



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2010, Volume: 5, Number: 1, Article Number: 2A0038

**TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES**

Received: April 2009

Accepted: January 2010

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Abdülmecit Güldaş**

Gazi University

[aguldas@gazi.edu.tr](mailto:aguldas@gazi.edu.tr)

Ankara-Turkey

**PA 6 PLASTİK MALZEMESİNİN AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN BASINÇ VE SICAKLIK DEĞİŞİMİNE BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, mühendislik malzemelerinden olan farklı oranlarda cam elyaf katkılı Pa 6 malzemesinin akış özellikleri incelenmiştir. Ergiyik akış cihazı kullanılarak yapılan deneylerde takviyelendirilmemiş, %10 ve %20 oranlarında cam elyaf takviyeli Pa 6 malzemesinin sıcaklık ve basınç değişimine bağlı olarak akış özelliklerinin değişimi belirlenmiştir. Bu çalışmaya göre, Pa 6 malzemesinin ergiyik akış indeksi (EAİ) sıcaklık ve basınç artışına bağlı olarak doğrusal bir şekilde artmıştır. Takviye oranı arttıkça da EAİ değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Takviyelendirilmiş Polyamid 6, Cam Elyaf, Akış Özellikleri, Ergiyik Akış İndisi, Termoplastik Malzemeler

**DETERMINATION OF THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PA 6 PLASTIC MATERIAL ACCORDING TO THE PRESSURE AND TEMPERATURE**

**ABSTRACT**

In this study, flow properties of Pa6 glass fiber reinforced by different rates were investigated. Pure Pa6, 10% and 20% glass fiber reinforced Pa6 are utilized in the experimental study using Melt Flow devices. Variations of flow behaviors of Pa6 are determined according to altering of temperature and pressure. In accordance with this study, the value of Melt Flow Index (MFI) of Pa6 materials is increasing as linear depends on increasing the temperature and pressure. In addition, the values of MFI are decreasing during increasing the proportion of glass fiber reinforced.

**Keywords:** Reinforced Polyamid 6, Glass Fiber, Rheological Properties, Melt Flow Index, Thermoplastics Materials

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

20. yüzyılın başlarından itibaren kullanılan plastik malzemeler, fiziksel ve kimyasal özellikleri değiştirilebilir olduğundan ısmarlama malzeme olarak bilinmektedir. Özellikle hafif olmaları, kolay üretilebilmeleri, birçok kimyasallara karşı dirençli olmaları, renklendirilebilmeleri, şeffaf ya da opak olmaları, istenilen özelliklerinin değiştirilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı günümüzde endüstrinin her alanında kullanılmaktadır. Hafif olmaları ve üretimlerinin kolay olması ve seri üretime uygun olması nedeniyle geleneksel malzemelerin yerini almaktadır. Isı karşısında gösterdikleri davranışa göre termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere üç ana gruba ayrılan plastiklerin endüstriyel ürüne dönüştürülmesinde birçok üretim yöntemi kullanılmaktadır. Plastik ürünlerin yaklaşık %30'u oranında enjeksiyonla, %30'u oranında ekstrüzyonla ve geriye kalanının ise diğer üretim yöntemleri (şişirme, pişirme, sıkıştırma, transfer, döndürme, vakumlama, dökme, yayma, püskürtme, kalanderleme vb.) ile üretildiği bilinmektedir [1 ve 2].

Endüstriyel plastik parça tasarımı yapılırken önce hangi malzemeden yapılacağı belirlenir. Kullanım yeri ve şekli dikkate alınarak belirlenen plastik malzemenin mekanik özellikleri belirlenir. Çalışma şartlarına göre malzeme seçiminden sonra mekanik özelliklerin yetersiz kaldığı tespit edilirse plastik malzeme güçlendirilebilir. Günümüzde en yaygın takviye elemanları olarak cam elyaf, karbon siyahı, talk tozu, metal tozu, ahşap tozu, pamuk elyafları, alev geciktiriciler, kaydırıcılar, renk pigmentleri ve çeşitli dolgu maddeleri gibi malzemeler kullanılmaktadır [2, 3 ve 4]. Plastik parçaların üretilebilmesi için kalıp tasarımı yapılırken plastiğin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu özellikler; yoğunluk, ergime sıcaklığı, kalıplama/işleme sıcaklığı, akış özelliği, ısıl genleşme ve çekme olarak sayılabilir [1]. Kalıpların tasarım aşamasında yol gösterici olması ve işleme parametrelerinin en uygun değerde ayarlanabilmesi için plastiğin akış özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Hammadde üretici firmaları ticari plastikler için yoğunluk, mekanik özellikler, akış, ısıl genleşme, çekme oranı vs gibi özelliklere ait genel değerler vermektedirler. Fakat bu değerler genel değerler olduğu için özellikle akış özelliği konusunda verilen sabit değerler sadece fikir edinmek için kullanılabilir.

