



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**

<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>



---

**Film İstifleme Yöntemiyle Tek Bileşenli Polimer Kompozit Malzeme Üretimi**

**Production of Self Reinforced Polymeric Composites by Film Stacking Method**

Mehmet DOĞAN, Hatice ŞEYHOĞLU  
Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği, Kayseri, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Haziran 2013 (30 June 2013)

---

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Mehmet DOĞAN, Hatice ŞEYHOĞLU (2013): Film İstifleme Yöntemiyle Tek Bileşenli Polimer Kompozit Malzeme Üretimi, Tekstil ve Mühendis, 20: 90, 54-62.

**For online version of the article:** <http://dx.doi.org/10.7216/130075992013209006>



# **FİLM İSTİFLEME YÖNTEMİYLE TEK BİLEŞENLİ POLİMER KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ**

**Mehmet DOĞAN\***  
**Hatice ŞEYHOĞLU**

Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği, Kayseri, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 19.02.2013*

*Kabul Tarihi / Accepted: 02.05.2013*

**ÖZET:** Hem matris hem de takviye materyali aynı cins polimerden yapılmış malzemelere tek bileşenli polimer kompozit malzeme (TBPk) denilmektedir. TBPk'ler konvansiyonel polimer kompozitlere göre daha hafif, geri dönüşümü daha kolay ve fiyat performans ilişkisi bakımından daha avantajlıdır. Bu derlemede; TBPk'lerin konvansiyonel polimer kompozitlere göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri, üretiminde kullanılan polimerler ve yöntemler anlatılmıştır. Film istifleme yöntemi, laboratuvar ölçeğinde büyük alt yapı yatırımları gerektirmeden bu konu ile ilgili çalışmalar yapmaya imkan tanıdığı için bu yöntemle üretilmiş TBPk'lerle ilgili çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Polimer, kompozit, geri dönüşüm, film istifleme yöntemi

## **PRODUCTION OF SELF REINFORCED POLYMERIC COMPOSITES BY FILM STACKING METHOD**

**ABSTRACT:** The composite materials, of which both the matrix and reinforcing material are made up of same kind of polymer, are referred to as self-reinforced polymer composites (SRPC). SRPCs are lighter, recyclable more easily and more advantageous in terms of price and performance relation than conventional composites. In this review, the advantageous and disadvantageous points of SRPC with respect to conventional composites and polymers and methods used for production have been explained. The previous studies on the production of SRPCs by film stacking method have been examined in details since this method enables to make studies in laboratory scale without requiring large investments.

**Keywords:** polymer, composite, recycle, film stacking method

---

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mehmetd@erciyes.edu.tr

DOI: 10.7216/130075992013209006, www.tekstilmuhendis.org.tr

## 1. GİRİŞ

Polimerler uzun zincir yapısına sahip moleküller olup yüksek mekanik özellikleri, düşük yoğunlukları ve kolay işlenebilirlikleri gibi özellikleri sayesinde günlük hayatta kullandığımız metal, seramik ve odundan yapılmış birçok ürünün yerini almıştır. Polimerlerden kullanım alanına bağlı olarak farklı özellikler beklenmektedir. Polimerler, bu beklenen özellikleri karşılayabilmesi için içerisine çeşitli dolgu malzemeleri ilave edilerek kullanılmaktadır. İçerisinde çeşitli dolgu malzemesi içeren kullanıma hazır haldeki polimerler plastik olarak adlandırılmaktadır [1]. Plastik malzemedeki beklenen özellikler zamanla değişmiş ve günümüzde çevre kirliliğine olan bilincin artmasıyla geri kazanılabilir ve/veya doğada yok olan plastik malzemelerin kullanılması yönünde bir eğilim söz konusudur [2].

Kompozit, iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni malzemeleri belirtmek için kullanılan terimdir. Kompozit malzeme matris ve takviye materyali olmak üzere iki ana faz ve bunların etkileşim halinde olduğu arafaz kısımlarından oluşmaktadır. Polimer esaslı kompozit malzeme; matris materyali polimerden oluşan, takviye materyali olarak elyaf ve elyaftan üretilmiş tekstil yüzeylerinin kullanıldığı kompozitlerdir [2, 3]. Polimerlerin sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi için 1960'lı yılların başlarında polimer esaslı kompozit malzemeler sanayi ölçeğinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmış olup, günümüzde yıllık 7 milyon ton polimerik kompozit malzeme tüketilmektedir. 2030 yılında bu miktarın 10 milyon ton civarına ulaşması beklenmektedir [3, 4]. Birçok farklı alanda kullanılan bu malzemeler özellikle ulaşım araçlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak dünya'daki petrol kaynaklarının azalması ve her yıl hurdaya çıkan araç sayısının artması otomobil firmalarını araç ağırlığını düşürmeye ve araç içerisinde geri kazanılabilir malzemeleri kullanmaya yöneltmiştir. Bu amaçla konvansiyonel polimer kompozitlerin yerine geçebilecek geri dönüştürülmesi kolay, daha hafif, mekanik özellikleri beklentileri karşılayabilecek kompozit malzemelerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda konvansiyonel polimer kompozitlere göre geri dönüşümü daha kolay, daha hafif ve mekanik özellikleri kabul edilebilir seviyede olan tek bileşenli polimer kompozit (TBPk) fikri ortaya çıkmıştır.

