterden yapılmış kompozit ürünler.

Mekanik özellikler açısından matrisden yüksek germe modülü, yüksek kopma dayanımı vb özellikler beklenir. Bu özellikleri belli uygulamalarda standar polimerler olarak bilinen polietilen, polistiren vb termoplastikler bir dereceye kadar karşılarlar, ancak yetersizdirler. Termosetlerin, bazı yüksek performanslı termoplastiklerin ve mühendislik plastiklerinin mekanik özellikleri daha iyidir.

Termoplastikler yapıları gereği, belli sıcaklıklara kadar boyutlarını (şekillerini) korurlar ve camsı geçiş sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yumuşamaya başlarlar. Bu nedenle matris malzeme açısından yetersizdirler. Yüksek performanslı termoplastikler ve bazı mühendislik plastikleri yüksek sıcaklıklara dayanabilirler ve geniş bir sıcaklık aralığında kararlıdır. Termoset polimerler ise boyutsal kararlılık açısından üstündürler.

Hava ve kara taşıtlarında kullanılan kompozitler jet yakıtı, benzin, mazot, antifiriz vb sıvılarla karşılaşır. Benzer şekilde kompozitlerden yapılmış otomobil, makine vb parçaları sıvılarla temas edebilecek diğer ürünlerdir. Metal ve seramikler etkileşime yatkındır. Kompozitin temas ettiği sıvıların, kompozitin sürekli fazı olan matrisi çözmemesi, şişirmemesi veya herhangi bir özelliğinde zayıflatıcı etki yapmaması gereklidir. Termoset grubu polimerler sıvılara direnç açısından çözünebilir karakterdeki termoplastiklerden daha üstündürler.

Kompozit üretiminde kullanılacak termoset polimer genelde, içerisinde sertleştirici, katkı ve dolgu maddeleri karıştırılmış düşük viskoziteli ve düşük mol kütleli sıvı halindedirler. Bu karışıma uygulamada *termoset reçine* (kısaca reçine) adı da verilir. Kompozit yapımının ilk aşamasında takviye amacıyla kullanılacak lifler (veya dokumalar) reçine ile ıslatılır. Liflerin ıslatılması, reçinenin doğrudan lif üzerine sürülmesi veya liflerin reçine banyosundan geçirilmesi gibi tekniklerle yapılır.

İkinci aşamada, çapraz bağlanma tepkimeleri gerçekleştirilir ve reçine sert ağ-yapılı termoset polimere dönüşür. Böylece, termoset polimer matris içerisinde takviye edici liflerin gömülü olduğu, bir kompozit ürün elde edilir.

Kompozitlerde takviye liflerinin, matris polimer tarafından ıslatılma düzeyi oldukça önemlidir. Lifleri iyi ıslatan polimerlerle hazırlanan kompozitlerde, lif-polimer etkileşim kuvvetleri yüksek olacağından yeterli mekanik özellikleri karşılayabilirler.

Termoset reçineler genelde viskoziteleri düşük sıvılardır ve lifleri iyi ıslatırlar. Ayrıca kimyasal dirençleri yüksektir, srnmeleri ve gerilim gevşemeleri düşüktür. Bu açılardan termoplastiklerden iyidirler, ancak,

- sıvı hallerinde oda sıcaklığında uzun süreli depolanamamaları
- kalıplama sresinin polimerizasyon tepkimeleri nedeniyle uzun olması
- düşük vurma dayanımları

termosetlerin istenmeyen özellikleridir.

Termoplastikler zltilerinin ve eriyiklerinin yüksek viskozitesinden dolayı lifleri ıslatma düzeyleri yeterli değildir. Ayrıca yüksek viskozite, sürekli liflerin termoplastikler içerisine yerleştirilmesinde sorun yaratır. Bu iki özellik, termoplastiklerin matris malzemesi olarak kullanımlarını sınırlar. Termoplastik matrisler, sözü edilen olumsuzluklarının yanında aşağıda sıralanan noktalarda termosetlerden stndrlr.

- oda sıcaklığında sonsuz süre depolanabilme
- işleme sresinin kısalığı
- yeniden řekillendirilebilme
- onarım kolaylığı

Naylonlar ve polikarbonatlar, ticari kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan az sayıdaki termoplastikten ikisidir.

termoset matrisler

Termoset matrisli kompozitlerin üretiminde epoksitler, doymamış poliestерler, fenolikler, vinil esterler, termoset poliimitler, polibenzimitazoller kullanılabilir. En önemli ticari matris termosetler ise doymamış poliestерler, epoksitler ve fenoliklerdir.

Bölüm 8 de epoksitler, fenolikler ve doymamış poliestерlere yönelik bilgiler verilmiştir. Aşağıda, bu üç polimerin yalnız kompozit malzeme açısından değerlendirilmesi yapılacak, ayrıca daha çok kompozitlerde matris olarak tüketilen vinil esterler, termoset poliimitler ve polibenzimitazol termosetleri incelenecektir.

epoksitler (EP)

EP, önemli termoset matrislerdir. Genelde, bazik ortamda epiklorhidrin ve bisfenol A dan iki aşamalı polimerizasyonla üretilirler (Bölüm 8.1.3). İlk aşamada, zincir uçlarında epoksi grupları bulunan düşük mol kütleli, sıvı halde bir önpolimer elde edilir. Kompozit hazırlanırken önpolimerin içerisine çapraz bağlayıcı, boya, plastikleştirici gibi katkı maddeleri karıştırılır ve daha sonra takviye amacıyla

kullanılacak liflerle bir araya getirilerek kür edilir. Kür zamanı veya uygulanacak sıcaklık çapraz bağlayıcı türüne bağlıdır.

EP, çapraz bağlanma sırasında uçucu madde oluşturmaması, çapraz bağlanma sonrası çekme ve büzülme oranının düşüklüğü (%1-5), kolay işlenmeleri, ucuzlukları ve lifleri iyi ıslatmaları nedeniyle kompozitlerde matris amaçlı kullanıma yatkındırlar. Ancak, kırılmandırlar ve su adsorbsiyonları yüksektir. Adsorplanan su, takviye edici-polimer etkileşimlerini zayıflatır.

Liflerle takviye edilen EP in mekanik dayanımı, kimyasal direnci, elektrik yalıtımı ve atmosfer koşullarına dayanımı doymamış poliestерlerden daha iyidir. Genelde uzay ve hava araçlarında kullanılırlar. Aramit liflerle takviye edilen EP ler geniş bir sıcaklık aralığında dayanıklılıklarını koruyabilirler ve uçak kanat ve gövdelerinin ön kısımlarının yapımında (veya kaplanmasında), elektronik devrelerde, ayrıca boru, tank, depolama kapları, basınç kapları ve değişik aletlerin yapımında bu polimerden yapılmış kompozitlerden yararlanılır. Cam, asbest, pamuk, kağıt, metal folyeler ve sentetik lifler EP lerin takviyesinde kullanılan bazı maddelerdir. Roket motorları, filament sarma tekniğı ile üretilen EP kompozitleri ile kaplanarak korunurlar.

fenolikler (P)

Ticari üretimi en fazla yapılan fenolik reçine, fenol ve formaldehitten hazırlanandır (Bölüm 8.1.4). Fenolik reçineler, diğer termosetler gibi kırılmandır. Cam liflerle yapılan takviye, polimerin kırılmalığını azaltırken diğler bazı mekanik özelliklerini geliştirir. Cam lifler ayrıca, kimyasal yapıları gereğı ısı ve aleve karşı dayanıklı olan polimerin ısıya dayanımını daha da artırır. Bu nedenle fenolik kompozitler daha çok aleve ve ısıya dayanımın arandığı yerlerde kullanılırlar.

doymamış poliestlerler (UPE)

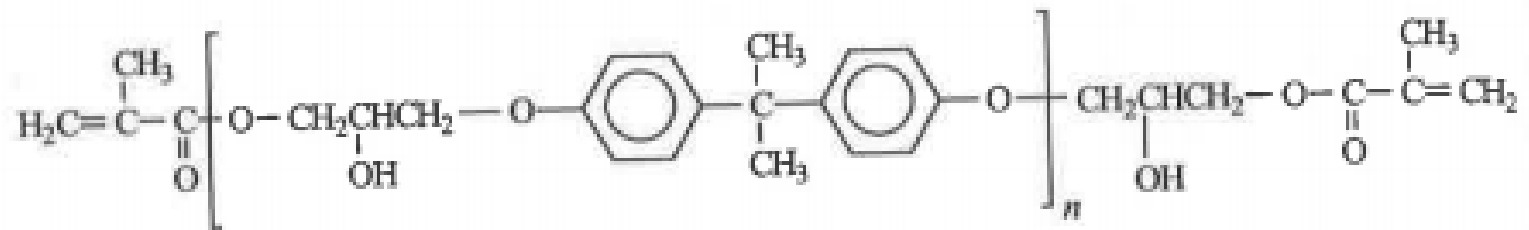
Poliester yapısındaki termoset matrisler, ana zincirinde karbon çift bağları bulunan UPE den hazırlanırlar. UPE ise, Bölüm 8.1.1 de ayrıntılı incelendiğı gibi maleik anhidrit gibi anhidritler ve etilen glikol ya da propilen glikol gibi glikollerden sentezlenir. UPE; takviye edici lifler yanında ve stiren, metil metakrilat gibi bir monomer varlığında 100-150 °C arası sıcaklıklarda yapılacak pişirmeyle radikalik mekanizma üzerinden çapraz bağı yapıya dönüştürölür.

UPE reçineleri pahalı değildir ve kür zamanları hızlıdır. Ayrıca girdiler ve polimerizasyon koşulları ayarlanarak sert, kırılmal, esnek veya yumuşak özelliklerde poliestler kompozitler hazırlanabilir. Ancak, kür işlemi sırasındaki hacim büzölmesi epoksilerden yüksektir.