Plastiğin fiziksel parametrelerinden bir tanesi olan akış özelliği plastiğin kalıp içerisindeki akışını belirlemektedir. Kalıp tasarımı yapılırken akış özelliği dikkate alınarak ergimiş plastiğin kalıp içerisindeki akışı, yolluk ve dağıtıcı kanal tasarımı, girişin yeri, sayısı ve tipi, kalıp boşluğu gibi kalıp parametreleri bu aşamada belirlenmektedir. Plastik parça üretim sürecinde kalıp tasarımı, ergimiş plastiğin kalıp içerisindeki akışı ve akış özelliklerinin önceden bilinmesi, tasarım sırasında önemli kararlar vermede yol gösterici olmaktadır. Ticari plastik hammaddeler için sabit bazı şartlardaki akışla ilgili genel değerler bulunmakla birlikte, bu değerler sadece fikir edinmek içindir. Bu nedenle işleme parametrelerinin en uygun değerlerde ayarlanabilmesi için akış özelliklerinin deneysel olarak tespit edilmesi gerekmektedir.

Endüstride ve pratikte plastik malzemelerin akış özelliklerinin belirlenmesinde en sık başvurulan ve en basit olan yöntem, *Ergiyik Akış İndeksi* (EAI) testidir [2, 5, 6 ve 7]. Bu değer plastik malzemelerin akışkanlığı hakkında ön bilgi vermekte olup, birincil

olarak malzemenin akış oranının düzenliliğinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Literatürde, plastiklerin akış özelliklerinin belirlenmesi için birçok araştırma yapılmıştır. Fakat aynı ürün dahi olsa değişik üretici firmanın ürünlerinin yoğunluk, akış, mekanik, ısıl vb. özellikleri arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Ayrıca, plastik içerisine takviye elemanları katıldıktan sonra elde edilen yeni özellikteki malzemenin şekillendirilebilmesi için gerekli olan akış özellikleri, en pratik olarak EAİ testi ile tespit edilmektedir [8]. Plastik içerisine katılan takviye elemanlarına bağlı olarak elde edilen kompozit malzemenin akış özelliklerinin nasıl değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, EAİ'nin sıcaklık, basınç, kayma hızı ve kayma gerilmesi gibi akış parametreleri ile nasıl değiştiği ve kayma hızı ile kayma gerilmesi arasındaki ilişkileri incelenmiştir [9, 10 ve 11]. Akışkanların en önemli akış parametrelerinden olan viskozitenin hesaplanması sırasında birçok matematiksel model kullanılmaktadır [12]. Özellikle yüksek basınç, sıcaklık ve yüksek deformasyon hızı gibi akış parametrelerinin üretim şartlarına göre en ufak bir değişimde ergiyik plastiğin fiziksel ve kimyasal özellikleri değiştiği belirtilmiştir.

Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) takviyeli akrilonitril bütadien stiren (ABS)'nin EAİ'nin sıcaklıkla doğrusal olarak arttığı, basınç artışına göre ise parabolik olarak arttığı ve takviye oranı artışıyla ise azaldığı tespit edilmiştir [13]. Plastik malzeme içerisine takviye elemanları katılarak akış özellikleri incelendiği gibi farklı plastik malzemelerde belirli oranlarda karıştırılabilmektedir. Bu bağlamda farklı oranlarda doğrusal alçak yoğunluklu polietilen (LLDPE) katılan alçak yoğunluklu polietilen (LDPE) malzemenin akış özellikleri incelenmiştir. Viskozite hesaplamasında kullanılan ve kayma gerilmesi ile kayma hızının ilişkisine bağlı olarak bulunan Power Law indeksinin artan LLDPE oranına bağlı olarak azaldığı görülmüştür [14]. Karbon siyahı, makine yağı ve çinko sterat katkılı stiren bütadien kauçuğuna (SBR) LDPE ve polistiren (PS) malzemeleri katıldığında basınca bağlı viskozitenin  $\eta_p = \eta_{p_0} \exp[\beta(P - P_0)]$  hesaplanmasında kullanılan basınç katsayısının ( $\beta$ ) arttığı tespit edilmiştir [15].