İdeal TBPk; hem matris hem de takviye materyali aynı cins polimerden üretilmiş kompozitlere denilmektedir. Polipropilen (PP)'nin matris materyali olarak kullanıldığı ve aynı zamanda PP' den imal edilmiş kumaşın takviye materyali olarak kullanıldığı kompozit malzeme ideal TBPk' ye güzel bir örnektir. Ancak matris ve takviye materyali aynı polimer sınıfından olup farklı polimerlerle üretilmiş kompozitlerde TBPk sınıfında yer almaktadır. Poliamid -6 (PA-6) matris materyali, Poliamid 6.6 (PA 6.6) lif veya kumaş takviye materyali olarak kullanıldığında oluşan kompozitte TBPk sınıfında yer almaktadır [5-7].

Bu derlemede; öncelikle TBPk' lerin konvansiyonel polimer esaslı kompozitlere göre ne gibi avantajlar sağladığının daha iyi anlaşılması için polimer kompozit malzemeler hakkında genel bilgi verilip, bu kompozitlerin dezavantajlı yönleri vurgulanmıştır. Daha sonra ise TBPk' lerin gelişim süreci, üretilmesinde kullanılacak polimerler ve üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir. TBPk'lerin üretim yöntemlerinden biri olan film istifleme yöntemi ile ilgili çalışmalar detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

## 2. KONVANSİYONEL POLİMER ESASLI KOMPOZİTLER

Polimer esaslı kompozit malzemelerin; üretilmesinde matris materyali olarak kullanılan polimerler termoset ve termoplastik olmak üzere iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Kullanılan matris materyalinin termoset veya termoplastik olması kompozit malzemenin üretim yöntemini ve son ürün özelliklerini direkt olarak etkilemektedir [2, 3]. Polimer esaslı kompozit malzeme üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan polimerler ve genel özellikleri Tablo 1' de verilmiştir [3]. Termoset polimerlerde kürleşme sonrası zincirler arası kovalent bağlar oluştuğu için bu malzemelerin daha sonra herhangi bir etkiyle (ısı, uygun çözücü) tekrardan şekillendirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu yüzden termoset polimerlerden imal edilmiş polimer kompozitlerin geri kazanılması mümkün olmamaktadır.

Polimer esaslı kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan elyaflar ve özellikleri Tablo 2'de verilmiştir [2]. Takviye malzemesi olarak bu elyaflar kırılmış halde veya tekstil yüzeyi (dokuma, örme ve do-

kusuz yüzeyler) olarak kullanım alanı bulmaktadır. Kırpılmış elyafların termoplastik polimerlerde takviye materyali olarak kullanıldığında geri kazanımı tekstil yüzeyi formunda kullanımına göre daha kolay olmaktadır. Karbon elyaf takviyeli kompozitler cam elyaf takviyeli kompozitlere göre mukavemet ve hafiflik bakımından karbon elyaf düşük yoğunluk ve yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu için daha avantajlı olmaktadır. Ancak üretilen kompozitlerin maliyeti yüksek ve geri dönüşümleri daha zor olmaktadır. Cam elyaf takviyeli kompozitler fiyat performans ilişkisi bakımından iyi performans sergilediklerinden karbon elyaf takviyeli kompozitlere göre daha yaygın kullanılmaktadır. Cam elyafın yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle üretilen kompozit malzemeler ağır olmakta ve geri dönüşümleri problemlili ve maliyetli olmaktadır [3]. Doğal liflerin yoğunluğu düşük olduğu için daha hafif ve mekanik özellikleri bakımından cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere yakın kompozit malzemeler üretmek mümkün olmaktadır. Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin en büyük dezavantajı ise geri dönüşümleri sırasında ikinci bir ısıl işleme maruz kaldıklarında takviye

materyali olarak kullanılan doğal lifin bozunmasıdır [2, 8].

Polimer esaslı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörler; kullanılan matris ve takviye materyalinin cinsi, takviye materyalinin matris içerisindeki dağılımı ve matris malzemesi ile yapışma derecesidir. Takviye materyalinin matris materyali içerisinde dağılımı iyi ve yapışma isteği ne kadar fazla ise üretilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri o kadar iyi olmaktadır. Takviye materyalinin dağılımı ve matris materyaline yapışma isteği matris materyali ile takviye materyalinin uyumluluğu ile alakalıdır. Polimer esaslı kompozit malzemelerin hemen hemen hepsinde görülen ortak problem ise takviye malzemesi ile matris materyali arasındaki uyumsuzluktur. Bu uyumsuzluk takviye materyalinin yüzeyinin fiziksel ve/veya kimyasal modifikasyonlarla matris materyali ile uyumlu hale getirilerek çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yapılan modifikasyonlar son ürün maliyetini artırmaktadır [8-11].

**Tablo 1.** Kompozit üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan polimerler ve özellikleri [3]

Polimer	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Kopma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Epoksi	1,2-1,4	50-110	2,5-5,0
Fenolik	1,2-1,4	35-60	2,7-4,1
Poliester	1,1-1,4	35-95	1,6-4,1
Nylon	1,1	55-90	1,3-3,5
PEEK	1,3-1,35	100	3,5-4,4
PPS	1,3-1,4	80	3,4
Poliester	1,3-1,4	55-60	2,1-2,8
Polikarbonat	1,2	55-70	2,1-3,5
Polietilen	0,9-1,0	20-35	0,7-1,4

**Tablo 2** Polimer esaslı kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan elyaflar ve özellikleri [2].

Elyaf	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Kopma Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Gpa)
<b>Karbon</b>	1,78	3400-4800	240-425
<b>E-Cam</b>	2,55	3400	73
<b>Kevlar</b>	1,44	3000	60
<b>Keten</b>	1,5	345-1500	27,6
<b>Jüt</b>	1,3-1,49	393-800	13-26,5
<b>Sisal</b>	1,45	468-700	9,4-22
<b>Rami</b>	1,55	400-938	61,4-128

### 3. TEK BİLEŞENLİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMELER (TBPk)

İlk TBPk malzeme üretimi Capati ve Porter tarafından 1975 yılında yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kullanılarak üretilmiştir [12]. 1990 yılında Profesör David Bassett ve arkadaşları TBPk üretiminde sıcak presleme yöntemini geliştirmişlerdir [6]. 1994 yılında sıcak presleme yöntemi ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde Curv, Pure, Paralite ve Armordon ticari isimli PP esaslı TBPk'ler otomobil alt koruma, dizlik, bavul ve hoparlör kasası üretiminde kullanılmaktadır. Kaypla ticari isimli ürün ise polietilen (PE) esaslı TBPk olup PP ile benzer yerlerde kullanım alanı bulmaktadır [5,7, 13].