Cam liflerle takviye edilmiş UPE den, inşaat ve yapı sektöründe oluklu ya da düz levhalar hazırlanır ve bu levhalar tavan kaplaması, güneşlik veya ayırma levhası vb yerlerde; tente, banyo aksesuarları, çit ve parmaklık yapımında; ulaşımda araçların gövde ve parçalarının yapımında; endüstride korozyona uğramadıkları için boruların, tankların, depoların, ızgaraların yapımında kullanılırlar.

vinil esterler

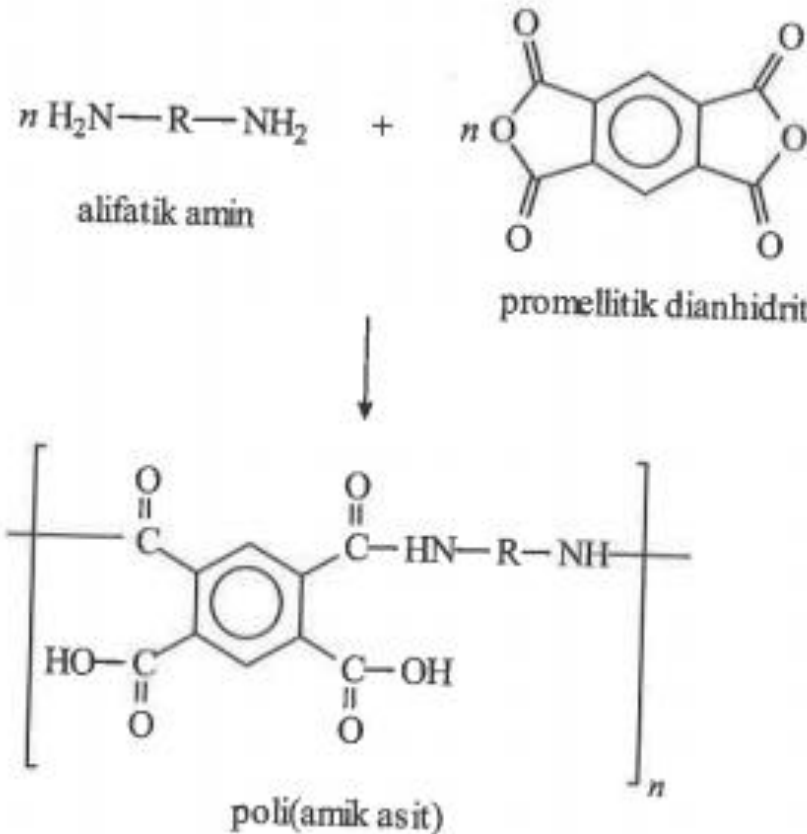
Vinil ester reçineleri, doymamış poliestерlerin kolay uygulama ve düşük fiyat özellikleri ile epoksilerin iyi ısı ve mekanik özelliklerini birleştirebilmek amacıyla geliştirilmişlerdir. Vinil ester reçinesi, epoksi reçinesi ve doymamış karboksilik asitten (genellikle metakrilik asit) sentezlenir.



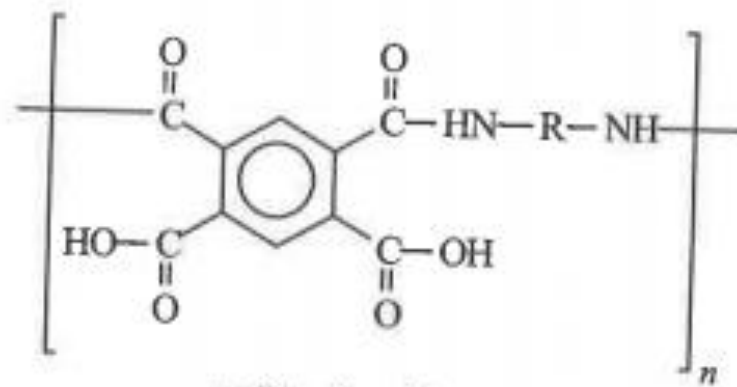
vinil ester ön polimeri

termoset poliimitler (TSPI)

Endüstriyel açıdan aromatik heterosiklik poliimitler (PI) önemlidir. Bu tür poliimitler çözünmez ve erimez oldukları için polimerizasyon sırasında yeterli mol kütesine ulaşamadan sistemden çökerek ayrılırlar. Bu nedenle PI sentezi iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada bir promellitik dianhidrit ve bir alifatik veya aromatik diaminle bir önpolimer olan poli(amik asit) hazırlanır.

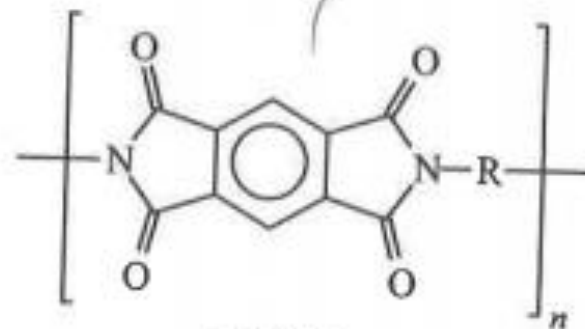


Poli(amik asit) önpolimeri üretilecek malzemenin kalıbına konur ve 300 °C dolayındaki sıcaklıklara ısıtılarak halkalı imit yapısına dönüştürülür. Tam imitleştirme ile erimeyen ve çözünmeyen bir polimer elde edilir.



poli(amik asit)

300 °C



poliimit
(polimellitimit)

Dianhidrit veya diamin türüne bağılı olarak farklı yapılar da PI ler hazırlanabilir. Maleik anhidrit ve benzofenon tetrakarboksilik anhidrit, m-fenilen diamin, m-fenilen diamin, 4,4'-diamino difenil metan ve 4,4'-diamino difenil eter, PI sentezinde kullanılabilecek dianhidrit veya diaminlere örneklerdir.

PI ler, kimyasal açıdan inert, ısıya ve çevre koşullarına dayanıklı polimerlerdir. Bu üstün özellikleri nedeniyle elektronik ve otomobil endüstrisinde cam, metal türü malzemeler yerine kullanılırlar. Yiyecek saklama kapları, otomobil şasesi, yapıştırıcı, mikrodalga fırınlarda pişirme kapları, elektronik devreler ise diğ er bazı kullanım yerleridir.

Kompozitlerin hazırlanmasında daha çok termoset PI ler (TSPI) kullanılır. TSPI ler, zincir uçlarında fonksiyonel gruplar bulunan tam imitleşmiş polimerin ileri ısıtılmasıyla elde edilir. Lif takviyeli kompozitler hazırlanırken, lifler sıvı haldeki polimerle ıslatılır ve daha sonra pişirme ile zincir uçlarındaki fonksiyonel gruplar üzerinden çapraz bağlanma gerçekleştirilir.

termoplastik matrisler

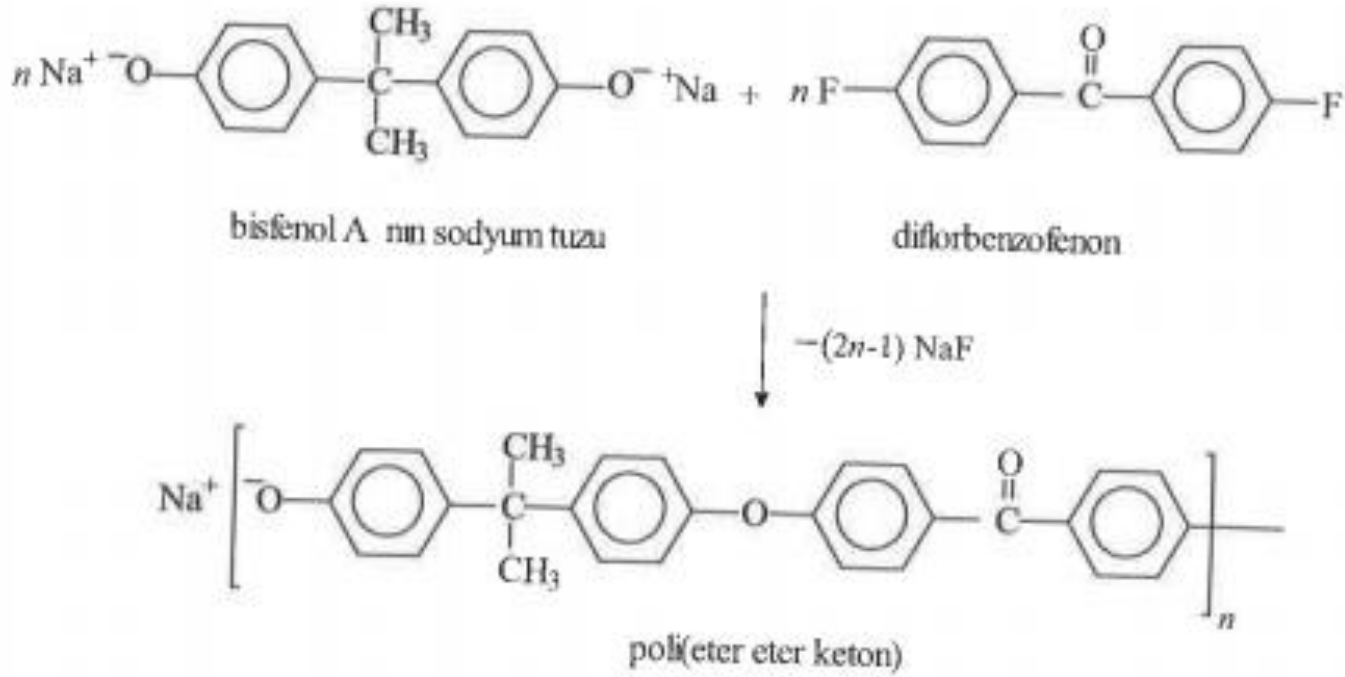
Termoplastiklerin vurma dayanımları termosetlerden iyidir. Ancak, sıvılardan etkilenmeleri ve uzun süreli yüklemelerde boyutlarının değişmesi polimerik kompozitlerde kullanımını sınırlar. Bölüm 7 ve Bölüm 11 de önemli bazı standart ve mühendislik termoplastiklerinin yapıları ve özellikleri verilmiştir. Aşağıda, polimerik kompozitlerde matris olarak kullanılan yüksek performanslı termoplastiklerden bazıları incelenecektir.

poli(eter eter keton) (PEEK)

Aşağıda, bisfenol A ve diflorbenzofenondan elde edilebilecek bir PEEK polimerinin yapısı görülmektedir. Polimerde iki eter ve bir tane keton grubu yer aldığı için poli(eter eter keton) adlandırması yapılır. Polimerin doğal rengi gri-kahverengi arasında değişir.

Erimiş haldeki PEEK hızla soğutulduğunda tamamen amorf yapıda katılaşır. Yavaş yapılacak soğutma ile kristal oranı en fazla %50 olan polimer elde edilir. Kompozit hazırlanışı sırasında takviye lifleri, kristallenme için çekirdek noktaları görevi yaparlar ve PEEK daha yüksek oranda kristallenir.