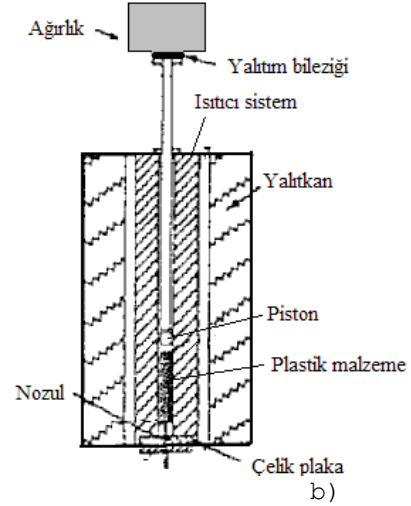
## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE )

Endüstride çok sık uygulanan katkı maddesi ilavesi ile plastiğin özellikleri tamamen değiştirilebilmektedir. Bunun neticesi olarak plastik malzemeler için akış özellikleri ve viskozitenin hesaplamasında genel olarak verilen katsayı ve değerlerin kullanılması sapmalara neden olmaktadır. Bu katkılı plastiklerin üretimi sırasında üretim parametrelerinin ayarlanabilmesi için her malzemenin reolojik özelliklerinin deneysel olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında farklı oranlarda cam elyaf takviyeli Pa 6 plastik malzemesinin akış özelliklerinden biri olan ergiyik akış indeksi değeri sıcaklık ve basınca göre fonksiyonel olarak elde edilmiştir.

## 3. DENEYSEL YÖNTEM VE MATERYAL (EXPERIMENTAL METHOD AND MATERIAL)

ASTM D1238 ve TSE 1323 ile tanımlanmış Ergiyik Akış İndeksi testi, önerilen sıcaklık ve yükleme koşulları altında özel olarak belirlenmiş uzunluk ve bilinen kesit alanına sahip nozuldan akan

plastik malzemenin kütsel veya hacimsel miktarını ölçmektedir [6, 12, 16, 17 ve 18]. Deneylerde kullanılan EAİ test cihazı, Şekil 1'de görülen bilgisayar kontrollü Lloyd-Davenport marka test cihazıdır. Cihaz, 0-400°C aralığında çalışmakta olup, 0,1°C hassasiyetindedir [18]. Cihaz, hem elle hem de bilgisayar yardımı ile kumanda edilebilmektedir.



a)  
b)  
Şekil 1. ASTM D1238 ve TSE 1323 standardına göre EAİ deney cihazı. a) EAİ cihazının resmi, b) EAİ deney düzeneğinin şematik resmi [2]  
(Figure 1. The test apparatus of MFI according to ASTM D1238 and TSE 1323 standard a) The picture of MFI apparatus, b) The schematic view of MFI apparatus [2])

ASTM D1238 ve TSE 1323 standardına göre yapılan EAİ testi, belirli sıcaklık ve yük altında standart nozul içerisinde ergimiş plastiğin 10 dakikada ne kadar aktığının bir ölçüsüdür. EAİ test cihazı, içerisinde plastik malzemenin eritildiği ve etrafı yalıtılmış bir silindir, silindire uygun toleransla geçen ve üzerine yük konulabilen bir piston, ısıtma sistemi, ölçü aletleri ve kalıptan oluşmaktadır. Silindir, 9,5504 0,0076 mm çapında, 162 mm yüksekliğinde ve 200°C'de 60-65 HRC sertliğini koruyabilecek özelliktedir. Silindirin içerisine, ergimiş plastiğin içerisinden akıtıldığı 2,095±0,0051 mm çapında ve 8±0,025 mm yüksekliğindeki tungsten karbürden yapılmış bir nozul konulmaktadır [16, 17 ve 18].

Pa6'nın reolojik özelliklerin belirlenmesi için testler, ASTM D1238-Test B yöntemine göre tamamen otomatik kontrollü olarak yapılmıştır. Bu testte granül haldeki plastik malzeme piston silindirene konduktan sonra en az 6 dakika bekletilmektedir. Bu sürede silindir içerisindeki eriyen plastik, piston ağırlığı da dâhil olarak piston üzerine konulan ağırlık yardımı ile nozulundan akmaktadır. EAİ değeri, 10 dakikada akan plastiğin kütsel (gr/10 dak) veya hacimsel (cm<sup>3</sup>/10 dak) akma miktarı olarak tanımlanmaktadır [16 ve 17].

