

AKÜ FEMÜBİD 18 (2018) 015903 (692-700)

AKU J. Sci. Eng. 18 (2018) 015903 (692-700)

DOI: 10.5578/fmbd.66987

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Cam Fiber Takviyeli Polimerlerin Plastik Enjeksiyonunda Fiber Yönlenmesinin İncelenmesi

**Mihriğül Altan\* , Meltem Eryıldız***Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.**e-posta:meksi@yildiz.edu.tr*

Geliş Tarihi:28.04.2017

; Kabul Tarihi:15.08.2018

### Özet

Cam fiber takviyeli polimerlerin plastik enjeksiyonunda fiber yönlenmesinin kontrolü, malzemenin özelliklerini geliştirmek yönünden önem taşımaktadır. Fiberlerin polimerin akış yönüne paralel veya rastgele yönlenmesine bağlı olarak malzemenin mekanik özelliği ve lineer genleşme katsayısı değişmektedir. Fiber yönlenmesinin kontrolü, farklı kriterlere bağlı olsa da, öncelikle kalıp tasarımının ve enjeksiyon kalıplama şartlarının optimize edilmesi ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada, %30 cam fiber takviyeli polipropilenin farklı şartlardaki enjeksiyonu ile akışa paralel fiber yönlenmesinin gerçekleştiği kayma tabakası kalınlığının artırılması amaçlanmıştır. Taguchi L9 matrisine göre deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kalıp sıcaklığı, ergiyik sıcaklığı ve enjeksiyon hızı, girdi parametreleri olarak kabul edilmiştir. Elde edilen numunelerdeki akış yönüne paralel yönlenmenin gerçekleştiği kayma tabakası kalınlığı ise çıktı olarak belirlenmiştir. Kayma tabakasının kalınlığı, elektron mikroskopundan alınan görüntüler üzerinden ölçülmüştür. Elde edilen fiber yönlenmesine bağlı olarak, malzemenin dinamik mekanik davranışı ile Dinamik Mekanik Analiz (DMA) uygulanarak irdelenmiş, depolama modülü, kayıp modülü ve tan delta değerleri elde edilmiş. Çalışmanın sonucunda, yüksek kalıp ve ergiyik sıcaklığı değerlerinde, kayma tabakası kalınlığının arttığı belirlenmiştir. Kayma tabaka kalınlığı arttığında, depolama modülü ve kayıp modülü değerlerinin yükseldiği görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

Plastik Enjeksiyon  
Kalıplama; Cam Fiber;  
Fiber Yönlenme;  
Polipropilen; Kayma  
Tabakası

## Investigation of Fiber Orientation in Injection Molding of Glass Fiber Reinforced Polymers

### Abstract

Controlling fiber orientation in plastic injection of glass reinforced polymers is important due to the improvement of the properties of the material. The mechanical properties and linear expansion coefficient of the material change according to the orientation of the fibers parallel to the flow direction or random orientation. The controlling of the fiber orientation depends on several criteria but specifically, this is provided by the optimization of the mold design and injection molding parameters. In this study, 30% glass fiber reinforced was injected under various injection molding conditions in order to increase the fiber orientation parallel to the flow direction. The experimental study was carried out according to the Taguchi L9 orthogonal array. The mold temperature, melt temperature and injection rate were accepted as input parameters. The thickness of the shear layer in which the fibers oriente parallel to the flow direction was taken as output. The shear layer thickness was measured over the images obtained by scanning electron microscope. In order to investigate the dynamic mechanical behavior of the material depending on fiber orientation, Dynamical Mechanical Analysis (DMA) was applied. Storage modulus, loss modulus and tan delta values were obtained. As a result, it has been observed that higher mold temperature and melt temperature values increased shear layer thickness. Higher shear layer thickness induced higher storage modulus and loss modulus.

### Keywords

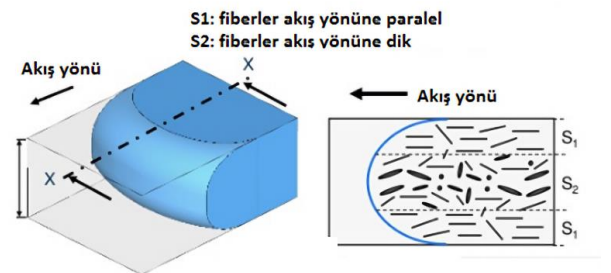
Plastic Injection  
Molding; Glass Fiber;  
Fiber Orientation;  
Polypropylene; Shear  
Layer