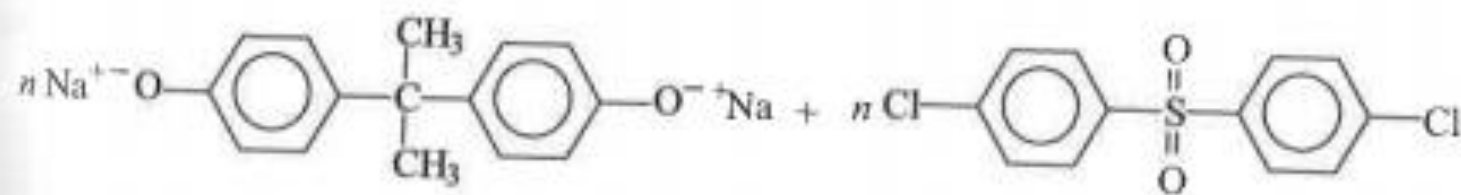
PEEK un camsı geçiş sıcaklığı 143°C , erime sıcaklığı 335°C ve maksimum kullanım sıcaklığı 250°C dir. Enjeksiyon, ekstruzyon, ısıt şekillendirme, şişirerek veya dönerek kalıplama, döküm vb yöntemlerle işlenir. Enjeksiyonla $370\text{-}400^{\circ}\text{C}$, ekstruzyonla $400\text{-}430^{\circ}\text{C}$ dolayındaki sıcaklıklarda eritilerek şekillendirilir.



PEEK ler epoksit matrislerin yerine kullanılabilecek en önemli termoplastik polimerlerdir. Havacılık, uzay ve teknik parçalar alanında kullanılan çoğu epoksit kompoziti, PEEK kompozitleri ile yer değiştirmektedir. Kırılmaya karşı epoksitlerden elli kat daha dayanıklıdır ve epoksitlerden çok daha az nem tutarlar. Hidrolize ve kimyasallara karşı direnci çok yüksektir, oksidasyon gücü yüksek birkaç kimyasalda çözünür. UV-ışınları yanında β , γ ve x-ışınlarına karşı da dayanıklıdır. Sürekli karbon lifi ile takviye edilmiş PEEK kompoziti, *aromatik polimer kompoziti* olarak bilinir.

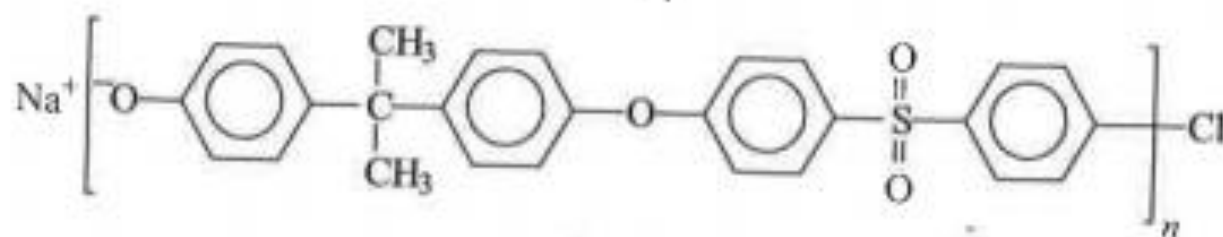
polisülfonlar (PSO,PSU)

Polisülfonlar, ana zincirinde sülfon grupları (SO_2) bulunan polimerlerdir. PSU sentezlemenin bir yolu, bisfenol A'nın disodyum tuzu ve 4,4'-diklorodifenil sülfon arasındaki nükleofilik yer değiştirme tepkimesini kullanmaktır.



bisfenol A'nın sodyum tuzu

4,4'-diklorodifenil sülfon



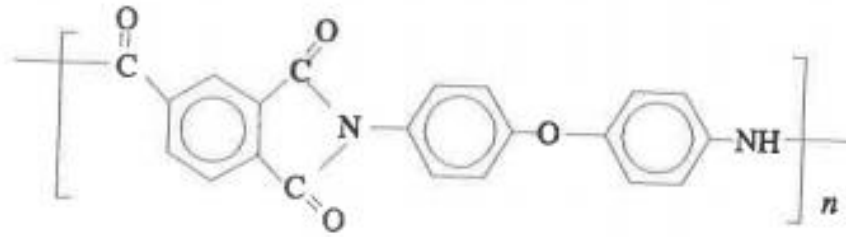
polisülfon

termoplastik poliimitler (TPPI)

Daha önce incelendiği gibi dianhidrit ve diaminlerden sentezlenen poliimitler (PI) çözünmeyen ve erimeyen polimerlerdir. Poliimit ana zincirleri içerisine aromatik polieter bağları veya alkil yan grupları yerleştirilerek, çözünebilen ve eriyebilen termoplastik karakterli PI ler geliştirilmiştir.

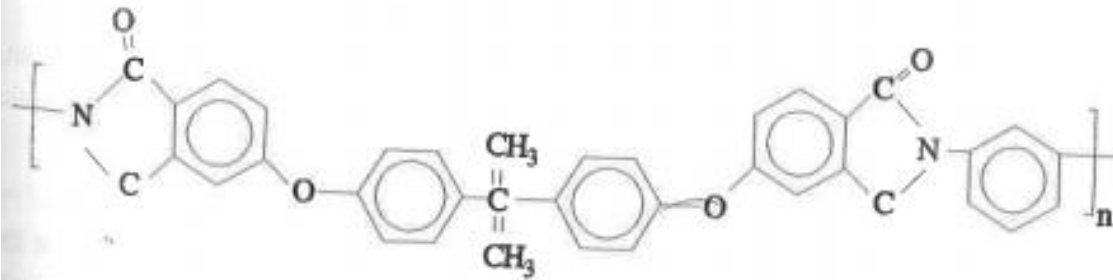
PI lerin eritilerek işlenmelerini sağlamak amacıyla uygulanan bir başka yaklaşım, PI ana zincirlerindeki imit yapısının amit ya da eterlerle birleştirilerek poliamitimit (PAI) ve polieterimitler (PEI) sentezlenmesi olmuştur.

Torlon ticari adı ile üretilen ve aşağıda yapısı verilen PAI de, imit grubu polimere yüksek sıcaklıklara dayanım kazandırırken, amin grubu zincir esnekliğini artırarak polimerin işlenmesini kolaylaştırır.



poliamitimit (PAI)

Aşağıda ise iki imit yapısı arasında, bisfenol A dan gelen m-fenilen diamin kalıntısının bulunduğu bir PEI yapısı görülmektedir.



polieterimit (PEI)

10.3.2 METAL MATRİSLER

Bazı metallerin, liflerle veya taneciklerle takviye edilerek kompozitleri üretilmektedir. Metal kompozitler aşağıda verilen noktalarda polimerik kompozitlerden üstündürler.

- dış etkilere, yüksek sıcaklıklara polimerlerden daha uzun süre dayanırlar
- çoğu metalin modülü ve akma dayanımı polimerlerden yüksektir
- dayanıklılıkları değişik kimyasal ve mekaniksel yöntemlerle daha da artırılabilir

Bu özelliklerinden dolayı uzay mekiklerinin, uçakların, elektronik aletlerin, otomobillerin bazı parçalarının yapımında metal matrisli kompozitlerden yararlanılır. Tungsten alaşımından yapılan liflerle takviye edilmiş metal alaşım kompozitleri 1000 °C gibi yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir ve bu kompozitlerden jet motorları yapılmaktadır. Metalik kompozitlerin,

- yoğunluklarının yüksekliği
- yüksek işleme sıcaklığı
- lif-metal arayüzeylerinde korozyona eğilim

gibi önemli dezavantajları vardır.

Alüminyum ve alaşımları, en önemli metal matrislerdir. Saf alüminyum, korozyona karşı direncin arandığı alanlarda, alüminyum alaşımları ise birim kütle başına yüksek dayanımın özelliğinin arandığı alanlarda yararlıdırlar.

Alüminyum, çoğunlukla karbon liflerle takviye edilir. Ancak, kompozitin işlenme sıcaklığı 500 °C nin üzerindedir ve bu sıcaklıkta alüminyum karbon ile etkileşerek alüminyum karpit (Al_4C_3) verir, alüminyum karpit ise kompozitin mekanik özelliklerini zayıflatır. Bu nedenle karbon lifler titanyum borit (TiB_2) ile kaplanarak korunur, kaplama aynı zamanda karbon liflerin alüminyum ile ıslanma özelliklerini de geliştirir.

10.3.3 SERAMİK MATRİSLER

Seramik kompozitler $\text{Li}_2\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, SiO_2 ve $\text{BaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Si}_3\text{N}_4$ (SiC ile) gibi seramik matrislerden hazırlanır. Takviye edici olarak ise daha çok Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 vb maddeler kullanılır.

Seramik kompozitlerin içerisinde boşlukların bulunma olasılığı yüksektir. Bu boşluklardan geçen takviye lifleri, matris ile çevrilmemiş haldedirler ve kompozite uygulanacak yüklemelerde eğilebilir veya kırılabilirler. Bu sorun seramik kompozitler içerisine bağlayıcı adı verilen maddeler katılarak giderilir. Bağlayıcılar, kompozitteki boşlukları doldurmanın yanı sıra, matris ile takviye lifleri arayüzeyinde esnek bir tabaka oluşturarak matris-takviye edici yapışma düzeyini yükseltirler.

10.4 TAKVİYE MALZEMELERİ

Kompozitlerde lifler ve farklı geometrilerde tanecikler takviye amacıyla kullanılır. Liflerin boyları, kesitlerinden belirgin olarak büyüktür. Tanecikli takviye edicilerin ise üç yöndeki boyutları yakındır ve belirgin farklılık bulunmaz.

Kompozitlerin yaklaşık %90 ı polimerik liflerle takviye edilerek üretilmektedir. Bu nedenle aşağıdaki bölümlerde takviye amacıyla kullanılan lifler ve liflerin kompozitlere kazandırdıkları özellikler ayrıntılı incelenecek, tanecikli takviye malzemelerine kısaca değinilecektir.

Çizelge 10.1 Metal matrislerde kullanılan bazı takviye malzemelerine örnekler.

metal matris	takviye malzemesi
alüminyum	grafit, alumina, bor, silisyum karpit lifler silisyum karpit, bor karpit tanecikler
titanyum	silisyum karpit, kaplanmış bor lifler titanyum karpit tanecikleri
bakır	silisyum karpit, grafit lifler silisyum karpit, bor karpit tanecikler
mağnezyum	grafit, alumina lifler silisyum karpit, titanyum karpit, bor karpit tanecikler

Çelik, tungsten, molibden vb metaller lif haline getirilebilmektedir. Ancak metal liflerin, çaplarının büyüklüğü ve yüksek yoğunlukları nedeniyle polimerlerin takviyesinde kullanımı sınırlıdır. Metal liflerle takviye edilmiş polimerik kompozitlere iyi bir örnek çelik liflerle takviye edilen araç lastikleridir.