ASTM D 1238 ve TSE 1323 standartlarına uygun olarak 5 gr granül haldeki Pa6 malzemesi, özel huni yardımı ile silindire doldurulup özel bir baskı aparatı ile silindir içerisine sıkıştırılmaktadır. ASTM D 1238 ve TSE 1323'e göre plastik malzeme, ısıtıcılar vasıtasıyla 6 dakika süresince ısıtılıp, ayarlanan sıcaklıkta bekletilmiştir.

Ayrıca, pistonun hareketi konum transduseri ile algılanmakta olup, piston hareketi süresi de her 5 mm'de bir değer olmak üzere toplam üç değer okumaktadır [11]. Deney sırasında okunan üç değer arasındaki fark %15'i geçtiğinde, deney yazılım tarafından iptal edilip düzensiz akan ergiyik plastikten elde edilen sonuçları geçersiz sayabilmektedir. Deneylerde, Tablo 1'de görülen dört farklı basınç ve dört farklı sıcaklık kullanılmıştır. Her yük için dört farklı sıcaklık altındaki EAİ değeri tespit edilmiş ve her bir deney üç defa tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Tablo 1'de görüldüğü gibi deneylerde kullanılan yüklerin ergimiş plastik üzerinde oluşturduğu basınç değeri hesaplanırken konulan ağırlığın yanında pistonun kendi ağırlığı da dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan yük ve sıcaklık değerleri  
(Table 1. Load and temperature values used in the experiments)

Uygulanan Yük (kg)	Oluşan Basınç (Pa)	Sıcaklıklar (°C)
1,2	165,4	250
2,16	298,2	260
3,8	524,0	270
5	689,5	280

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULT AND DISCUSSION)

Makromoleküllere sahip plastik malzemelerin akışını, sıcaklık, basınç ve hız gibi bilinen akış parametrelerinin yanında, fiziksel ve kimyasal özellikleri de etkilemektedir. Plastiklerin önemli bir çoğunluğu ideal olmayan akış özelliğine sahiptir. Uzun molekül zincirlerine sahip (makromoleküllü) olması nedeniyle akış sırasında kayma hızı ile kayma gerilmesi arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Kayma hızı,  $\tau = \mu\dot{\gamma}^n$  bağıntısı ile hesaplanmakta olup, kayma gerilmesi kayma hızının üstel fonksiyonuna bağlıdır [2, 6 ve 7]. Burada "n" birden küçük ise *incelen akış*, büyük ise *kalınlaşan akış*'tir. Plastik malzemenin yapısından kaynaklanan bu özelliği plastik akışını modellemede bir takım zorlukları beraberinde getirmektedir.

Plastik parça üretmek için en çok kullanılan üretim yöntemlerinden enjeksiyon yöntemi ile üretilen plastik parçalar genellikle ince kesitli ve karmaşık detaylara sahiptir. Kalıplama sırasında ergimiş plastiğin akıcılığı bu detayların elde edilmesinde son derece önemli olmaktadır. Endüstriyel olarak hali hazırda kullanıldığı varsayılan polimer çeşidinin de 2000 civarında olduğu bilinmektedir. En ufak bir değişikliğin yapısal değişimlere sebep olduğu bilinen plastiklerde belirlenen özellikleri genelleştirip tüm malzemelere uygulamak, plastik parça üretiminde hem maliyet, kalite ve mekanik özellikler açısından hem de kalıplanabilirlik açısından yanlışlıklara sebep olmaktadır. Endüstride plastik malzemenin mekanik, akış, renk, antioksidan, ultraviyole ışık direnci ve yanmazlık artırıcı gibi özelliklerini değiştirmek için çeşitli katkı/takviye elemanları ve dolgu maddesi kullanılmaktadır. Bu tür maddelerin eklenmesi ve katkı oranları plastiğin özelliklerini son derece değiştirmektedir. Bu nedenle, bazı temel özelliklerin dışında akış ve

kalıplama için gerekli parametrelerin her malzeme için özel olması ve bilinmesi gerekmektedir [12].

Gerçekleştirilen bu çalışmada, farklı oranlarda cam elyaf takviyeli Pa 6'nın akıcılık özellikleri deneysel olarak incelenerek tespit edilmiştir. Ergiyik akış özellikleri ve cam elyaf takviye oranı, sıcaklık ve basıncın EAİ değişimine etkisinin araştırıldığı bu safhada, EAİ'nin sıcaklık, basınç karşısındaki değişimleri tespit edilmiştir. Takviyesiz, %15 ve %20 oranında cam elyaf takviyeli Pa6 malzemesinin akıcılığını inceleyebilmek için 4 farklı sıcaklık ve 4 farklı basınç kullanılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen EAİ değerleri, Pa 6 malzemesi için verilen değerler arasında olduğu (2-175 gr/10 dak) tespit edilmiştir [19].