## 1. Giriş

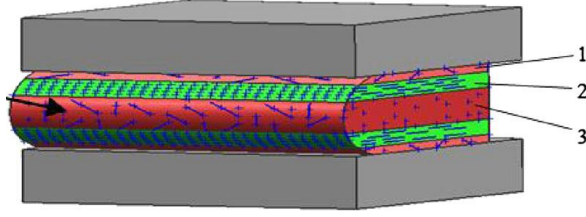
Fiber takviyeli polimerler, sağladıkları yüksek mekanik dayanım, kolay şekillendirilebilirlik özelliklerinden ötürü tercih edilmekte olup, otomotiv, hava araçları, spor ekipmanları ve mobilya gibi farklı alanlarda oldukça geniş kullanım alanına sahiptir (Bajracharya vd. 2016, Dong, 2014). Ancak, şekillendirme esnasında fiberin yönlendirmesine bağlı olarak elde edilen ürünün özelliklerinde ciddi farklılıklar gözlemlenmektedir. Plastik enjeksiyon kalıplama, kırılmış fiber takviyeli polimerlerin yaygın olarak şekillendirildiği imalat yöntemlerinden biridir. Malzeme kalıp içine enjekte edilip, kalıbı doldurma ve katılma sürecinde, polimerin akış yönüne, kalıp tasarımına, malzeme viskozitesine, enjeksiyon kalıplama şartlarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple, fiber yönlendirmesinin kontrolü, nihai ürünün özellikleri açısından önem arz etmektedir (Hashemi and Lepessova 2007, Köpplmayr *et al.* 2013, Singh and Kamal 1989, Agboola *et al.* 2012, Serano *et al.* 2013, Barbosa and Kenny 1999, Yaguchi *et al.* 1995). Enjeksiyon kalıplamada fiber yönlendirmesinin kontrolü ve etkileri üzerine çalışmalar mevcuttur. Li *et al.* (2014) enjeksiyon kalıplamadaki ısı parametrelerinin fiber yönlendirmesi üzerine etkilerini incelemiş ve ayrıca kalıptan çıkan parçaların yüzey pürüzlülüklerini fiberlerin yönlendirmesine bağlı olarak incelemiştir. Shokri and Bhatnagar (2012) tutma basıncının fiber yönlendirmesi üzerine etkisini, Meyer *et al.* (2013)'de kalıp tasarımına bağlı fiber yönlendirmesini incelemiştir. Mortazavian and Fatemi (2005) iki farklı akış yönü ve parça kalınlığına göre fiberlerin dağılımını ve çekme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Minnick and Baird (2016) enjeksiyon kalıplama parametrelerinden enjeksiyon hızındaki değişiminin fiber yönlendirmesine olan etkisini araştırmışlardır. Goris *et al.* (2016) enjeksiyon kalıplama sürecinde meydana gelen fiber yönlendirmesinin parçanın mekanik özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Yapılan birçok çalışmada tutma basıncının, kalıp sıcaklığı gibi ısı parametreleri kadar etkili olmadığını göstermektedir. Enjeksiyon kalıplama çevriminde, tutma basıncı safhasına geçildiğinde, malzemenin büyük bir kısmının katıldığı bilinmekte ve bu

aşamada fiberler, matris içinde buldukları konumda çok küçük açı değerlerinde yönlendirmeler (oryantasyon) yapmaktadır. Vincent *et al.* (2005) fiber yönlendirmesi üzere matematiksel bir yaklaşım yapmış olup, farklı fiber katkı oranlarında deneylerini gerçekleştirmiştir. Kim *et al.* (2001) görüntü işleme teknikleri ile fiber yönlendirmesini incelemiş, elde ettikleri sonuçları, nümerik analiz sonuçları ile birlikte değerlendirmiştir. Thi *et al.* (2015) farklı enjeksiyon kalıplarında, 3 boyutlu X-ray tomografi tekniği ile gözlemlenmiştir. Polimerin kalıp içi akışını sonlu elemanlar metodu ile analiz etmişlerdir. Peng *et al.* (2015) enjeksiyon kalıplama proses parametrelerine göre fiber yönlendirmesini bilgisayar ortamında tahmin edip deneysel olarak doğrulamasını yapmıştır.

Fiber yönlendirmesinin incelenmesinin yanı sıra, birçok araştırmacı fiber yönlendirmesini optimize etmek üzerine de çalışmalar gerçekleştirmiştir (Tzeng *et al.* 2012, Yashiro *et al.* 2012, Shie 2008, Kim and Lee 2006, Chen *et al.* 2006). Fiber yönlendirmesinin, plastik enjeksiyon kalıplama için önemli olmasının nedenlerinden biri, enjeksiyon şartlarına bağlı olarak, enjekte edilen parçanın yüzey tabakasından, merkez bölgeye kadar olan aralıkta fiber yönlendirmesinin değişkenlik göstermesidir. Şekil 1' de akış yönünde fiberlerin yönlendirmesi gösterilmiştir. Şekil 2' de ise, enjeksiyon sonrası katılma cam fiber takviyeli polimer yapıda 3 farklı bölge oluştuğu görülmektedir. Birinci bölge "kabuk tabakası", ikinci bölge "kayma tabakası" ve üçüncü bölge ise "merkez bölge" olmaktadır. Araştırmacıların optimize etmek istedikleri ve önem arz eden bölge "kayma tabakası" olmaktadır.



Şekil 1. Plastik enjeksiyonda fiber yönlendirmesinin sematik gösterimi (Pazour, 2014).



**Şekil 2.** Plastik enjeksiyonda fiber yönlendirmesine bağlı oluşan bölgeler: 1- kabuk bölgesi 2- kayma bölgesi 3- merkez bölgesi (Li et al.2014).