Teorik olarak; termoplastik özellik gösteren ve oriyante olabilen her polimerik malzemedan TBPk üretilmektedir. Geçmişteki çalışmalar yaygın olarak TBPk üretiminde PE, PP, poliamid, poli (etilen tereftalat) (PET), poli (laktik asit) (PLA) ve polimetil metakrilat (PMMA) sınıfında yer alan homo ve kopolimerlerin kullanıldığını göstermektedir [5-7, 13, 14]. Bu sınıfta yer alan polimerlerin ortak özellikleri film ve lif üretilen polimerler olmasıdır. Bu polimerlere ek olarak selüloz, protein, ve nişasta esaslı TBPk üretimi de mümkün olmaktadır [7]. Bu tip kompozitlerin doğada tamamen yok olma avantajı olmasına rağmen genel olarak TBPk'lerin üretim tekniklerine uymaması bakımından bu derleme kapsamı dışında tutulmuşlardır.

#### 3.1 TBPk'lerin avantaj ve dezavantajlı yönleri

TBPk malzemeler matris ve takviye materyali aynı veya aynı sınıfa ait polimerlerden oluştuğu için eritildiklerinde tek bir malzeme gibi davranırlar, bu sayede geri dönüşümleri kolay olmaktadır. Bu tip kompozit malzemelerin üretiminde takviye elemanının yüzeyi kısmen eritilerek, eriyik haldeki matris materyali ile birleşmesi sağlanır. Birbirleriyle benzer yapıda olan bu materyallerin yapışmasında, konvansiyonel polimer kompozitlerde görülen matris ile takviye materyali arasındaki uyumsuzluk problemi yaşanmamaktadır. Takviye materyali olarak yaygın bir şekilde lif oluşturabilen polimerler kullanıldığı için yoğunlukları düşük olmakta bu da konvansiyonel polimer kompozitlere göre hafiflik avantajı sağlamaktadır. Ancak bu tip kompozitlerde karbon lif takviyeli kompozitler kadar sağlam malzeme üretmek mümkün olmamaktadır. Bu kompozitler fiyat, hafiflik ve mekanik performansın birlikte değerlendirildiğinde

diğer kompozitlere karşı oldukça avantajlı olduğu göze çarpmaktadır [5-7, 14].

Bu kompozitlerin üretim sırasındaki kontrolü konvansiyonel polimer kompozit malzemelere daha zor olmaktadır. TBPk malzemelerde kullanılan lif, bant veya kumaş formundaki oriyante olmuş termoplastik malzemenin yüksek sıcaklık etkisiyle iç gerilmelerin ortadan kalkarak çekme isteği üretim işlemini zorlaştıran unsurların başında gelmektedir. Bu sorun üretim sırasında uygulanan, üretim yöntemine ve malzemenin cinsine göre değişen basınç miktarı ile ayarlanmaktadır. Diğer karşılaşılan problem ise aynı cins polimer malzeme içeren kompozitlerde takviye ve matris materyali arasındaki düşük erime noktası farkıdır. Genellikle 5-9 °C arası düşük bir sıcaklık farkı gösterdiklerinden üretimi sırasında uygulanan çalışma sıcaklık aralığı düşük kalmaktadır. Çalışma sıcaklık aralığı aynı polimer sınıfından farklı polimerler kullanılarak 20-40 °C' ye kadar genişletilebilmektedir. Böylece çok daha geniş bir çalışma aralığı elde edilebilir [5-7, 14].

#### 3.2 TBPk'lerin üretim yöntemleri

##### 3.2.1 Daldırma Tekniği

Bu teknikte; lif veya tekstil yüzeyi formundaki takviye materyali aynı polimerin viskoz çözeltisi içerisine daldırılarak çözünmüş formdaki matris materyalinin lif aralarına nüfuz etmesi sağlanır. Matris materyalinin lif aralarına nüfuz etmesi için belirli bir süre banyo içerisinde kalması gerektiğinden üretim hızı yavaş olmaktadır. Genellikle matris materyali olarak aynı polimerin daha düşük molekül ağırlıklı türleri kullanılarak çözünmüş polimerin difüzyon hızının artması böylece üretim hızının artması sağlanmaktadır. Daldırma banyosundan çıkan malzeme kurutularak TBPk elde edilmektedir. Bu yöntemin diğer bir dezavantajı ise çözünmüş polimerden yapılmış takviye materyalini de çözebiliyor olmasıdır. Üretim sırasında takviye materyalinin yüzeyi kısmen çözünmekte bu da mekanik özelliklerin beklenenden daha düşük çıkmasına neden olmaktadır [14]. Bu yöntemle üretilmiş PE ve PP esaslı TBPk çalışmaları mevcuttur [15-16].