EAİ-Sıcaklık değişimini gösteren grafik Şekil 2'de verilmiştir. Bu grafikten anlaşılacağı gibi EAİ, sıcaklık arttıkça doğrusal olarak artmaktadır. Artan basınca karşılık EAİ değeri de artmıştır. Şekil 2'den de görüldüğü gibi EAİ-Sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

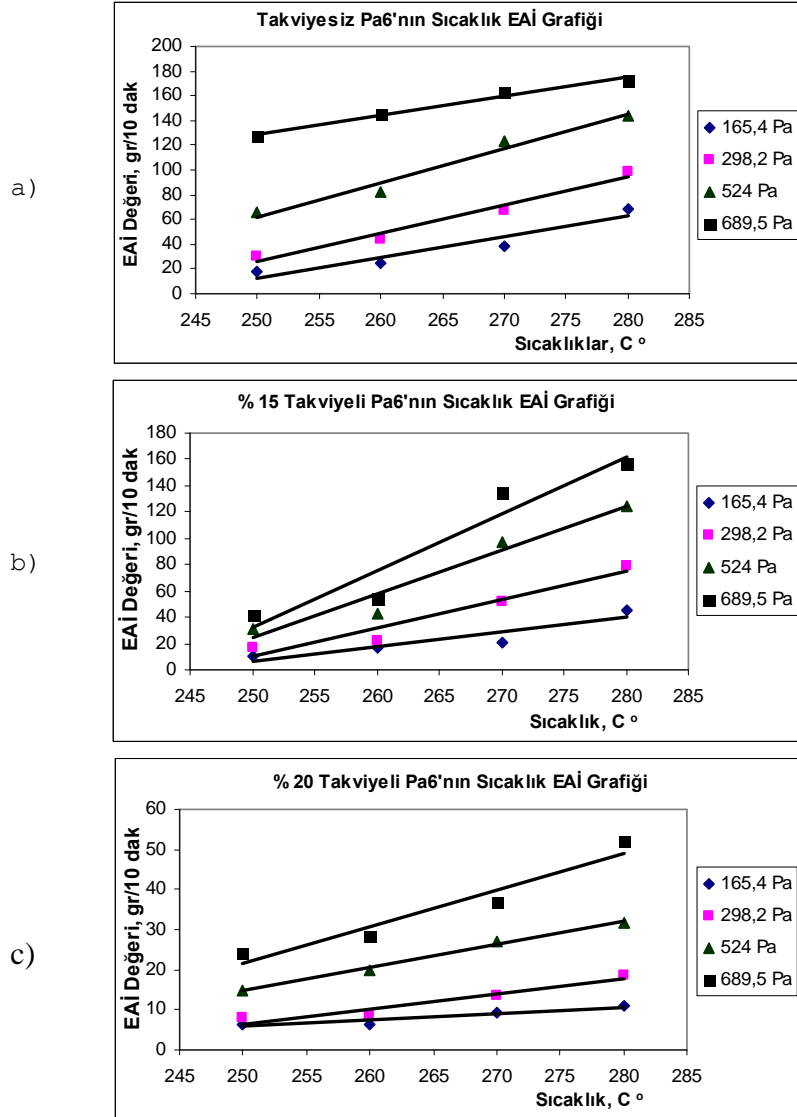
Şekil 2.a da takviyesiz Pa6 malzemesinin EAİ ile sıcaklık değişimi verilmiştir. Burada artan basınç oranları ile EAİ değerinin arttığı tespit edilmiştir. Şekil 2.b ve Şekil 2.c de görüldüğü gibi, Şekil 2.a da ki grafiğe benzer şekilde yine artan basınç oranına göre EAİ değeri artmıştır. Fakat %15 ve %20 cam elyaf takviyeli Pa6 malzemede 250 °C de EAİ değerleri birbirine yakın iken, takviyesiz Pa 6 malzemesinde tüm sıcaklıklarda EAİ değerleri birbirine çok yakın değildir. Bunun muhtemel sebebi, takviyelendirilmemiş Pa 6'nın olması gerektiği gibi artan sıcaklık ve basınç karşısında doğrusal olarak artması olduğu düşünülmektedir. Ancak, cam elyaf katkısı ile elyaf parçacıkları nozulu bir miktar tıkamakta ve akışı zorlaştırmaktadır.