Plastik enjeksiyon şartlarına göre kalınlıkları değişen bu bölgelerden, kayma tabakası en yüksek sürtünme ve kayma gerilmeleri etkisi altında olmasından ötürü, fiberler polimer akışına paralel olarak yönlendirmeye zorlanmaktadır. Kabuk tabakası ise, en hızlı katılaştığı bölge olduğu için fiberler akışa paralel yönlendirmeye vakit bulamaz ve rastgele yönlendirilir. Merkez bölge ise kayma bölgesinin hemen altında olup, çok daha düşük sürtünme kuvvetleri etkisi altındadır. Bu bölgede, kayma tabakasındaki gibi akışa paralel değil, rastgele yönlendirme meydana gelmektedir.

Literatürde, fiber takviyeli polimerlerin enjeksiyonunda fiber yönlendirmesi ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına karşın, kayma tabakasının kalınlığındaki artışın dikkate alınarak enjeksiyon şartlarının optimize edilmesi ve elde edilen sonuçların malzemenin mekanik özelliği ile ilişkilendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışmada, farklı enjeksiyon şartları altında elde edilen numunelerdeki fiber yönlendirme bölgeleri incelenmiş ve dinamik mekanik davranışları irdelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme

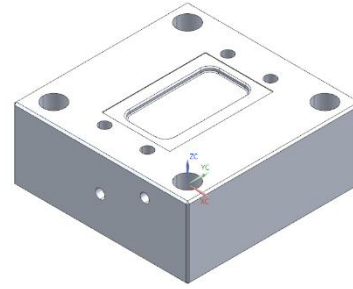
Deneysel çalışmada ticari olarak temin edilmiş olan %30 kırılmış fiber takviyeli polipropilen (CFTP) kullanılmıştır. Malzemede takviye olarak kullanılan cam fiberin boyutları 13 mikron çapında ve 4-6 mm uzunluğundadır. Malzemenin özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Deneysel çalışmada kullanılan polipropilenin özellikleri

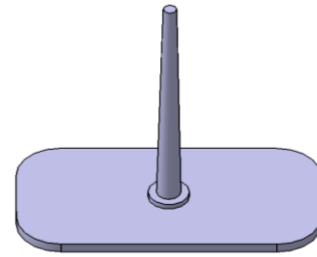
Özellik	Değerler
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	905
Akış indeksi (g/10dak)	12
Elastiklik modülü (MPa)	1550
Akmadaki uzama (%)	9
Akmadaki gerilme (MPa)	34
Charpy darbe dayanımı (kJ/m)	3,5

### 2.2. Enjeksiyon Kalıplama

Cam fiber takviyeli polipropilenin enjeksiyonunda 40 tonluk plastik enjeksiyon makinası kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan kalıbın katı modeli, parçanın katı modeli ve elde edilen parçanın fotoğrafı Şekil 3' de verilmiştir. Parçanın boyutları 100 x 50 x 2 mm' dir. Plastik enjeksiyon parametreleri, Taguchi' nin L9 ortogonal matrisine göre planlanmış olup, deneysel plan Çizelge 2' de verilmiştir. Çizelge 2' de gösterildiği gibi, ergiyük sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı 3 farklı seviyede uygulanmıştır.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 3.** a) Kalıbın katı modeli, b) Parçanın katı modeli, c) Örnek parça

**Çizelge 2.** Deney Planı

Deney No	Semboller			Kontrol Faktörleri		
	A	B	C	Ergiyik Sıcaklığı [8C]	Kalıp Sıcaklığı [8C]	Enjeksiyon hızı [%]
1	1	1	1	200	20	30
2	1	2	2	200	40	32
3	1	3	3	200	60	34
4	2	1	2	240	20	32
5	2	2	3	240	40	34
6	2	3	1	240	60	30
7	3	1	3	260	20	34
8	3	2	1	260	40	30
9	3	3	2	260	60	32

**Çizelge 3.** Deney şartlarına bağlı elde edilen kayma bölgesi kalınlıkları

No	Ergiyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (%)	Kayma Bölgesi Kalınlığı (micron)	S/N Oranları (dB)
1	200	20	30	550	54,8073
2	200	40	32	668	56,4955
3	200	60	34	816	58,2338
4	240	20	32	786	57,9085
5	240	40	34	608	55,6781
6	240	60	30	798	58,0401
7	260	20	34	847	58,5577
8	260	40	30	783	57,8752
9	260	60	32	910	59,1808

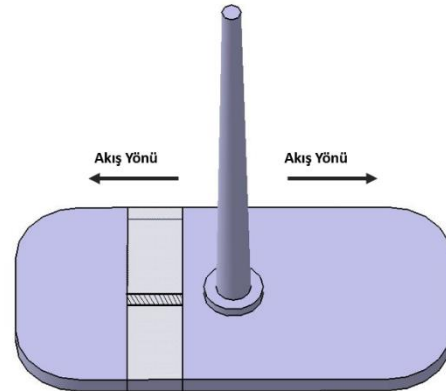
**2.3 Taramalı elektron mikroskobu**

Enjeksiyonla elde edilen numuneler deney parçaları üzerinde fiber yönlendirmesi incelenmiştir. Bu amaçla numuneler öncelikle altın ile kaplanmış ve daha sonrasında da taramalı elektron mikroskobunda (Scanning electron microscope, SEM) (Zeiss EVO LS 10), fiber yönlendirmesi incelenmiştir.