##### 3.2.2 Sıcak Sıkıştırma ( Sıcak Presleme)

Sıcak sıkıştırma yöntemi; lif veya tekstil yüzeyinin uygun sıcaklık ve basınç koşulları altında sıkıştırılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemi diğer yöntemlerden ayıran en önemli özellik tek bir malzeme kullanarak bu

malzemenin hem matris hem de takviye materyali görevi görmesi sağlanmaktadır. İdeal TBPK bu yöntem kullanılarak üretilmektedir. Sıcaklık ve basınç etkisiyle kısmen eriyen lif yüzeyi matris materyali görevi görürken erimeyen kısım takviye materyali görevi görmektedir. Bu yöntemin prensibi Şekil 1’de şematik olarak gösterilmiştir [5]. Bu yöntemin en büyük dezavantajı üretim işleminin oldukça hassas olmasıdır. Dar sıcaklık aralığında (5 °C) çalışma ve kullanılacak tekstil materyalinin doğru tavlanmış olması önem arz etmektedir. Aşırı ısıtma sonucunda tekstil materyali relaksasyona uğrayıp moleküller oriyantasyonunu tamamen kaybedebilir [5, 6, 14]. Bu yöntemle üretilmiş PP, PE, PA 6.6 ve PET esaslı TBPK çalışmaları mevcuttur [17-22].

### 3.2.3 Bikomponent teknolojisi

Bikomponent teknolojisinde, TBPK üretimi için aynı polimer sınıfında yer alan erime noktaları farklı polimerlerden üretilmiş bikomponent elyaf, bant veya bunlardan üretilmiş tekstil materyali kullanılmaktadır. Buradaki temel mantık erime noktası düşük matris malzemesini oluşturacak polimerin dış kısımda kalması, erime noktası yüksek takviye malzemesi olarak kullanılacak polimerin ise iç kısımda kalmasıdır. Üretim sırasında ısı ve basınç etkisiyle eriyen dış yüzey matris materyali görevi

görmektedir [5, 14]. Bu yöntemin prensibi Şekil 2’de şematik olarak gösterilmiştir [5]. Bu teknoloji sayesinde TBPK üretimi için çalışma sıcaklık aralığı 20-40 °C’ye kadar çıkarılabilir. Bu yöntemin diğer bir avantajı ise hacimce % 90 civarında takviye malzemesi içeren kompozit malzeme üretmek mümkün olmaktadır. Koekstrüzyon teknolojisine bağlı olarak bu tip kompozitlerde yapışma daha iyi olmaktadır. Bu yöntemle üretilmiş PP ve PET esaslı TBPK çalışmaları mevcuttur [23-25].

### 3.2.4 Film istifleme yöntemi

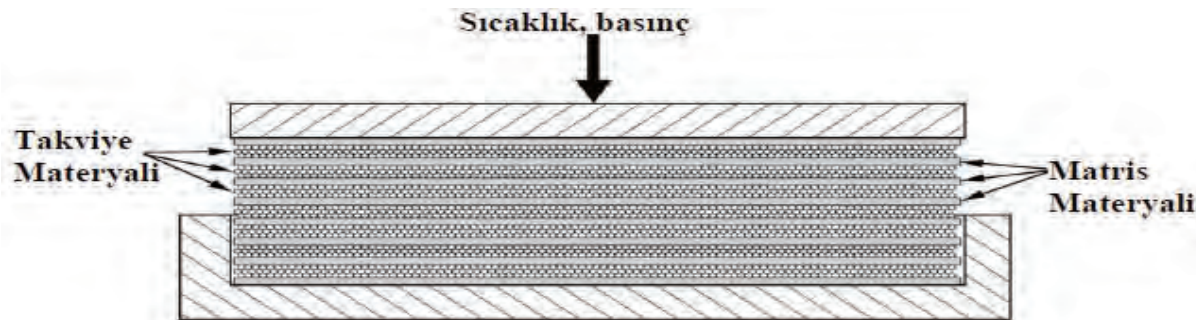
Film istifleme yönteminde matris materyali film formunda takviye materyali ise lif veya tekstil yüzeyi formundadır. İstenilen son ürün kalınlığına göre en alt ve en üst tabaka matris materyali olacak şekilde matris ve takviye materyali istiflenir. Üretim sırasında uygulanan sıcaklık ve basınç etkisiyle erime noktası daha düşük olan film eriyerek matris görevi görürken, kısmen yumuşayan tekstil materyali ise takviye materyali görevi görmektedir [5, 14]. Bu yöntemin prensibi Şekil 3’de şematik olarak gösterilmiştir [5]. Bu yöntemin en önemli avantajı kullanılacak takviye ve matris materyalinin cinsine göre çalışma sıcaklık aralığı istenildiği gibi ayarlanabilir.



Şekil 1 Sıcak sıkıştırma yönteminin şematik gösterimi [5].



Şekil 2 Bikomponent teknolojisinin şematik gösterimi [5].



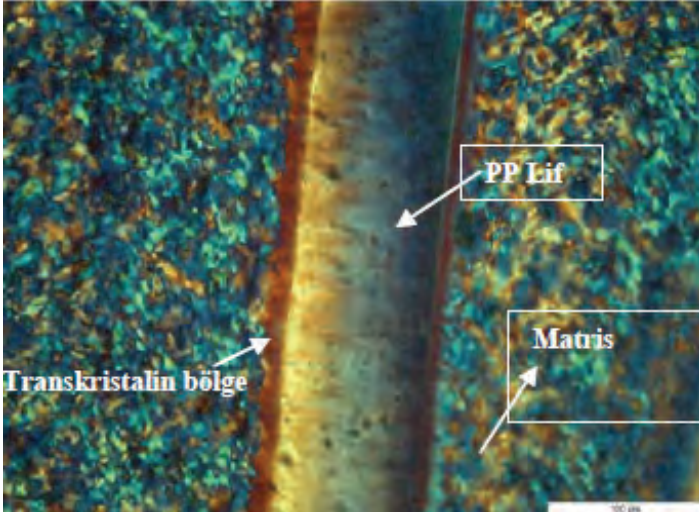
Şekil 3 Film istifleme yönteminin şematik görünümü [5].