Sıcaklık 280°C'ye yaklaştıkça artan basıncın etkisi daha da belirginleşerek EAİ değerinin önemli derecede arttığı görülmektedir. Cam elyaf parçacıkları nozulu tıkadığı gibi kalıp içerisindeki kanallarda ve özellikle kalıp boşluğuna girişi ve ince kesitleri de tıkama ihtimali yüksektir. Bu da takviyeli plastiklerin enjeksiyonla kalıplanmasında karşılaşılan en büyük problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sıcaklık artışı ile ergimiş plastiğin molekülleri arasındaki bağ kuvveti zayıfladığından, akmaya karşı gösterilen direnç azalmaktadır. Artan sıcaklıkla beraber, iç enerjisi artan akışkan haldeki ergimiş plastik daha akıcı hale gelmektedir. İç enerjisi artan ve akışa karşı gösterilen direncin azalmasıyla, artan sıcaklığa bağlı olarak EAİ değeri doğrusal olarak artmaktadır.

EAİ-Sıcaklık değişimi için çizilen grafiklerde eğri benzeştirme yöntemi ile elde edilen doğrusal çizginin denklemi, Eş. 1'de verilmiştir. Doğru denklemindeki  $A_0$  ve  $A_1$  katsayıları, değişik basınçlar için farklı değerler almakta olup, sayısal olarak Tablo 2'de verilmiştir.

$$EAİ = A_0 + A_1T \quad (1)$$



Şekil 2. Değişik yükler için, EAİ - Sıcaklık grafiği, a) Takviyesiz Pa6, b) %15 cam elyaf takviyeli Pa6, c) %15 cam elyaf takviyeli Pa6 için

(Figure 2. The graph of MFI-Temperature for different load a) For pure Pa6, b) For 15% glass fiber reinforced, c) For 20% glass fiber reinforced

Tablo 2. Farklı basınç değerleri için EAİ-Sıcaklık ilişkisine ait sabitler

(Table 2. The coefficients depends on relation of MFI-Temperature for different pressure values)

	Basınç (Pa)	$A_0$	$A_1$	$R^2$
Takviyesiz Pa6	165,4	- 404,05	1,6669	0,9102
	298,2	- 550,33	2,3042	0,9715
	524,0	- 631,21	2,7730	0,9730
	689,5	- 259,34	1,5517	0,9869
%15 Cam elyaf takviyeli	165,4	- 266,66	1,0946	0,8259
	298,2	- 529,76	2,1594	0,9339
	524,0	- 805,00	3,3170	0,9479
	689,5	- 1036,5	4,2777	0,9190
%20 Cam elyaf takviyeli	165,4	- 34,43	0,1611	0,8632
	298,2	- 85,99	0,3700	0,9070
	524,0	- 127,94	0,5711	0,9924
	689,5	- 209,43	0,9237	0,9309

EAİ'nin sıcaklığa bağlı olarak değişimini veren doğru denklemlerinde her basınç için ayrı ayrı grafik çizilmiştir. Eğri benzeştirme yöntemi ile doğrusal bir ilişki kurulmuş olup EAİ'nin sıcaklığa göre değişimi daha anlamlı hale getirilmiştir. Bu bağlamda eğri benzeştirmelerde en düşük korelasyon katsayısının ( $R^2$ ) 0,82 olduğu Tablo 2 de görülmektedir. Genel anlamda 0,9 dan büyük olan korelasyon değerlerine göre elde edilen grafik oldukça yüksek bir güvenilirliğe sahiptir.