10.4.1 LİFLER

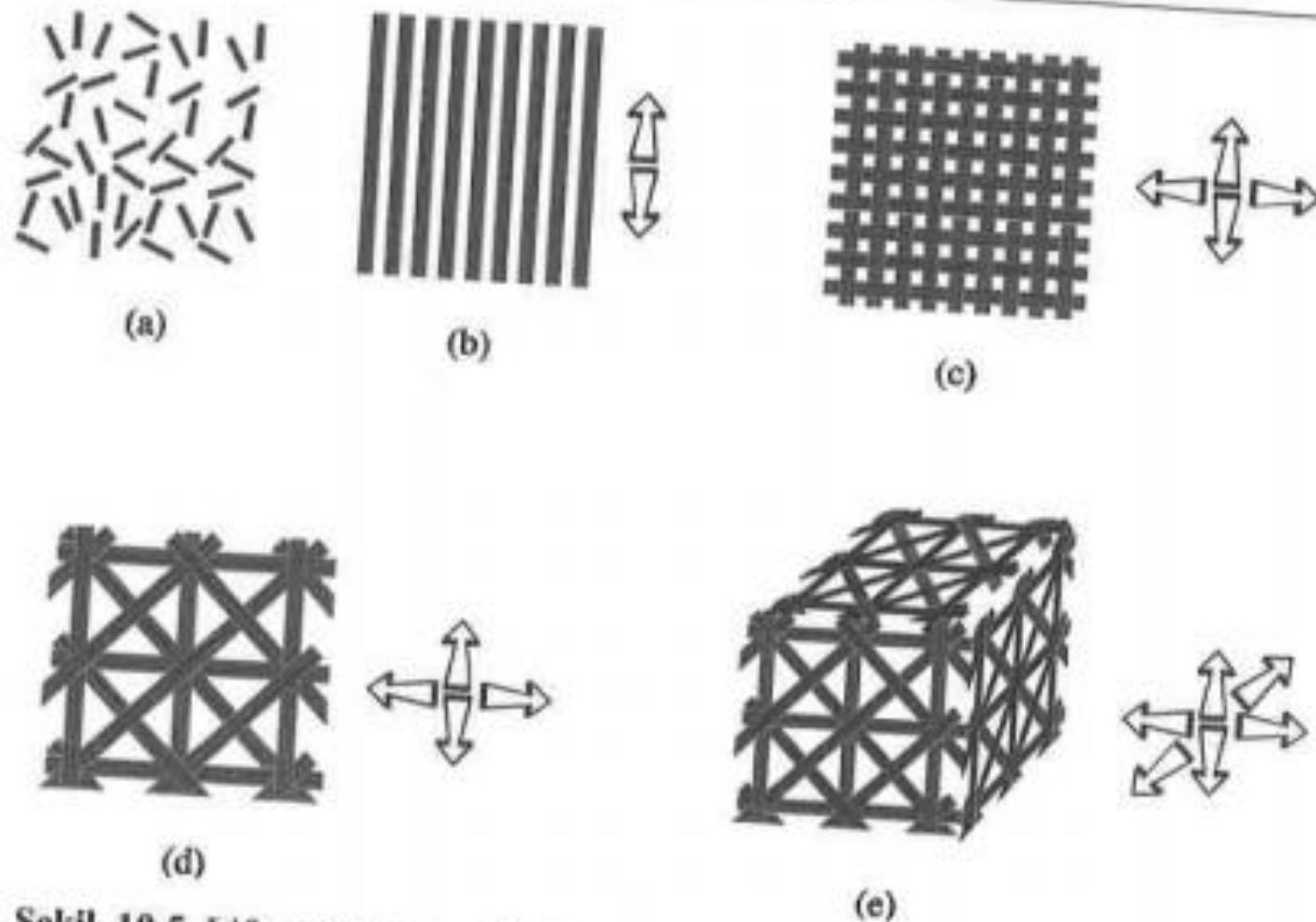
Lif takviyeli kompozitler, özellikle uzay ve havacılık alanlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş malzemelerdir. Dıştan yapılan yüklemeleri (enerjileri) başlıca kompozitin lif bileşeni karşılar, polimer matris ise enerjiyi liflere aktarır.

Uzay ve havacılık alanlarında ilk kullanılan kompozitler alüminyum alaşımlarından hazırlanmış ve uçakların bazı parçaları yüksek mekanik dayanımları ve hafifliklerinden dolayı alüminyum kompozitlerden yapılmıştır. Ancak alüminyum alaşımları korozyona ve metal yorulmasına uğrayabilen maddelerdir ve bu zayıf özelliklerin iyileştirilmesi pahalı işlemler gerektirir. Lif takviyeli polimerik kompozitlerde korozyon söz konusu değildir, ayrıca malzeme yorulması metallerdeki kadar hızlı gelişmez.

lif takviyeli kompozitlerin özellikleri

Lifler (filamentler) demet haline getirildiklerinde her zaman yapımlarında kullanılan polimerin yığın haline göre daha dayanıklıdırlar. Lif demeti üzerine dışarıdan bir etki yapıldığında, demette bulunan liflerden bazıları kopabilir veya yüzeylerinde çatlama, çizilme vb kusurlar oluşabilir. Demetin dış kuvvetler karşısında aldığı bu tür zararlar, yalnız etkilenen liflerle sınırlı kalır ve demet içerisindeki diğer liflere aktarılmaz. Yığın halindeki bir maddenin (cam parçası, polimer parçası vb) herhangi bir bölgesinde oluşan kusur malzeme içerisinde ilerler ve sonuçta malzemeyi kullanılamaz hale getirebilir. Bu özellik lif takviyeli kompozitlerin üstünlüklerinden birisidir.

Liflerin kompozit içerisine belli doğrultularda yerleştirilebilmesi, lif takviyeli kompozitlerin bir başka üstünlüğüdür. Lifler kompozit içerisine uygun geometrilerde yerleştirilerek, kompozitin çekme gibi yüklemelere farklı yönlerde farklı yanıtlar vermesi sağlanır (anizotropi). Örneğin kompozitin kopma dayanımı, liflerin yönlendirildiği eksene 90° lik açıdan yapılan yüklemelerde en büyük olacaktır. Benzer şekilde vurma dayanımı, ısı iletkenlik, ısı genleşme gibi davranışlar da liflerin yönlenme eksenine açısal bağlıdır. Liflerle yapılan takviye, lif yönlenmesi ayarlanarak sözü edilen özellikler yöne bağlı kontrolüne olanak sağlar.



Şekil 10.5 Lif ve dokuma takviyeli kompozitlerde liflerin kompozit içerisine yerleşim biçimlerine örnekler. (a) kesikli rastgele, (b) sürekli tek yönlü, (c) sürekli düzlemsel üç yönlü, (d) sürekli düzlemsel üç yönlü, (e) üç boyutlu (oklar, mekanik dayanımın iyi olduğu yönleri gösterir).

...yönünde artırılır.

Kompozitte kullanılacak liflerin miktarı ve boyutları, kompozitin üretileceği yöntemin türünü belirler. Örneğin termoplastikler boyları 5 mm ve daha küçük olan liflerle takviye edilerek ekstruzyon veya enjeksiyon gibi yöntemlerle şekillendirilirler. Kısa lifler, ekstruzyon işleminde ekstruder vida dişleri arasından veya ekstruder kafasından geçişte, enjeksiyonla kalıplamada yolluklardan ve kalıp giriş kanalından geçişte sorun yaratmaz. Ayrıca lif boyları kısa olduğu için sözü edilen yerlerden malzeme geçişinin yorumu, liflere göre değil kullanılan termoplastığın özellikleri göz önüne alınarak yapılır.

Kompozit içerisindeki lifin miktarı arttıkça ve boyu uzadıkça, şekillendirme yönteminin seçiminde ve kompozit malzemenin özelliklerinde lifin etkisi baskınlaşır. Uzunluğu 10 cm'den büyük liflerin kullanıldığı termoplastikler, ekstruzyon ve enjeksiyonla şekillendirilemezler. Ayrıca lif miktarı da yüksek ise, kompozit malzemenin mekanik özellikleri polimere değil life bağlı hale gelir.

Termoset polimerler yüksek mol kütlesi ve yoğun çapraz bağlar nedeniyle kısa liflerle takviyeden fazla etkilenmezler. Termosetler aynı zamanda uzun liflerle takviyeye de uygundurlar.

Genel bir kural olarak kompozitlerin mekanik dayanımı içlerindeki lif miktarı arttıkça yükselir, lif oranı belli bir değere ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Bunun nedeni, lif artışına bağlı olarak kompozit içerisindeki polimer miktarının azalmasıdır. Polimer, kompozit içerisindeki oranı belli bir değer altına düştüğünde matris işlevini kaybeder ve lifleri bir arada tutamaz.

Lif kalınlığı kompozit özelliklerini etkileyen bir diğer önemli faktördür. İnce liflerle hazırlanan kompozitlerde polimerin lifi ıslattığı alan büyüktür. Lif-polimer değme yüzeyinin artması, lif-polimer etkileşimleri arttırarak kompozit içerisinde yük (enerji) dağılımını kolaylaştırır. Bu nedenle aynı kütlede ince ve kalın liflerle takviye edilen kompozitlerden, ince liflerle takviye edileni daha dayanıklıdır.

Yukarıda yapılan değerlendirmelerden görülebileceği gibi, lif takviyeli polimerik kompozitler hazırlanırken lifler açısından bazı temel noktalara dikkat edilmesi gerekir. Bu noktalar aşağıda yeniden sıralanmıştır.

- lifin mekanik özellikleri
- lif miktarı
- lifin yönlenme biçimi
- lif kalınlığı

lif takviyeli kompozitlerde kullanılan lifler

Lif geometrisindeki her türlü malzeme kompozitler için bir takviye maddesi olabilir. Cam, karbon, aramit, bor, polietilen, poliamit, poliester, doğal lifler veya dokumalar kompozit hazırlamada kullanılan liflere örneklerdir. Bu lifler içerisinde genel amaçlı ticari kompozitlerde en fazla cam lifler, ileri kompozitlerde ise aramit ve karbon lifler kullanılmaktadır. Çizelge 10.2 de bu üç lifle birlikte, bazı metallerin çekme dayanımı ve çekme modülleri karşılaştırmalı verilmiştir.