Bugüne kadar bu konu ile ilgili birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmalar sonucunda poliamid, PE, PP, PET, likit kristal polimerler ve PLA esaslı TBPK üretimi ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Film istifleme yöntemi ile en fazla TBPK üretimi PP kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu durum PP'den farklı formlarda üretilebilecek matris ve takviye materyali çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Takviye materyali olarak alfa kristalin yapısına sahip PP ( $\alpha$ -PP)'den üretilmiş lif, bant ve bunlardan üretilmiş dokuma ve dokusuz yüzey yapıları kullanılmıştır. Matris materyali olarak ise PP'nin rasgele kopolimerinden (r-PP), bu kopolimerin beta kristalin formundan ( $\beta$ -r-PP) ve beta kristalin PP'den ( $\beta$ -PP) üretilmiş filmler kullanılmıştır. Bu konu ile ilgili yapılmış tüm çalışmalar bu materyallerden imal edilmiş farklı matris ve takviye elemanlarının kombinasyonlarından oluşmaktadır [5-7, 14]. r-PP,  $\beta$ -r-PP ve  $\beta$ -PP'nin erime noktası  $\alpha$ -PP'ye göre 20-40 °C arası daha düşük olması üretimi sırasında daha geniş çalışma sıcaklık aralığının kullanılmasına imkan vermektedir [26, 27]. Bu yapılan çalışmalar genel olarak üretilen TBPK'lerin son ürün özelliklerinin kullanılan matris ve takviye materyalinin cinsine, formuna, miktarına ve bunların yapışma derecesine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır [5-7, 14]. Yapılan çalışmalarda  $\beta$ -r-PP ve  $\beta$ -PP matris materyali olarak kullanıldığında r-PP'ye göre daha iyi mekanik özellikler elde edilmiştir [26-28]. Housyar ve arkadaşları farklı dokuma yapısına sahip PP kumaşların (bezayağı, panama, dimi, satin) son ürün özelliklerini etkileyip etkilemediğinin anlaşılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu yapılan çalışmada kullanılan takviye materyalinin dokuma yapısının son ürün özelliklerini etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada satin dokuma yapısının en iyi mekanik özellikleri verdiği belirtilmiştir [29]. Housyar ve arkadaşları yapmış oldukları diğer çalışmalarda ise lif çapının son ürün özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu çalışmalarda son ürün özelliklerinin kullanılan lifin çapına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuşlardır [30, 31]. Yapılan çalışmalarda işlem sırasında uygulanan basıncın, sıcaklığın ve soğutma hızının matris ile takviye materyali arasındaki yapışma derecesini ve takviye materyali yüzeyinde oluşan transkristalin yapıyı etkilediğini ortaya koymuştur [5-7, 14]. Housyar ve Shanks yapmış oldukları çalışmada basıncın, sıcaklığın, işlem süresinin ve soğutma hızının PP esaslı TBPK'lerin ürün özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Bu çalışma diğer bu konu ile yapılan çalışmalar incelendiğinde üretim koşul-

larının son ürün özelliklerine olan etkisini inceleyen en kapsamlı çalışmadır. Üretim sırasında uygulanan basıncın artmasının eriyik haldeki matris materyalinin lif formundaki takviye materyalinin aralarına girmesini yani takviye materyalinin ıslanmasını artırdığını ortaya koymuşlardır. İşlem süresinin artmasının belli bir süreye kadar son ürün özelliklerini artırdığı ancak belli bir süreden sonra takviye materyalinin relaksasyona uğrayarak moleküler oriyantasyonunu kaybetmesine neden olduğunu ortaya koymuştur. Hızlı soğutmanın üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini bozduğunu ortaya koymuşlardır [32]. Üretim sıcaklığının son ürün özelliklerine etkisini inceleyen çalışma sayısı daha fazladır. Bu çalışmaların hepsinden çıkarılacak ortak sonuç, matris materyalinin erime noktasının ne kadar üzerinde çalışılırsa yani takviye materyalinin erime noktasına ne kadar yaklaşırsa o kadar iyi yapışma ve mekanik özellik elde edilmektedir. Bu durum oldukça anlaşılır olup matris malzemesinin erime noktasının üzerine çıkıldıkça eriyik viskozitesi düşeceğinden uygulanan basınç etkisiyle takviye materyalinin ıslatması o kadar iyi olacaktır. Takviye materyalinin erime noktasına yaklaşıldıkça lif yüzeyi kısmen yumuşamakta böylece matris ile takviye materyalinin yapışması o kadar iyi olmaktadır. Ancak üretim sıcaklığının lifin erime noktasına yaklaşması lifin oriyantasyonunun bozulması problemini de beraberinde getirmektedir. Bu yüzden üretim sıcaklığı takviye materyalinin erime noktasına yaklaştıkça kompozit malzemenin üretim süresinin de ayarlanması o kadar hassaslaşmaktadır. Genel olarak, kullanılan matris materyalinin erime noktasının 10 °C üzerinde yapılan işlemin hem matris materyalinin viskozitesini düşürerek takviye elemanının ıslanmasını artırdığı hem de işlem kontrolünün daha kolay sağlandığını göstermektedir [26, 32, 33]. PP esaslı üretilen kompozitlerin son ürün özelliklerini etkileyen diğer bir faktör ise takviye materyali yüzeyinde matris materyalinin lif yüzeyine dik şekilde kristallenmesi oluşan trans-kristalin tabakanın varlığıdır. Lif yüzeyinde transkristalin yapının görünümü Şekil 4'de gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda transkristalin yapının görülmesinin takviye materyali ile matris materyali arasındaki yapışmanın iyi olduğunun göstergesi olduğu vurgulanmış ve transkristalin tabakanın matris üzerindeki kuvvetin takviye materyaline transferinde etkili olduğunu göstermişlerdir [26, 27, 34]. Üretim koşullarının değişmesiyle mekanik özelliklerin değişmesinin diğer bir nedeni ise transkristalin yapının oluşunun üretim koşullarına bağlı olarak değişmesidir.