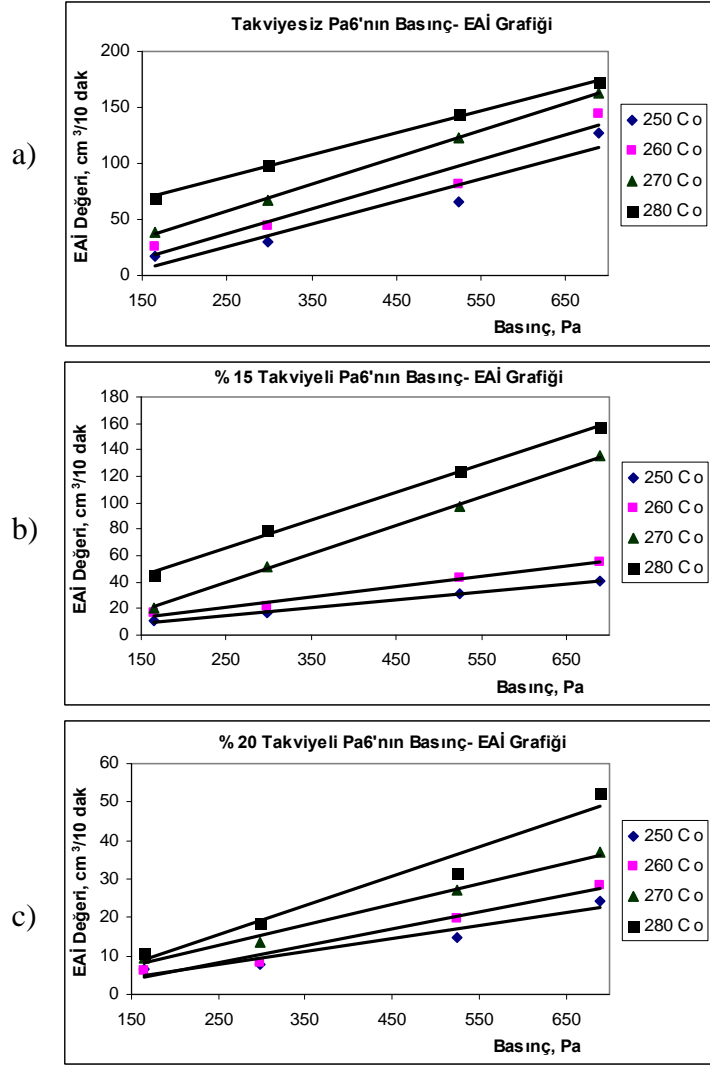
EAİ'nin basınç karşısındaki değişimini tespit edebilmek için dört farklı basınç değerleri kullanılarak EAİ değerleri belirlenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi ergiyik akış indeksinin basınç karşısındaki değişimini doğrusal şekilde gerçekleştirmiştir. Birçok plastik malzemede parabolik olarak değişen EAİ-Basınç değişimi [12] bu malzemede doğrusal olarak artmıştır. Çizilen grafiklerden eğri benzeştirme yöntemi ile elde edilen doğruların denklemi Eş. 2'de verilmiştir.

$$EAİ = B_0 + B_1 p \quad (2)$$

Eğri benzeştirme yöntemlerinden elde edilen bu doğrulara ait  $B_0$ ,  $B_1$  ve  $R^2$  katsayıları Tablo 3' de verilmiştir. EAİ-Basınç ilişkisini veren bu katsayılar farklı sıcaklıklar için sabit olmayıp, her sıcaklık için değişik değerlere sahiptir. Korelasyon katsayısının ( $R^2$ ) yüksek olması elde edilen grafik sonuçlarının doğruluğunu teyit etmektedir.

Basınç, ergimiş plastiğin akışkanlığını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Basınç, akışkan üzerinde kayma gerilmesi ve dolayısıyla deformasyon hızını değiştirdiğinden dolayı akışı ve plastiğin kalıp içerisindeki akış tipini etkilemektedir. Kalıp boşluğu dolarken sıcaklık molekül bağ açılarını ve iç enerjiyi değiştirerek akışa karşı direnci (viskozite) azalttığı için akış kolaylaşmaktadır. Ayrıca basınç ise, plastik moleküllerinin yönelmesini sağlamakta ergiyiğin kalıp boşluğundaki akış oluşumunu ve tipini etkilemektedir. Akış sırasında basıncın artması ile kayma hızını da artırmaktadır. Kayma hızının artması ile uzun doğrusal zincirlere sahip ergimiş plastiği akış doğrultusuna doğru yönlendirilmektedir.





Şekil 3. Değişik sıcaklıklar için EAİ - Basınç grafiği, a) Takviyesiz Pa 6, b) %10 cam elyaf takviyeli, c) %20 cam elyaf takviyeli (Figure 3. The graph of MFI-Load for different temperature, a) Pure Pa 6, b) 10% glass fiber reinforced, c) 20% glass fiber reinforced)

Tablo 3. Farklı sıcaklık değerleri için EAİ-Basınç ilişkisine ait sabitler

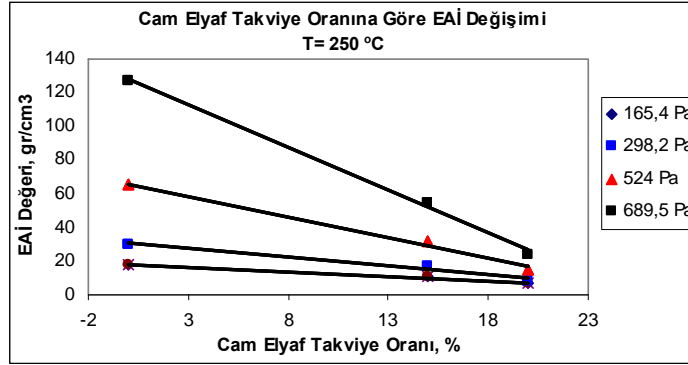
(Table 3. The coefficients depends on relation of MFI-Pressure for different temperature value)