Çizelge 10.2. Takviye amacıyla sık kullanılan bazı liflerin ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülleri.

lif veya metal	çekme dayanımı (MPa)	çekme modülü (GPa)
karbon lifi	2000-3500	325-440
aramit lifi	3100-3600	60
E-cam lifi	2400	70
S-cam lifi	3450	85
alüminyum	130-180	72
titanyum	250-400	105
paslanmaz çelik	206-520	196

cam lifler

Cam lifler, ilk takviye lifleridir ve ucuzluklarından dolayı günümüzde de önemini korumaktadır. Uzay ve havacılıkta, askeri alanda, endüstride ve günlük eşyaların yapımında kullanılan kompozitlerin çoğu cam liflerle takviye edilmişlerdir. Karbon ve aramit liflerle takviyeli kompozitlerin özellikleri camdan daha iyi olmakla birlikte pahalıdır, ayrıca hızlı ve ekonomik üretimleri yapılamamaktadır. Bu nedenle, karbon ve aramit liflerden genelde yüksek performanslı kompozitler hazırlanır.

Bölüm 11.7 de belirtildiği gibi, cam üretim girdilerinin bileşimi değiştirilerek farklı türlerde camlar elde edilmektedir. Aşağıda lif takviyeli kompozitlerde kullanılan camların özellikleri kısaca verilmiştir.

- *E-camı*: alkali oranı az, çekme ve sıkıştırmaya dayanıklı, sert, ucuz, düşük vurma dayanımlıdır, genel amaçlı kompozitler üretilir
- *C-camı*: kimyasal maddelere dirençleri çok iyidir, başlıca su ve kimyasalların taşındığı boru ve tankların dış yüzeylerinin kaplandığı kompozitlerde kullanılırlar
- *R, S veya T camı*: E-camından daha yüksek çekme dayanımı ve modüle sahiptirler, ıslak halde iyi dayanım gösterirler, ince filamentler halinde de mekanik özellikleri iyidir, pahalıdır, uzay, havacılık ve askeri amaçlı kompozitler hazırlanır

Cam lifler kırılgandır ve yüzeyleri dış etkilere duyarlıdır. Kompozit yapımından önce cam lifler, yüzeylerinin aşınma dirençlerinin artması için bazı ön işlemlerden geçirilir. Örneğin, yüzeyleri suda çözünebilen bir polimerle ıslatılarak kaplanır ve kompozit yapımından hemen önce kaplama cam lif yüzeyinden yıkama ile uzaklaştırılır.

karbon lifi

Bölüm 11.7 de ayrıntıları incelenen karbon lifleri; hafif, kimyasal açıdan inert, çekme ve sıkıştırma dayanımı yüksek liflerdir. Ancak pahalıdır, bu nedenle ileri kompozitleri hazırlanarak fiyatın önemli olmadığı uzay araçları, uçaklar, ileri

teknoloji vb alanlarda kullanılırlar. Otomobil endüstrisi açısından karbon takviyeli kompozitlerin fiyatları henüz çelikle rekabet edecek düzeyde değildir.

Karbon lifler de, cam lifler gibi yüzeyleri uygun bir polimerle (genelde epoksi ile) kaplanarak kompozit yapımına kadar korunurlar.

aramit lifler

Bölüm 11.7 de ayrıntıları incelenen aramit liflerden poli(*p*-fenilen teraftalamit) yapısındaki Kevlar, birim kütle başına en yüksek dayanıklılık gösteren kompozit takviye edicidir. Poli(*m*-fenilen izoftalamit) yapısındaki (Nomex) aramitin dayanıklılığı Kevlar kadar yüksek değildir. Genelde kesikli lif halinde kullanılır. Nomex lif yakıldığı zaman, birkaç saniye parlak alevle yanar ve hemen söner. Bu üstün özelliğinden dolayı uzay giysileri, itfaiyeci elbiseleri, ateşe dayanıklı eldiven, yüksek sıcaklıklarda kullanılan filtreler vb ürünler yapılır.

diğer lifler

Aramit, cam ve karbon lifler dışında çok farklı lifler kompozitlerde takviye amacı ile kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda kısaca verilmiştir.

Poliester lifler çekme modülü düşük liflerdir ve bu özellikleri kompozitlerde kullanımını sınırlar. Çoğu polimerle uyumludurlar. Daha çok yüksek aşınma direnci, düşük fiyat, düşük yoğunluk, iyi vurma dayanımının arandığı kompozit yüzey kaplamalarında kullanılır.

Ultra yüksek mol kütleli polietilen liflerin yönlendirme oranı yüksektir. Bu nedenle dayanıklılık/kütle oranı en büyük liflerdir, çoğu polimer matrisle uyumludurlar.

Bor lifler pahalıdır ve kullanım yerleri uzay ve havacılık ve özel spor malzemelerinin üretiminin yapıldığı kompozitlerle sınırlıdır.

Seramik liflerden, metal veya metal alaşımı matrislerle kompozitler hazırlanır. Bu kompozitler özellikle yüksek sıcaklıklarda yararlıdırlar.

Doğal liflerin her türü takviye amacıyla kullanılabilir. Ancak zayıf özellikleri nedeniyle genel amaçlı malzemelerin yapımında ve düşük teknoloji uygulamalarında kullanılırlar.

10.4.2 TANECİKLİ TAKVİYE MALZEMELERİ

Polimerik kompozitlerin hazırlanmasında takviye amacıyla lifler dışında, tanecikli malzemeler de kullanılmaktadır. Bunlar arasında karbonatlar, kil, mika, silikatlar, mikroküreler, tarımsal atıklar, metal tozları veya parçaları, pudra sayılabilir.

Tanecikli takviye ediciler ucuzdurlar, kompozitlerinin yapımı kolaydır ve karmaşık geometrili ürünlerde sorun yaratmazlar. Ancak kompozitlerinin mekanik özellikleri zayıftır. Bu nedenle, daha çok mekanik dayanımın önemli olmadığı süs ve dekoratif eşyaların, genel amaçlı ürünlerin ve yük etkisinde kalmayacak diğer tür malzemelerin yapımında yararlıdırlar.

Tanecik takviye ediciler, kompozit kalitesini artırmak amacıyla genelde bir ön yüzey işleminden geçirilirler. Yüzey işleminden geçirilmiş killerin saflığı, beyazlığı, modülü, esneme dayanımı, eğilme direnci artmaktadır. Mısır koçanları, mısır unu, buğday unu vb takviye ediciler organik yapıdadırlar.

10.5 POLİMER KOMPOZİTLERİNİN ÜRETİMİ

Kompozitler doğrudan elle veya bazı sistem ya da aletler yardımıyla hazırlanırlar. Önemli elle kompozit yapım teknikleri arasında,

- elle yatırma
- döküm
- püskürtme

yöntemleri, alet ya da sistemlerden yararlanılarak kompozit hazırlama teknikleri arasında ise,

- sıkıştırarak kalıplama
- enjeksiyon kalıplama
- filament sarma
- pultrüzyon
- yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıplama (SRIM)
- reçine transfer kalıplama (RIM)

yöntemleri sayılabilir.

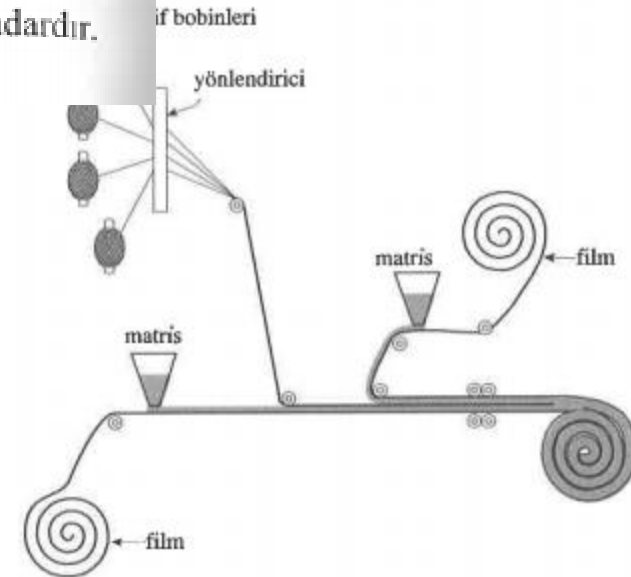
Kompozit üretiminde kullanılacak yöntem, aynı zamanda takviye edicinin matris içerisindeki geometrisini ve dağılımını belirleyen temel faktördür. Örneğin lif takviyeli kompozitlerde; lif yönlenmesinin nasıl olacağı, kullanılacak lif miktarı, lif boylarının dağılımı kompozitin üretim tekniğine bağlıdır. Enjeksiyonla kompozit şekillendirme yönteminde sürekli lifler veya dokumalar, filament sarma tekniğinde ise kesikli lifler takviye amacıyla kullanılamazlar.

10.5.1 PREPREG

Prepreg, polimer matris içerisine yerleştirilmiş lif veya dokumadan oluşan tabaka halindeki ara ürüne verilen endüstriyel addır. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmak amacıyla hazırlanırlar. Prepreg malzemelerin sonradan şekillendirilmesi, daha çok elle yatırma, filament sarma, sıkıştırarak kalıplama ve

Prepreg farklı yöntemlerle hazırlanabilmektedir. Bunlardan birisi Şekil 10.6 da kısaca gösterilmiştir. Koruyucu olarak kullanılan polimerik bir film üzerine (polietilen gibi) matris reçine sürüldükten sonra üzerine takviye edici serilir. Ardından bir kat daha reçine sürülür ve son aşamada prepregin üzeri ikinci bir koruyucu filmle örtülür. Sıkıştırma silindirlerinden geçirilerek sıkıştırılan prepreg fırınlanır ve rulolar halinde sarılarak koruyucu filmler arasında işleneceği yere gönderilirler. Prepreg genişliği 1,5 metreye kadar çıkabilmektedir.

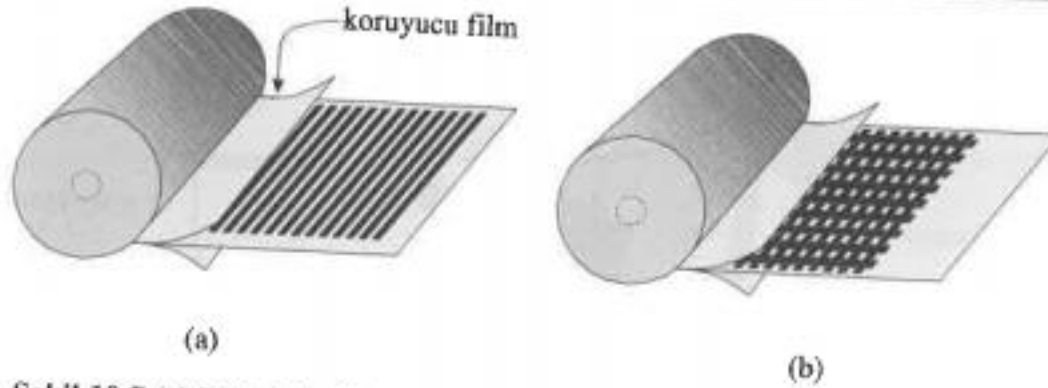
Prepreg, içlerinde çapraz bağlayıcılar bulunduğu için kuru ve soğuk yerlerde depolanırlar. Şekillendirilmeden önce oda sıcaklığına getirilirler ve koruyucu filmler çıkarılarak kullanılırlar (Şekil 10.7 de). Raf ömürleri -18°C de bir yıl kadardır. Prepregde takviye amacıyla genelde sürekli lifler ya da dokumalar kullanılır.