**2.4 Dinamik mekanik analiz**

Fiber oryantasyonuna bağlı malzemedeki dinamik mekanik performansın belirlenmesi için, Dinamik Mekanik Analiz cihazında (DMA 8000, Perkin Elmer), 50 x 10 x 2 mm boyutlarında numunelere, tek mesnetten eğme modunda (single cantilever), 5 °C/dak ısıtma hızında, 1 Hz frekansta ve -50 ile 100 °C sıcaklık aralığında uygulanmıştır.

SEM ve DMA için numuneler Şekil 4' de verildiği kesitteki gibi, enjeksiyon kalıplanan parçaların akış yönünde kesilerek elde edilmiştir.



**Şekil 4.** DMA ve SEM numunelerinin kesiti

### 3. Bulgular ve Tartışma

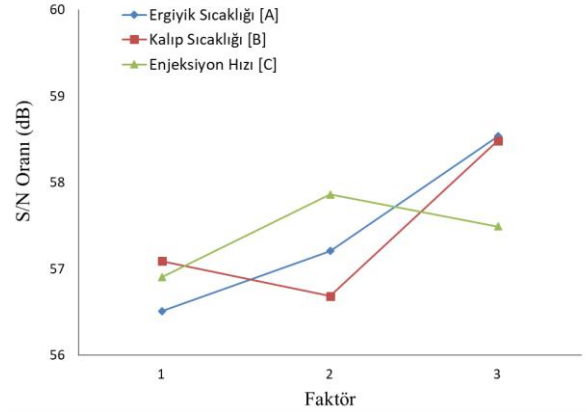
#### 3.1 Fiber Oryantasyonu

Fiber oryantasyonun incelenmesi için Çizelge 4' te verilen enjeksiyon şartlarında basılan parçalar üzerinden alınan numunelere elektron taramalı mikroskopu ile fiber yönlendirmeleri görüntülenmiştir. Parçalar üzerinden elde edilen numuneler Şekil 4' de verildiği gibi akış yönünde ve parçanın kalınlığı boyunca değişen fiber oryantasyonu incelenmiştir. Fiber oryantasyon incelenirken, özellikle numunelerdeki kabuk tabaka, kayma tabakası, merkez bölge olmak üzere 3 farklı bölge gözlemlenmiştir. Parçanın mekanik özellikleri üzerinde en etkili olan kayma bölgesi kalınlığının ölçülmesi için Image J programı kullanılmıştır. SEM görüntülerinin Image J programına aktarılması yapılan ölçümler ve kayma bölgesi sonuçları Çizelge 4' de verilmiştir.

Deneysel çalışma Taguchi L9 ortogonal dizisine göre yapılmıştır. Kayma bölgesi kalınlığının en yüksek değerde olması talep edilen bir durumdur. Çünkü kayma bölgesinde fiberler akışa paralel yönde yönlendirilmiştir. Merkez bölgede ise rastgele bir yönlendirme söz konusudur. Kabuk tabakası ise polimer matrisin ani soğuması ve katılaşmasından ötürü, fiber çok fazla akışa paralel yönlendirmeye imkân bulamamaktadır. Bu nedenle kabuk tabakası bölgesinde de fiberler rastgele yönlendirilmektedir. Dolayısıyla, akışa paralel yönlendirmenin en yüksek olduğu bölge kayma bölgesinde görülmektedir. Bu yönlendirme tabakası kalınlığı fazla olduğu durumlarda, malzemenin mekanik özelliğinde artış beklenmektedir. Ölçülen kayma bölgesi kalınlığı için "en büyük değer en iyi" prensibi alınmış ve bu prensibe bağlı olarak elde edilen SN oranları Çizelge 3'de verilmiştir. Hesaplanan SN oranlarına göre elde edilen SN grafiği Şekil 5' de gösterilmiştir. Elde edilen sonuca göre, yüksek kayma bölgesi kalınlığını veren deney parametresi kombinasyonu, A3B3C2 olmuştur. Bu parametre kombinasyonu, L9 tablosunda yer almış olmasından ötürü, doğrulama testi yapılmamıştır.

Çizelge 4. Ortalama SN oranları

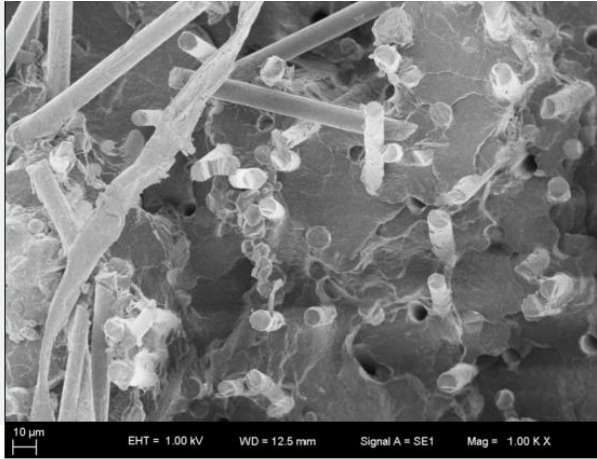
	Ergiyik Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (%)
Seviye 1	57,5122	57,0911	56,9075
Seviye 2	57,2089	56,6829	57,8616
Seviye 3	58,5379	58,4849	57,4898
Fark	2,0257	1,802	0,9541