Hine ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada film istifleme yöntemi ile sıcak presleme yönteminin birlikte uygulanmasının tek başına film istifleme yöntemine göre takviye materyalinin daha iyi ısınmasından dolayı daha iyi mekanik özelliklere sahip TBPk üretimine olanak verdiğini ortaya koymuşlardır [35].



Şekil 4 Lif yüzeyinde transkristalin yapının görünümü

Son yıllarda, matris materyali olarak kullanılacak polimerlerin içerisine çeşitli dolgu malzemeleri ilave ederek fonksiyonel özellikler kazandırma yönünde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [36-38].

Film istifleme yöntemi ile TBPk üretiminde en çok çalışmanın yapıldığı ikinci polimer sınıfı PE'dir. Bu çalışmaların hepsinde ultra yüksek yoğunluklu polietilen (UYYPE)'den jel eğirme yöntemiyle üretilmiş lifler takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak ise alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), YYPE, PE'nin kopolimerleri, UYYPE'den üretilmiş filmler kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin son ürün özelliklerini PP esaslı TBPk'leri etkileyen faktörler benzer şekilde etkilediğinden detaylı olarak tekrardan anlatılmamıştır [39-42]. Bu çalışmalarda UYYPE'den dokunmuş kumaş yapısının çalışılmamış olması, lif çapının, dokuma konstrüksiyon yapısının çalışılmamış olması bu konuda çalışma yapılabilecek alanlar arasındadır.

Poliester esaslı TBPk üretiminde yapılan çalışmalarda PET esaslı bant ve bezayağı dokuma takviye materyali olarak kullanılırken, biyobozunur poliester, kopolimer ve amorf PET'den üretilmiş filmler matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu yapılan çalışmalarda PE ve PP esaslı kompozitlerde görülen genel trendin aksine meka-

nik özellikler belli bir işlem sıcaklığına kadar artmış ancak daha sonra düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak kullanılan matris materyalinin bozunmasını göstermişlerdir [43-46].

Poliamid esaslı TBPk üretiminde film istifleme yöntemi tek başına veya sıcak presleme yöntemi ile birleştirilerek kullanılmıştır. Poliamid esaslı TBPk üretimi ile ilgili çalışmalar daha sınırlı sayıda kalmış ve PA-6, PA-6.6 esaslı TBPk üretimi gerçekleştirilmiştir. PA-6 esaslı TBPk üretiminde PA-6 iplik ve kevlerden örülmüş yüzey takviye materyali olarak kullanılırken, PA-6'dan üretilmiş film takviye materyali olarak kullanılmıştır. Poliamid 6.6 esaslı TBPk üretiminde PA 6.6'dan üretilmiş film matris materyali, PA 6.6 iplik ise takviye materyali olarak kullanılmıştır [47-49].

Film istifleme yöntemi ile TBPk üretiminde kullanılan diğer polimer sınıfı ise likid kristal polimerlerdir. Bu amaçla aromatik poliester sınıfında yer alan ticari olarak Vectran® M ve Vectran® HS ticari isimli iki farklı lif kullanılmıştır. Bu liflerden Vectran® M'nin erime noktası 276 °C olup Vectran® HS'nin erime noktası 330 °C'dir. Düşük erime noktasına sahip lif üretim sırasında eriyerek matris malzemesini oluştururken, yüksek erime noktasına sahip lif mekanik özelliklerini koruyarak takviye materyali görevi görmüştür [50-51].

Film istifleme yöntemi kullanarak PLA esaslı TBPk üretiminde sadece bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada amorf film matris malzemesi olarak kullanılırken takviye materyali olarak lif, iplik ve kumaş formunda yüksek kristaliniteye sahip PLA takviye materyali olarak kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin üretim sıcaklığına bağlı olarak değiştiği ve en iyi mekanik özelliklerin 135 °C işlem yapıldığında elde edildiği vurgulanmıştır.

#### 4. SONUÇ

İlk TBPk üretim fikri yaklaşık 40 yıl önce ortaya atılmasına rağmen bu konu ile ilgili kapsamlı çalışmalar son on yıllık dönemde yoğunlaşmıştır. Ticari olarak PP ve PE esaslı TBPk'ler kullanılmaya başlanmış olup diğer polimer sınıfındaki polimerlerinde ticarileşmesi muhtemel gözükmektedir. TBPk'ler genel olarak sağladığı geri dönüştürülebilir olmaları, fiyat-performans ve hafiflik gibi avantajları nedeniyle bilim adamlarının ilgisini çekmeye devam edecektir.