Şekil 10.6 Prepreg hazırlama.

10.5.2 ELLE YATIRMA

Elle yatırma yöntemi, karmaşık aletler veya donanımlar gerektirmeyen en basit ve en eski kompozit üretim yöntemidir. İşçilik ve çalışanın deneyimi doğrudan kompozitin kalitesini belirler.



Şekil 10.7 (a) Lif takviyeli ve (b) dokuma takviyeli prepreg.

Yöntem,

- yaş yatırma
- vakum torbalama
- otoklav torbalama

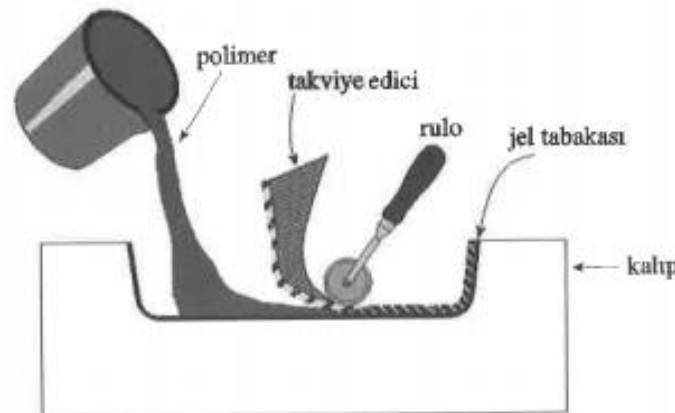
adı verilen üç farklı yaklaşımla uygulanır.

Her üç yöntemde de, kullanılacak kalıpların yüzeyine öncelikle kompozit malzemenin kalıptan kolay ayrılması amacıyla sıvı poli(vinil asetat), sıvı parafinler gibi yağlayıcılar sürülür veya kalıp yüzeyi plastik filmle kaplanır. Çoğu uygulamada bu tabaka üzerine ikinci katman olarak polimerik bir jel tabakası sürülür. Polimerik jel, kalıplamadan sonra ürün yüzeyinin estetik görünmesi ve korunması amacıyla kullanılır.

Elle yatırma yöntemi, özellikle az sayıda üretilecek kompozitlerin hazırlanmasına yatkın bir yöntemdir. Kayık ve bot omurgaları, araçlarda şoför kabini ve çamurluk, emniyet kulubeleri gibi iri parçalar bu yöntemle yapılır. Üretilen kompozit şeklinin elle işlemeyi engelleyecek kadar karmaşık geometride olmaması gerekir. Kullanılan kalıplar tek yönlüdür ve maliyetleri düşüktür. Takviye liflerinin türü, yönlenmesi, miktarı, dokumalarda ise dokuma sıklığı değiştirilerek, farklı özelliklerde ürünler elde edilir.

yaş yatırma

Yaş yatırma, en kolay elle yatırma yöntemidir. Kalıp üzerine yağlayıcı ve ardından katkı maddeleri karıştırılmış matris polimer sürülür. Polimer belli bir kıvama kadar kurutulur ve üzerine elle takviye amacıyla kullanılacak lifler (veya dokumalar) yerleştirilir. Daha sonra yeniden polimer sürülür (Şekil 10.8). Polimerin lifleri iyi ıslatması amacıyla bir fırça ya da rulo yardımıyla basınç uygulanarak polimer liflere iyice emdirilir, bu sırada reçine içerisinde kalmış olan hava da uzaklaşır.

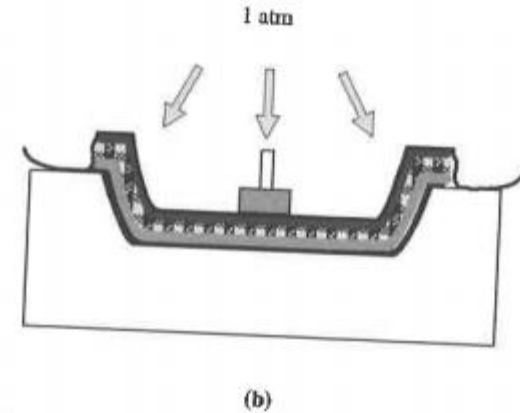
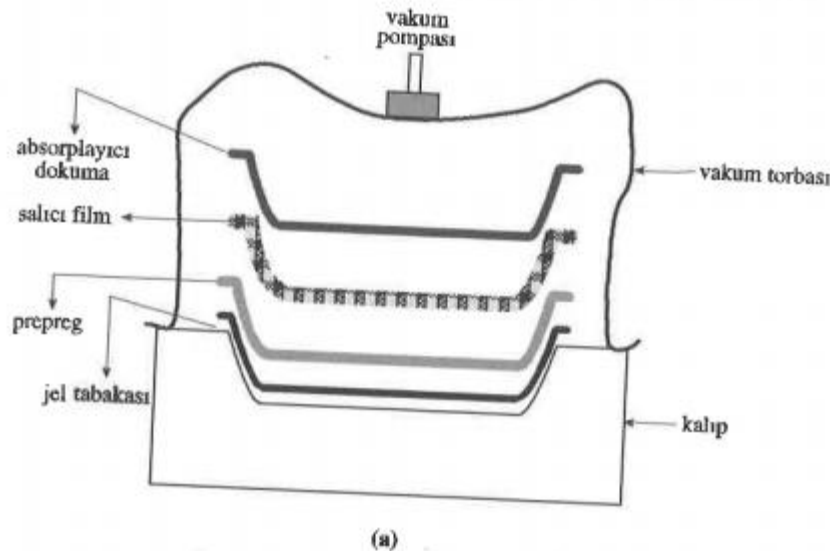


Şekil 10.8 Yaş elle yatırma ile kompozit üretimi.

vakum torbalama

Vakum torbalama yönteminin ayrıntıları Şekil 10.9 da görülmektedir. Kalıp yüzeyine önce kompozitin kalıptan kolay alınmasını sağlayan bir yağ tabakası sürülür (mum, plastik film gibi). Daha sonra üretilcek kompozitin boyutlarına uygun prepreg parçası kesilir ve istenilen lif yönlenmesini sağlayacak şekilde kalıba yerleştirilir. Pregregin üzerine, hava ve diğer uçucu bileşenlerin geçişine izin veren ve matris malzemenin dışarı çıkışını önleyen bir absorplayıcı dokuma konur.

Son katman olarak ısıya dayanıklı ve tüm sistemi örten polimerik bir film yerleştirilir (vakum torbası). Kalıp ısıtılır ve aynı anda sistemdeki hava vakumla çekilir. Böylece kalıp içerisindeki malzeme dışarıdan 1 atm basınçla sıkıştırılırken, reçine sertleştirilir.



Şekil 10.9 Vakum torbalama yöntemi ile kompozit üretimi. (a) katmanlar, (b) vakum uygulama.

otoklav torbalama

Kompozit malzemelerin içerisinde kalabilecek boşluklar, ürün kalitesini düşürürler. Yaş yatırma yönteminde fırçalama ve rulolama işlemleri ile polimerin lifleri ıslatması sağlanırken, bir dereceye kadar kompozit malzemenin içerisinde kalabilecek hava kabarcıkları da uzaklaştırılır. Ancak fırçalama ve rulolama işlemleri ile hava kabarcıkları etkili şekilde yok edilemez.

Vakum uygulamasının yapıldığı torbalama yöntemi, sistemdeki hava kabarcıklarının alınması açısından yaş yatırma yöntemden daha etkindir. Ayrıca kompozit 1 atmosferlik bir sıkıştırma basıncı altında kalır.

Otoklav yöntemi, kompozit malzeme içerisinde kalabilecek havayı (boşlukları) en aza indiren ve 1 atm den büyük basınçlarla kompozitin sıkıştırıldığı bir yöntemdir. Vakumla torbalama yöntemine benzer şekilde hazırlanan kompozit

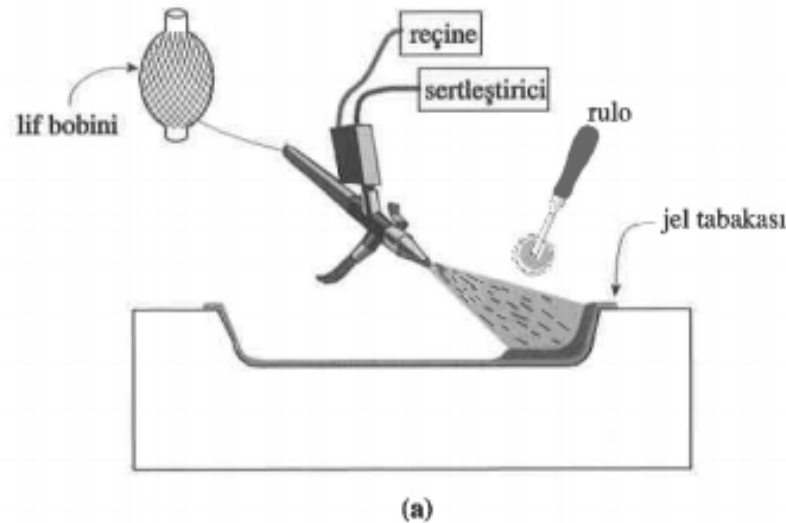
(vakumlanmış), fırına değil otoklava içerisine alınır. Dışarıdan otoklava gaz verilerek kompozit üzerine yüksek basınç uygulanır ve aynı anda ısıtma yapılarak pişirme tamamlanır. Yöntem zaman alıcı ve pahalı olmakla birlikte, yüksek kalitede, içerisindeki boşluk oranı çok düşük kompozitlerin üretimine uygundur.