Şekil 5. Faktörlere bağlı SN diyagramı

Çizelge 4'de verilen ortalama SN değerlerine bağlı elde edilen etkinlik derecelerine bakıldığında en etkili parametrenin ergiyik sıcaklığı ve daha sonrasında kalıp sıcaklığı olduğu görülmüştür. Literatürde de (Tzeng *et al.* 2012 ve Chen *et al.* 2006) benzer sonuçların elde edildiği, özellikle kalıp sıcaklığının ve ergiyik sıcaklığının fiber yönlendirmesini etkilediği görülmüştür. Enjeksiyon hızının fiber yönlendirmesine etkisi üzerine çalışmaların ise daha az olduğu görülmektedir. Enjeksiyon kalıplamadaki sıcaklık parametrelerinden, özellikle kalıp sıcaklığı ile ergiyik sıcaklığı arasında fark çok olduğunda, kabuk bölgesi daha erken katılaşmaktadır. Öte yandan, kalıp sıcaklığı fazla olduğunda, fiberler polimer matris ile kaplanmakta ve kabuk bölgesinde belirgin ve çıplak fiber görülmemektedir. Başka bir ifade ile kabuk tabakasında fiberin gözlemlenmesi zorlaşmaktadır. (Li *et al.* 2014, Chen *et al.* 2006). Şekil 6'da deneysel çalışmada elde edilen parçalara örnek teşkil eden (deney no .1.) numunenin kırılma yüzeyi gösterilmiştir. Şekil 6a'da fiberlerin matris içindeki dağılımı ve durumu, Şekil 6b'de ise kabuk ve kayma tabakaların detay görüntüsü verilmiştir. Fiberlerin polimer matris ile karıştırılmalarından

önce herhangi bir uyumlaştırıcı ile işlem görmemiş olmasından ötürü Şekil 6(a)' da, fiber ile polimer matris arasında belirgin bir adhezyon olmadığı, fiberlerin yüzey-polimer matris ile kaplanmadığı ve fiber-polimer arası bir bağ oluşmadığı görülmüştür. Şekil 6b' de ise kabuk ve kayma tabakası net bir şekilde gösterilmiştir. Chen ve et al 2006, çalışmalarına benzer, kabuk tabakasında, ergiyük polimer malzemenin kalıba aniden girişi ile kalıp yüzeyine yakın bölgede katılaşma meydana gelmekte ve malzemenin bu ani katılaşmasındandolayı fiberler matris içinde yönlenebilmektedir. Bundan dolayı da, kabuk tabakasında gözlemlenebilen fiberlerin sayısı oldukça azdır. Şekil 7'de deneysel çalışmada elde edilen tüm numunelerin kabuk ve kayma tabakası kalınlıkları karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.



(a)



(b)

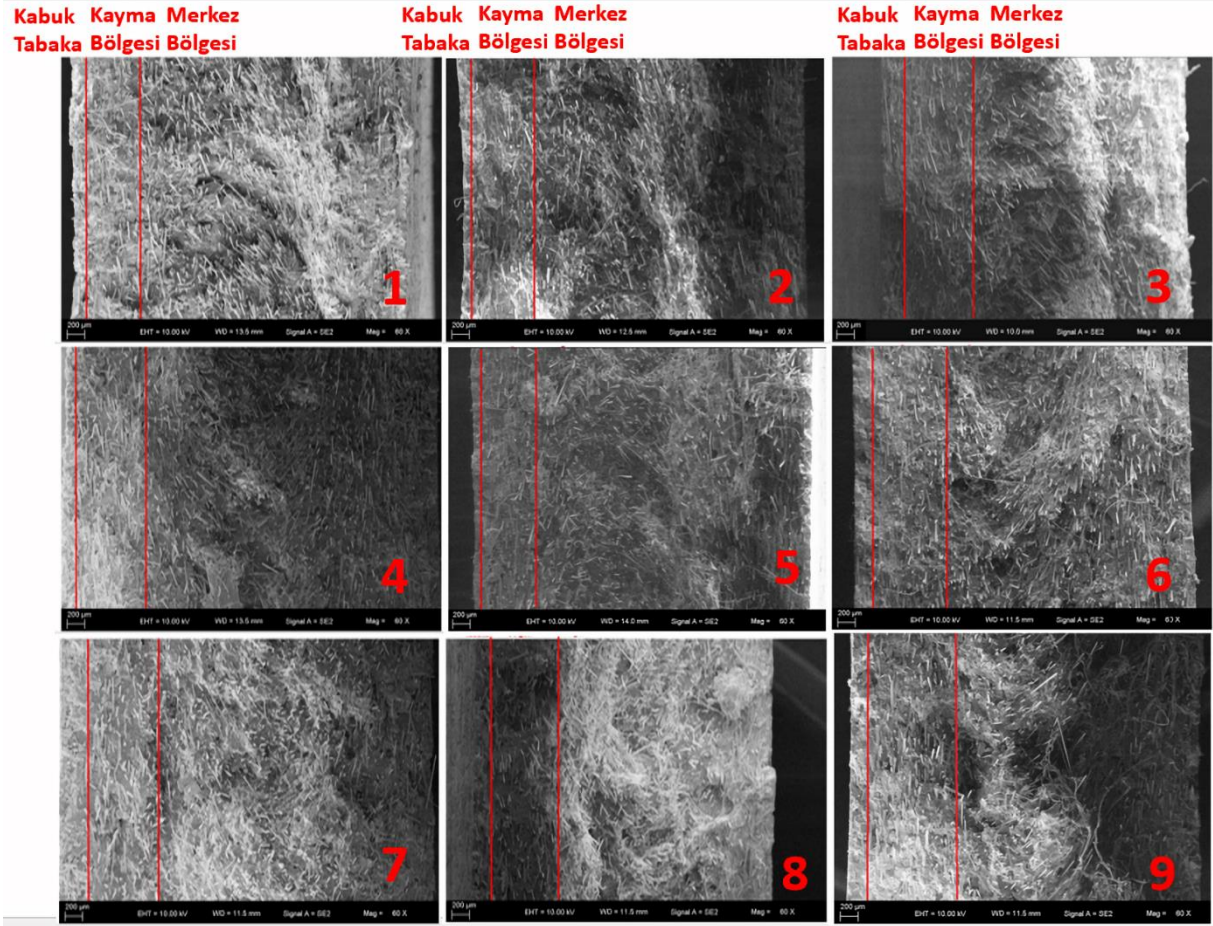
**Şekil 6.** Deneysel çalışmada elde edilen tüm numunelerin kabuk ve kayma tabakası kalınlıkları karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