**KAYNAKLAR**

1. Akovalı, G., (1984), *Polimer Temel ve Uygulamaları*, A.Ü.F.F., Ankara.
2. Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., (2005), *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*, CRC press, Boca Raton.
3. Mazumdar, S.K., (2002), *Composites Manufacturing*, CRC Pres, Boca Raton.
4. İnkaya, S., (2011), *Dünyada ve Türkiye’de Kompozit Sektörü*, Mühendis ve Makine, 613, 52, 30-35.
5. Kmetty, A., Barany, T., Kager-Kocsis, J., (2010), *Self-reinforced Polymeric Materials: A Review*, Progress in Polymer Science, 10, 35, 1288-1310.
6. Ward, I.M., Hine, P. J., (2004), *The Science and Technology of Hot Compaction*, Polymer, 5, 45, 1413-1427.
7. Gao, C., Yu, L., Liu, H., Chen, L., (2012), *Development of Self-reinforced Polymer Composites*, Progress in Polymer Science, 6, 37, 767-780.
8. Saheb, D.N., Jog, J.P., (1999), *Natural Fiber Polymer Composites: A Review*, Advances in Polymer Technology, 4, 18, 351-363.
9. Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal L.T., (2001), *Surface Modifications of Natural Fibers and Performance of the Resulting Biocomposites: An overview*, Composite Interfaces, 5, 8, 313-343.
10. George, J., Sreekala, M.S., Thomas, S., (2001), *A Review on Interface Modification and Characterization of Natural Fiber Reinforced Plastic Composites*, Polymer Engineering and Science, 9, 41, 1471-1485.
11. Bulut, Y., Erdogan, H.U., (2011), *Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı*, Tekstil ve Mühendis, 82, 18, 26-35.
12. Capiati, N.J., Porter, R.S., (1975), *The Concept of One Polymer Composites Modelled with High Density Polyethylene*, Journal of Materials Science, 10, 10, 1671-1677.
13. Fakirov, S., (2012), *Nano and Microfibrillar Single-Polymer Composites: A Review*, Macromolecular Materials and Engineering, DOI: 10.1002/mamem201200226.
14. Matabola, K.P., Vries, A.R.D., Moolman, F.S., Luyt, A.S., (2009), *Single Polymer Composites: A Review*, Journal of Materials Science, 23, 44, 6213-6222.
15. Lacroix, F.V., Lu, H., Schulte, K., (1999), *Wet Powder Impregnation for Polyethylene Composites: Preparation and Mechanical Properties*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 3, 30, 369- 373.
16. Lacroix, F.V., Werwer, M., Schulte, K., (1998), *Solution Impregnation of Polyethylene Fibre/Polyethylene Matrix Composites*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 4, 29, 371-376.
17. Izer, A., Barany, A., (2007), *Hot Consolidated All-PP Composites from Textile Fabrics Composed of Isotactic PP Filaments with Different Degrees of Orientation*, Express Polymer Letters, 12, 1, 790-796.
18. Alcock, B., Cabrera N.O., Barkoula, N-M., Loos, J., Peijs, T., (2006), *The Mechanical Properties of Unidirectional All-polypropylene Composites*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 5, 37, 716-726.
19. Jordan, D.N., Olley, H.R., Basset, C.D., Hine, J.P., Ward, I. M., (2002), *The Development of Morphology during Hot Compaction of Tensylon High-Modulus Polyethylene Tapes and Woven Cloths*, Polymer, 12, 43, 3397- 3404.
20. Hein, P.J., Ward, I.M., (2006), *Hot Compaction of Woven Nylon 6,6 Multifilaments*, Journal of Applied Polymer Science, 2, 10, 991-997.
21. Hein, P.J., Ward I.M., (2003), *Hot Compaction of Woven Poly(ethylene terephthalate) Multifilaments*, Journal of Applied Polymer Science, 4, 91, 2223-2233.
22. Rojanapitayakorn, P., Mather, P.T., Goldberg, A.J., Weiss, R.A., (2005), *Optically Transparent Self-reinforced Poly(ethylene terephthalate) Composites: Molecular Orientation and Mechanical Properties*, Polymer, 3, 46, 761-773.
23. Alcock, B., Cabrera N.O., Barkoula, N-M., Loos, J., Peijs, T., (2007), *Interfacial Properties of Highly Oriented Coextruded Polypropylene Tapes for the Creation of Recyclable All-Polypropylene Composites*, Journal of Applied Polymer Science, 1, 104, 118-129.
24. Alcock, B., Cabrera N.O., Barkoula, N-M., Spoelstra A.B., Loos, J., Peijs, T., (2007), *The Mechanical Properties of Woven Tape All-polypropylene Composites*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 1, 38, 147-161.
25. Zhang, J.M., Peijs, T., (2010), *Self-reinforced Poly(ethylene terephthalate) Composites by Hot Consolidation of Bi-component PET Yarns*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 8, 41, 964-972.
26. Izer, A., Barany, T., Varga, J., (2009), *Development of Woven Fabric Reinforced All-Polypropylene Composites with Beta Nucleated Homo- and Copolymer Matrices*, Composites Science and Technology, 13, 69, 2185-2192.
27. Abraham, T.M., Wanjale, S.D., Barany, T., Karger-Kocsis, J., (2009), *Tensile Mechanical and Perforation Impact Behavior of All-PP Composites Containing Random PP Copolymer as Matrix and Stretched PP Homopolymer as Reinforcement: Effect of  $\beta$  Nucleation of the Matrix*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 5, 40, 662-668.
28. Barany, T., Izer, A., Karger-Kocsis, J., (2009), *Impact Resistance of All-polypropylene Composites Composed of Alpha and Beta Modifications*, Polymer Testing, 2, 28, 176-182.
29. Housyar, S., Shanks, R.A., Hodzic, A., (2005), *Influence of Different Woven Geometry in Poly(propylene) Woven Composites*, Macromolecular Materials and Engineering, 1, 290, 45-52.
30. Housyar, S., Shanks, R.A., (2004), *Tensile Properties and Creep Response of Polypropylene Fibre Composites with Variation of Fibre Diameter*, Polymer International, 11 53, 1752-1759.
31. Housyar, S., Shanks, R.A., (2003), *Morphology, Thermal and Mechanical Properties of Poly (propylene) Fibre-Matrix Coposites*, Macromolecular Materials and Engineering, 8, 288, 599-606.