10.5.3 PÜSKÜRTME YÖNTEMİ

Püskürtme yönteminde, reçine ve takviye lifleri birlikte kalıp veya malzeme yüzeyine püskürtülür. Yöntemde özel bir püskürtme tabancası kullanılır (Şekil 10.10). Püskürtme tabancasında, sertleştirici ve reçineyi püskürten ve ayrıca lifleri küçük parçalar halinde kırpan sistemler vardır. Reçine ve sertleştirici karışım halinde kalıp yüzeyine püskürtülürken, lif kesme sistemi de çalıştırılarak belli büyüklüklerde kesilen lif parçaları reçine akıntısı içine beslenir. Kaplama kalınlığı istenilen düzeye geldiğinde tabanca durdurulur ve malzeme yüzeyi rulo veya fırça ile düzeltilir. Son aşamada kompozit oda sıcaklığında ya da fırında sertleştirilir. Yöntem, basit bir aletle uygulanan elle yatırma yöntemine benzerdir.

Bu yöntemle elde edilecek ürünlerin kalitesi elle yatırma yönteminde olduğu gibi, uygulayıcı kişinin becerisine yakından bağlıdır. Reçinenin viskozitesinin düşük olma gereği ve belli uzunluğa kadar liflerin kullanılabilmesi yöntemin uygulama yerlerini sınırlar.

Karavan gövdeleri, botlar, kanolar ve gömme banyolar, kamyon kabortası gibi iri parçalar püskürtme yöntemi ile hazırlanır, poliester ve cam lifler sık kullanılan takviye edicilerdir.

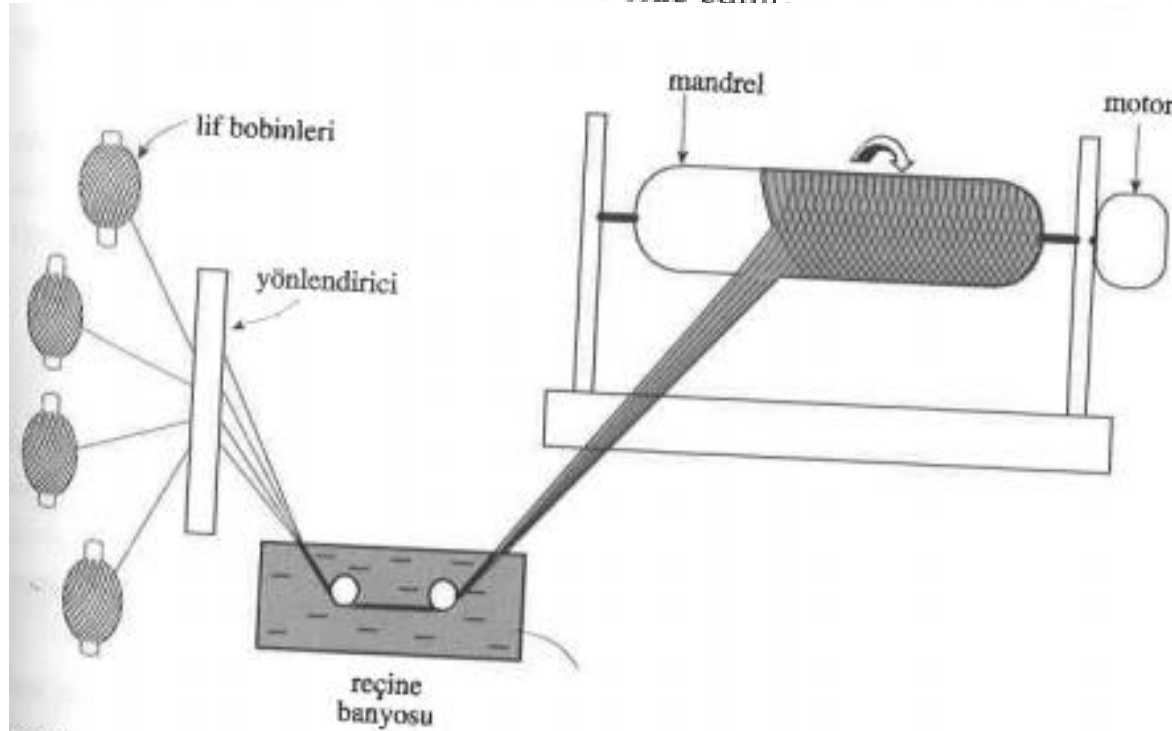


Şekil 10.10 Püskürtme yöntemi ile kompozit üretimi.

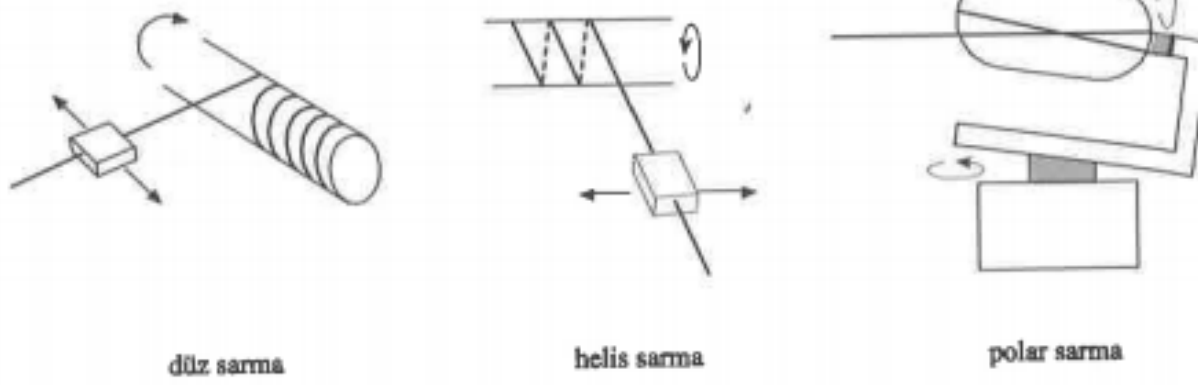
10.5.4 FİLAMENT SARMA

Filament sarma yöntemi; lif besleme, reçine banyosundan geçirme, mandrele sarma ve kür etme olmak üzere dört işlem adımı içeren bir kompozit üretim yöntemidir (Şekil 10.11). Mandrel, kalıp görevi yapan ve üzerine reçine ile ıslatılan liflerin sarıldığı içi boş parçadır. Yüzeyi kompozitlerle kaplanacak yakıt tankları, basınç kapları gibi malzemelerde mandrel, malzemenin kendisidir.

Sürekli haldeki takviye lifleri, içerisinde reçine ve sertleştirici bulunan bir banyodan geçirilerek ıslatıldıktan sonra dönen mandrel üzerine sarılır. Reçine sertleştikten sonra (oda sıcaklığı, otoklav, ısınlama vb) mandrel çıkarılarak, mandrelin şeklini almış kompozit malzeme elde edilir.



Şekil 10.11 Filament sarma yöntemi ile kompozit üretimi.



Şekil 10.12 Filament sarma yöntemi ile kompozit üretiminde mandrel lifin sarılma biçimleri.

Helis sarma, mandrelin dönme hızı ve lif besleyicinin açısal hızı kontrol edilerek yapılır. Polar sarma kap, tank gibi malzemelerin yüzleri ile birlikte alt ve üst tabanının da takviyesi gerektiğinde uygulanan bir lif sarma yöntemidir. Polar sarmada mandrel iki yönde hareket eder.

Mandreller, kullanım yerine göre farklı biçimlerde tasarlanırlar. Suda çözünebilir malzemelerden yapılan mandreller en sık kullanılanlarıdır ve lif sarma işlemi tamamlanıp fırınlama yapıldıktan sonra, su ile mandrel çözülerek dağıtılır ve kompozit alınır. Roket motorlarının kasalarının yapımında kullanılan kompozitler bu tür mandreller üzerinde hazırlanırlar. Sürekli boru üretiminde iki parçalı açılıp kapanabilir mandreller, az sayıda hazırlanacak kompozit parçalarda ise üzerine uygun bir malzeme sürülmüş dokumalardan yapılmış mandreller kullanılır.

Filament sarma tekniğinde genelde epoksi, fenolik, poliester ve vinil ester reçine matrisler ve cam, aramit ve karbon lifler kullanılır.

Yöntem özellikle tanklar, kaplar gibi silindirik parçaların hazırlanmasına yatkındır. Ayrıca; tüp, boru depolama tankları, yakıt tankları, basınç kapları, kolon vb malzemelerin yüzeyleri kaplanarak korunurlar. Bu tür uygulamalarda yüzeyi kaplanan malzeme aynı zamanda mandrel görevini yapar.

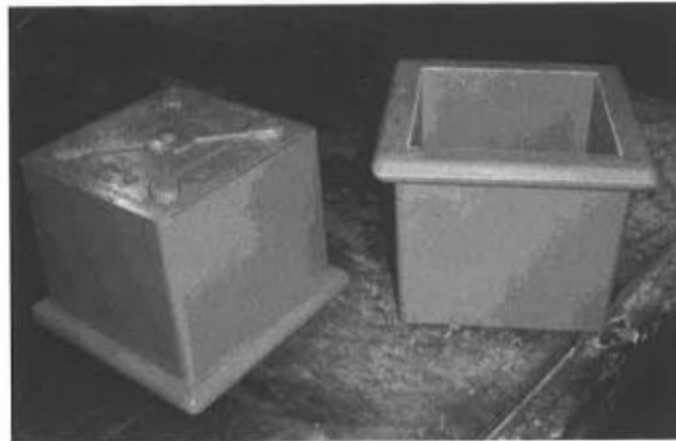
10.5.5 SIKIŖTIRARAK KALIPLAMA

Kompozitlerin sıkıŖtırarak kalıplanması, termosetlerin sıkıŖtırarak kalıplanmasına benzerdir (Ŗekil 8.2). Genelde prepreg malzemeler kullanılır. Prepregden uygun boyutta bir parça kesilir ve ısıtılmıŖ kalıp içerisine yerleŖtirildikten sonra kalıbın diğerk parçası kapatılır ve basınç ve ısı uygulanarak prepreg içerisindeki çapraz bağlayıcı yardımıyla reçine sertleŖtirilir.

Bu yöntemle boyutları ve her iki yüzey özellikleri iyi olan kompozitler hızlı bir Ŗekilde retilabilmektedir. Yöntemin bazı dezavantajları da vardır. Bunların

arasında kalıp maliyetinin yüksek oluŖu, iri parçaların hazırlanmasındaki zorluk, sıkıŖtırma sırasında lif konumlarının deėiŖebilmesi sayılabilir. Malzemenin kalıba yerleŖtirilmesi, kalıplama hızını sınırlayan aŖamadır.