### 3.1 Fiber yönlendirmesine bağlı dinamik mekanik davranış

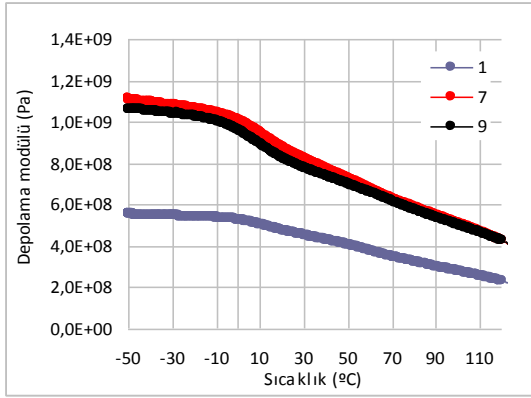
Farklı enjeksiyon kalıplama şartlarında elde edilmiş cam fiber takviyeli polipropilenin mekanik davranışı hakkında bilgi sahibi olmak için dinamik mekanik analiz uygulanmıştır.

Bilindiği üzere enjeksiyon kalıplamada sabit soğuma zamanında kalıp sıcaklığı veya ergiyük sıcaklığı arttırıldığı zaman, polimerlerin kalıp içinde soğuma hızı yavaşlamaktadır. Böyle bir durumda da malzemenin kristalleşmesinin artması söz konusudur. Öte yandan, kalıp sıcaklığı azaldığı durumda malzemenin erken katılaşması ve buna bağlı olarak kristalleşme oranının da azalması beklenmektedir (Katti and Schults 1982). Kristalleşme derecesinin artmasına bağlı olarak, malzemenin mekanik özelliklerinde de artış beklenebilir Ancak, bu her zaman gözlemlenen bir durum değildir. Özellikle polimer malzeme, fiber ile takviyelendirildiğinde, fiberler malzemenin kristalleşmesini kısıtlayabilmektedir (Liu *et al.* 2015). Dolayısı, bu çalışmada olduğu gibi, aynı oranda fiber takviyesine sahip polimerlerin enjeksiyonunda, kristalleşmenin etkisinden fiber yönlendirmesinin etkisi dikkate alınmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmada, akışa paralel fiber yönlendirmenin gerçekleştiği kayma bölgesindeki kalınlık artışı ve buna bağlı olarak dinamik mekanik analiz sonuçları irdelenmiştir. Dinamik mekanik analiz, deneysel çalışma kapsamında, en yüksek (9), en düşük (1) ve ortalama bir değerde kayma bölgesi kalınlığı veren (7) numuneler için yapılmış ve kıyaslanmıştır.