32. Houshyar, S., Shanks, R.A., (2006), *Mechanical and Thermal Properties of Flexible Poly(propylene) Composites*, *Macromolecular Materials and Engineering*, 1, 291, 59-67.
33. Barany, T., Karger-Kocsis, J., Czigany, T., (2006), *Development and Characterization of Self-reinforced poly(propylene) Composites: Carded Mat Reinforcement*, *Polymers For Advanced Technologies*, 9-10, 17, 818-824
34. Kitayama, T., Utsumi, S., Hamada, H., Nishino, T., Kikutani, T., Ito, H., (2003), *Interfacial Properties of PP/PP Composites*, *Journal of Applied Polymer Science*, 13, 88, 2875-2883.
35. Hine, P.J., Olley, R.H., Ward, I.M., (2008), *The Use of Interleaved Films for Optimising the Production and Properties of Hot Compacted, Self Reinforced Polymer Composites*, *Composites Science and Technology*, 6, 68, 1413-1421.
36. Foster, R. J., Bonner, M.J., Ward, I. M., (2011), *The Use of Nano and Micron-sized Particles to Enhance the Interlayer Adhesion in Self-reinforced, Single-polymer Composites*, *Composite Science and Technology*, 4, 71, 461-465.
37. Bocz, K., Barany, T., Toldy, A., Bodzay, B., Csontos, I., Madi, K., Marosi, G., (2013), *Self-extinguishing Polypropylene with a Mass Fraction of 9 % Intumescent Additive- A New Physical Way for Enhancing the Fire Retardant Efficiency*, *Polymer Degradation and Stability*, 1 98, 79-86.
38. Bocz K., Toldy, A., Kmetty, A., Barany, T., Igricz, T., Marosi G., (2012), *Development of Flame Retarded Self-reinforced Composites from Automotive Shedder Plastic Waste*, *Polymer Degradation and Stability*, 3, 97, 221-227.
39. Kazanci, M., Cohn, D., Marom, G., Migliaresi, C., Pegoretti, A., (2002), *Fatigue Characterization of Polyethylene Fiber Reinforced Polyolefin Biomedical Composites*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 4, 33, 453-458.
40. Shalom, S., Harel, H., Marom, G., (1997), *Fatigue Behaviour of Flat Filament-Wound Polyethylene Composites*, *Composite Science and Technology*, 9-10, 57, 1423-1427.
41. Lacroix, F.V., Loos, J., Schulte, K., (1999), *Morphological Investigations of Polyethylene Fibre Reinforced Polyethylene*, *Polymer*, 4, 40, 843-847.
42. Deng, M., Shalaby, S.W., (1997), *Properties of Self-reinforced Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Composites*, *Biomaterials*, 9,18, 645-655.
43. Wu, C. M., Chang, C. Y., Wang, C.C., Lin, C.Y., (2012), *Optimum Consolidation of All-Polyester Woven Fabric Reinforced Composite Laminates by Film Stacking*, *Polymer Composites*, DOI 10.1002/pc.22146.
44. Zhang, J.M., Reynolds, C.T., Pejis, T., (2009), *All-poly(ethylene terephthalate) Composites by Film Stacking of Oriented Tapes*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 11, 40, 1747-1755.
45. Yao, D., Li, R., Nagarajan, P., (2006), *Single-Polymer Composites Based on Slowly Crystallizing Polymers*, *Polymer Engineering and Science*, 9, 46, 1223-1230.
46. Chen, J.C., Wu, C.M., Pu, F.C., Chiu, C.H., (2011), *Fabrication and Mechanical Properties of Self Reinforced Poly(ethylene terephthalate) Composites*, *eXpress Polymer Letters*, 3, 5,228-237.
47. Khondker, O.A., Fukui, T., Inoda, M., Nakai, A., Hamada, H., (2004), *Fabrication and Mechanical Properties of Aramid/nylon Plain Knitted Composites*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 10, 35, 1195-1205.
48. Bhattacharyya, D., Maitrot, P., Fakirov, S., (2009), *Polyamide 6 Single Polymer Composites*, *eXpress Polymer Letters*, 8, 3, 525-532.
49. Duhovic, M., Maitrot, P., Fakirov, S., (2009), *Polyamide 66 Polymorphic Single Polymer Composites*, *The Open Macromolecules Journal*, 3, 37-40.
50. Pegoretti, A., Zanolli, A., Migliaresi, C., (2006), *Preparation and Tensile Mechanical Properties of Unidirectional Liquid Crystalline Single-Polymer Composites*, *Composites Science and Technology*, 13, 66, 1970-1979.
51. Pegoretti, A., Zanolli, A., Migliaresi, C., (2006), *Flexural and Interlaminar Mechanical Properties of Unidirectional Liquid Crystalline Single-Polymer Composites*, *Composites Science and Technology*, 13, 66, 1953-1962.
52. Li R, Yao D., (2008), *Preparation of Single Poly(lactic acid) Composites*, *Journal of Applied Polymer Science*, 5, 107, 2909-2916.