Lifler (veya dokuma) kullanılarak yapılan sıkıŖtırarak kalıplamada, lifler kalıp içerisine uygun konumda yerleŖtirildikten sonra üzerine reçine dökülür ve kalıp kapatılarak basınç altında Ŗekillendirme yapılır.



Fotoğraf 10.3 SıkıŖtırma yöntemiyle retilmiŖ cam lif takviyeli dovmamıŖ poliester kompozit ürün.

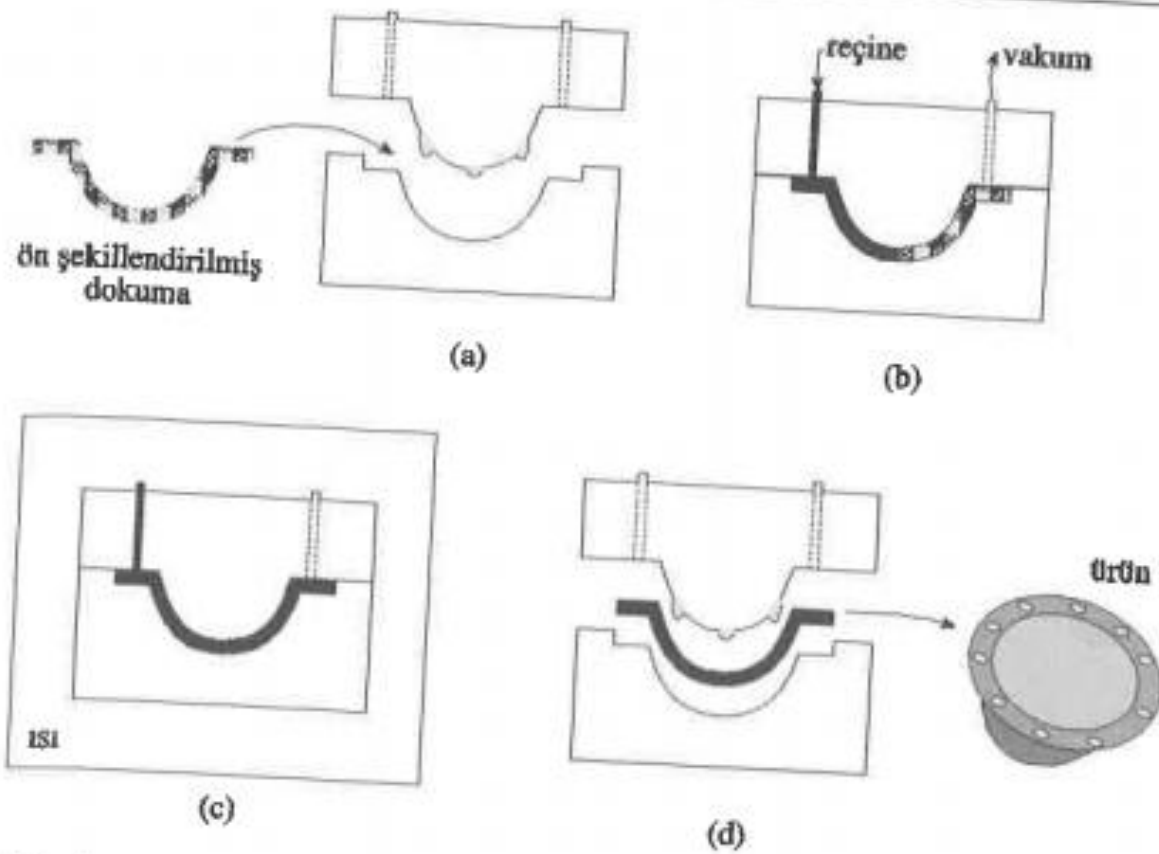
10.5.6 REÇİNE TRANSFER KALIPLAMA

Transfer kalıplama (Bölüm 8.2.2), reçine transfer kalıplama ve tepkimeli enjeksiyon kalıplama (Bölüm 13.6.3) adları verilen her üç yöntemde de, sıvı haldeki reçine üretilen malzeme geometrisindeki bir kalıp boşluğuna basılır. Transfer kalıplama ve tepkimeli enjeksiyon kalıplamada, kalıp boşluğunda herhangi bir madde yoktur ve kalıp boşluğu reçine ile doldurularak kalıp boşluğu geometrisinde parçalar elde edilir. Reçine transfer kalıplama yönteminde ise kalıp içerisine önce takviye malzemesi yerleştirilir ve daha sonra reçine kalıba gönderilir.

Reçine transfer kalıplama yönteminde genelde bir bağlayıcı yardımıyla önceden şekillendirilmiş lifler veya dokumalar kullanılır. Kalıp geometrisi verilmiş parça kalıp üzerine yerleştirildikten sonra kalıbın diğer parçası kapatılarak reçine gönderilir (Şekil 10.13). Yöntemde doğrudan lifler veya dokumalar da kullanılabilir. Açık kalıp içerisine istenilen geometri ve konumda lifler veya dokuma yerleştirilir ve kalıp kapatılarak reçine kalıp boşluğuna basılır.

Reçine transfer kalıplamada reçine enjeksiyon hızı, lif veya dokumanın kalıp içerisindeki konumunu bozmamak amacıyla düşük tutulur. Uygulanan basınçta yüksek değildir. Çoğu uygulamada vakumla kalıp içerisindeki hava veya oluşabilecek gaz ürünler ayrıca uzaklaştırılır.

Bu yöntemde takviye lifleri veya dokumalar, sıkıştırarak kalıplamada olduğu gibi kalıbın diğer parçasıyla sıkıştırılmazlar. Bu nedenle takviye malzemesinin konumu kalıplama sırasında fazlaca bozulmaz.



Şekil 10.13 Reçine transfer kalıplama yöntemi ile kompozit üretimi. (a) ön şekillendirilmiş dokumanın kalıba alımı, (b) kalıba reçine gönderilmesi, (c) sertleştirme, (d) kalıptan ürünün alınması.

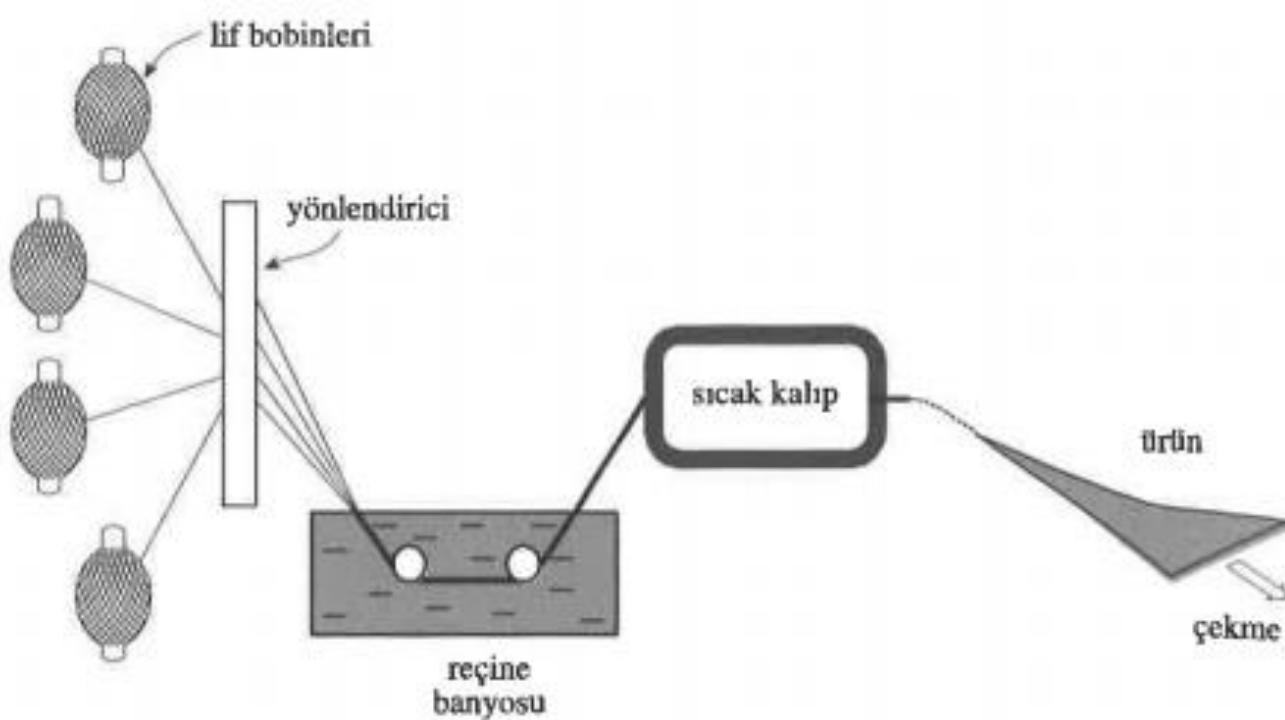
Yöntem, küçük ve karmaşık parçalar (uçak ve otomobil endüstrisinde) yanında sandalye, kabin duvarları, sıra, bank, su tankları vb iri parçaların üretimine uygundur.

Poliester, epoksiler ve vinil esterler, poliüretanlar ve fenolikler yaygın kullanılan matris polimerleridir.

10.5.7 PULTRUZYON

Ayrıntıları Şekil 10.14 de verilen pultrüzyon yöntemi, ekstrüzyon yöntemine benzetilebilir. Ekstrüzyon yönteminde polimerlerden belli geometrilerde sürekli ürünler hazırlanırken, pultrüzyon yönteminde liflerle takviye edilmiş polimerlerden benzer ürünler sürekli üretilir.

Pultrüzyon yönteminin uygulamasında bobinlerden alınan çok sayıda lif bir yönlendiriciye gönderilerek birbirlerine paralel hale getirilirler. Daha sonra filament sarmada olduğu gibi reçine banyosunda ıslatılırlar ve ısıtılan bir kalıp içerisine gönderilirler. Kalıp içerisinden geçiş sırasında, reçine liflerle birlikte kalıp geometrisinde sertleşir.



Şekil 10.14 Pultruziyon yöntemi ile kompozit üretimi.

Bu yöntemle; kompozit yapıda borular, profiller, levhalar vb malzemeler hazırlanır ve bu malzemeler istenilen uzunluklarda kesilerek olta kamışı, golf sopası, pencere kasası, merdiven, parmaklık vb ürünler elde edilir.

Epoksi, vinilester, poliester ve fenolikler en yaygın kullanılan matris polimerlerdir.

Sürekli lifler kullanıldığı için kompozitlerin, liflerin yönlendirildiği doğrultudaki mekanik özellikleri çok iyidir. Dokumalar kullanılarak ters yöndeki mekanik özellikler de geliştirilebilir.