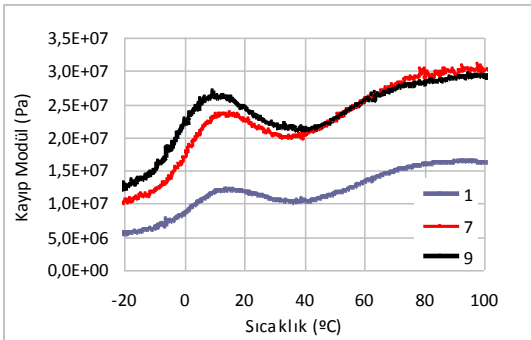
Depolama modülü ( $E'$ ), malzemede depolanan enerji ve malzemenin rijitliği hakkında bilgi verir (Amash and Zugenmajer 1997). Şekil 8a'da depolama modülü verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, en düşük kayma kalınlığına tekabül eden 1 numaralı numune en düşük depolama modülünü, 9 numaralı numune ile 7 numaralı numune ise en yüksek depolama modülü değerlerini vermiştir. Benzer bir davranış kayıp modülünde de görülmüştür (Şekil 8b). Elde edilen yüksek modül değerleri ile yüksek kayma bölgesi



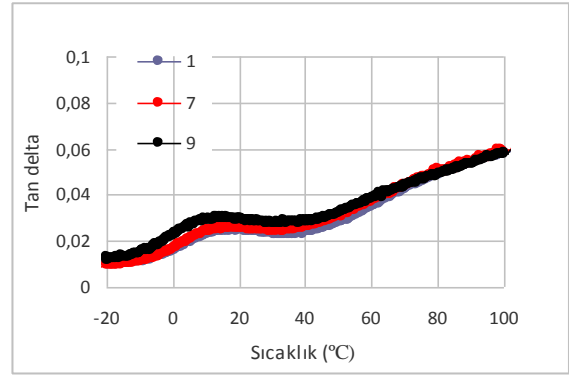
Şekil 7. Farklı enjeksiyon şartlarında elde edilen numunelerdeki fiber yönlendirmesi



(a)



(b)



(c)

Şekil 8. Dinamik mekanik analiz eğrileri a) Depolama modülü, b) Kayıp modülü, c) Tan delta

#### 4. Sonuçlar

Cam fiber takviyeli polipropilenin enjeksiyonunda uygulanan farklı enjeksiyon şartları ile fiberin yönlendirmesi incelenmiştir. Elde edilen numunelerde, kabuk tabakası, kayma tabakası ve merkez bölge dikkate alınmış ve kayma tabakası kalınlığı ölçülerek, enjeksiyon şartlarına bağlı olarak en yüksek kayma tabakası elde edilmeye

çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

-Yüksek kalıp sıcaklığı (60°C), yüksek ergiyik sıcaklığı (260 °C) ve orta seviyedeki enjeksiyon hızı (%32) uygulandığında, 910 µm değerinde kayma tabakası kalınlığı elde edilirken, 200 °C eriyik sıcaklığı ve 20 °C kalıp sıcaklığında, 550 µm değerinde en düşük kayma tabakası kalınlığı elde edilmiş ve kayma tabakasında %39,56 bir azalma meydana gelmiştir. Artan sıcaklık değerleri, akışa paralel fiber yönlenmesini ve kayma tabakası kalınlığını arttırmıştır.

-Kayma tabakası kalınlığının artması ile malzemenin dayanımı hakkında bilgi veren depolama modülünde de ciddi artış gözlemlenmiştir. Benzer bir davranış kayıp modülünde de elde edilmiştir.

-Elde edilen sonuçlara göre, aynı fiber katkı oranındaki polipropilen için, enjeksiyon şartları optimize edilmiş ve akışa paralel olan fiber yönlenmesi artırılırken, rastgele yönlenme azaltılarak malzemenin dinamik mekanik davranışı iyileştirilmiştir.

-Daha yüksek kalıp ve ergiyik sıcaklığı kayma tabakası kalınlığını artırmada başarılı olmaktadır. Ancak daha yüksek sıcaklıkların daha yüksek soğuma süresine neden olacağı ve bu enjeksiyon kalıplama proses süresini arttırdığı için endüstriyel uygulamalarda tercih edilmediği belirtilmelidir. Bu nedenle, kabul edilebilir çevrim süreleri içinde, kayma tabakası kalınlığını yüksek tutabilmek amacıyla bir optimizasyon her zaman gereklidir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: 2015-06-01-YL02

#### Kaynaklar

- Agboola, B.O., Jack, D.A. and Smith, S.M., 2012. Effectiveness of recent fiber-interaction diffusion models for orientation and the part stiffness predictions in injection molded short-fiber reinforced composites. *Compos Appl Sci Manuf.*, **43(11)**, 1959–1970.
- Amash, A. and Zugenmayer, P., 1997. Thermal and Dynamic Mechanical Investigations on Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, **63(9)**, 1143-1154.

- Bajracharyaa, R.M., Manalo, A.C., Karunasena, W. and Lau, K.T., 2016. Experimental and theoretical studies on the properties of injection moulded glass fibre reinforced mixed plastic composites. *Composites: Part A*, **84**, 393-405
- Barbosa, S.E. and Kenny, J.M., 1999. Analysis of the relationship between processing conditions – fiber orientation final properties in short fiber reinforced polypropylene. *Journal of Reinforced Plastic Composites*, **18(5)**, 413-420.
- Chen, C.S., Chen, T.J., Chen, S.C. and Chien, R.D., 2006. Optimization of the injection molding process for short-fiber-reinforced composites. *Mech Compos Mater*, **47(3)**, 359–368.
- Dong, C., 2014. Experimental investigation on the fiber preform deformation due to mold closure for composites processing. *Int J Adv Manuf Technol*, **71(1-4)**, 585–591.
- Goris, S., Gandhi, U., Song, Y.Y. and Osswald, T.A., 2016. Analysis of the Process-Induced Microstructure in Injection Molding of Long Glass Fiber-Reinforced Thermoplastics. *SPE ANTEC Indianapolis*, 318-326.
- Hashemi, S. and Lepessova, Y., 2007. Temperature and weldline effects on tensile properties of injection moulded short glass fibre PC/ABS polymer composite. *J Mater Sci Res*, **42(8)**, 2652–2661.
- Karsli, N.G. and Aytac, A., 2013. Tensile and thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites. *Compos. B Eng*, **51**, 270–275.
- Katti, S.S. and Schults, M., 1982. The microstructure of injection molded semi crystalline polymers. A review. *Polymer Engineering and Science*, **22(16)**, 1001-1017.
- Kim, E.G., Park, J.K and Jo, S.H., 2001. A study on fiber reinforced orientation during the injection molding of fiber reinforced polymeric composites. *Journal of Material Processing Technology*, **111**, 225-232.
- Kim, J.W. and Lee, D.G. 2006. Fiber Orientation state depending on injection mold gate variations during FRP injection molding. *Key Engineering Materials*, **321**, 938-941.



- Köpplmayr, T., Milosavljevic, I., Aigner, M., Hasslacher, R., Plank, B., Salaberger, D. and Miethlinger, J., 2013. Influence of fiber orientation and length distribution on the rheological characterization of glass-fiber filled polypropylene. *Polym Test*, **32**, 535–544.
- Li, X.P., Zhao, G.Q. and Yang, C., 2014. Effect of mold temperature on motion behaviour of short glass fibers in injection molding process. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **73(5)**, 639-645.
- Liu Y., Zhang, X., Song, C., Zhang Y., Fang Y., Yang, B. and Wang, X., 2015. An effective surface modification of carbon fiber for improving the interfacial adhesion of polypropylene composites. *Mater & Design*, **88**, 810-819.
- Meyer, K.J., Hofmann, J.T. and Baird, D.G., 2013. Initial conditions for simulating glass fiber orientation in the filling of center-gated disks. *Compos Appl Sci Manuf*, **49**, 192–202.
- Minnick, R.A. and Baird, D.G., 2016. Effects of Injection Molding Processing Parameters on Experimental Fiber Length Distribution of Glass Fiber-Reinforced Composites. *SPE ANTEC Indianapolis*, 368-372.
- Mortazavian, S. and Fatemi, A., 2015. Effects of fiber orientation and anisotropy on tensile strength and elastic modulus of short fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, **72**, 116-129.
- Pazour, S., 2014. Improved Quality Prediction of Injection Molded Fiber Reinforced Components by Considering Fiber Orientations. *Altair Conference, Presentations*, Munich.
- Peng, X., Qin, J. and Jiang, Y., 2015. An Approach for Predicting Fiber Orientation Distribution in Plastic Injection Molding of Composites. *British Journal of Applied Science & Technology*, **7(2)**, 186-194.
- Serrano, A., Espinach, F.X., Julian, F., Rey, R., Mendez, J.A. and Mutje, P., 2013. Estimation of the interfacial shears strength, orientation factor and mean equivalent intrinsic tensile strength in old newspaper fiber/ polypropylene composites. *Compos B Eng*, **50**, 232–238.
- Shie, J.R., 2008. Optimization of injection molding process for contour distortions of polypropylene composite components by a radial basis neural network. *Int J Adv Manuf Technol*, **36**, 1091–1103.
- Shokri, P. and Bhatnagar, N., 2012. Effect of the post-filling stage on fiber orientation at the mid-plane in injection molding of reinforced thermoplastics. *Phys Procedia*, **25**, 79–85.
- Singh, P. and Kamal, M.R., 1989. The effect of processing variables on microstructure of injection molded short fiber reinforced polypropylene composites. *Polymer Composites*, **10 (5)**, 344-351.
- Thi, T.B.N, Morioka, M., Yokoyama, A., Hamanaka, S., Yamashita, K. and Nonomura, C., 2015. Measurement of fiber orientation distribution in injection-molded short-glass-fiber composites using X-ray computed tomography. *AIP Conference Proceedings*, **1664**, 1-6.
- Tzeng, C.J., Yang, Y.K., Lin, Y.H. and Tsai, C.H., 2012. A study of optimization of injection molding process parameters for SGF and PTFE reinforced PC composites using neural network and response surface methodology. *Int J Adv Manuf Technol*, **63 (5-8)**, 691–704.
- Vincent, M., Giroud, T., Clarke, A. and Eberhardth, C., 2005. Description and modelling of fiber orientation in injection molding of fiber reinforced thermoplastics. *Polymer*, **46**, 6719-6725.
- Yaguchi, H., Hojo, H., Lee, D.G. and Kim, E.G., 1995. Measurement of planar orientation of fibers for reinforced thermoplastics using image processing. *International Journal Polymer Processing*, **10**, 262-269.
- Yashiro, S., Sasaki, H. and Sakaida, Y., 2012. Particle simulation for predicting fiber motion in injection molding of short-fiberreinforced composites. *Compos Appl Sci Manuf*, **43(10)**, 754–1764.