	Sıcaklık (°C)	$B_0$	$B_1$	$R^2$
Takviyesiz Pa6	250	-24,718	0,2023	0,9280
	260	-18,357	0,2026	0,9496
	270	-1,8837	0,2381	0,9995
	280	38,278	0,1980	0,9976
%15 Cam elyaf takviyeli	250	0,2357	0,0595	0,9981
	260	2,3240	0,0759	0,9871
	270	-14,806	0,2166	0,9994
	280	13,7490	0,2096	0,9976
%20 Cam elyaf takviyeli	250	-0,6690	0,0336	0,9419
	260	-2,6544	0,0437	0,9748
	270	-0,8909	0,0539	0,9895
	280	-3,5446	0,0759	0,9631

Böylece akış doğrultusunda yönlendirilmiş ergiyiğin molekül zincirlerinin akışa karşı gösterdikleri direnç azalmakta ve plastik daha akıcı hale gelmektedir. Tabakaların birbiri üzerinde kayması şeklinde oluşan akış sırasında uzun zincirlerin akış doğrultusunda yönlendirilmesi akışı kolaylaştıracaktır. Kalıplama sırasında özellikle ince ve dar kesitli bölgelerde kalıbın dolması için ya sıcaklık artırılarak akışkanlık artırılabilecek ya da basınç artırılarak akışın o bölgelere ulaşması sağlanacaktır. Dolayısıyla akışı kolaylaştırmak veya aynı yolu daha kısa sürede almak için, kayma hızının artırılması özellikle plastik enjeksiyon kalıpcılığında sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Ayrıca, makro moleküllü zincirlere sahip ergimiş plastiklerin akışı sırasında, basıncın kayma hızını artırması, kayma gerilmesini de değiştirmektedir. Oluşan basınç uzun molekül zincirleri akış doğrultusunda yönlendirmekte ve böylece iç içe geçmiş molekül zincirleri bir biri üzerinde daha rahat kaymaktadır. Plastiklerin büyük bir çoğunluğunda var olan bu özellik kayma incelmeleri olarak da bilinir.

Cam elyaf takviye oranının EAİ değerini nasıl etkilediğini belirlemek için EAİ-Cam elyaf takviye oranını gösteren grafik Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi, artan takviye oranına bağlı olarak EAİ değeri azalmıştır.



Şekil 4. Farklı basınçlar için EAİ-Cam elyaf takviye oranına göre grafiği

(Figure 4. The graph of MFI - Reinforced glass fiber ratio for different pressure)

##### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Plastiklerin mekanik özelliklerini artırmak için katılan cam elyaf takviye oranı arttıkça akış özelliği azalmaktadır. Cam elyaf parçacıkları kalıp içerisinde yolluk, dağıtıcı kanal (ikincil yolluk), giriş ve kalıp boşluğunda akış kanallarını tıkadığı için takviye oranı arttıkça akışı da zorlaştırmaktadır. Ayrıca, cam elyaf takviye oranı arttıkça EAİ değeri de doğrusal olarak azalmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuca göre, sıcaklık ve basınç artışına bağlı olarak ergimiş plastiğin akış özelliğinin doğrusal olarak arttığı belirlenmiştir. Bu nedenle, takviyelendirilmiş plastiklerin kalıplanması sırasında kalıp boşluğu dolmuyorsa ya da eksik basım gerçekleşiyorsa basınç ve sıcaklık değerleri artırılarak sorun giderilebilir.

Endüstride aynı malzeme olmasına karşılık değişik üreticiler tarafından üretilen plastik hammaddelerin özellikleri farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle plastik malzemelerin kalıplanması sırasında ergime sıcaklığı, enjeksiyon sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı (moleküllerin 1/40' ının serbest hareket edebildiği sıcaklık) ve bozunma sıcaklığı gibi değerler büyük değişiklik göstermektedir. Kalıpcılık sektöründe imalatçıların kalıp tasarımı yaparken ergimiş plastiğin akıcılığı hakkında ön bilgileri EAİ değerine bakarak belirleyebilmektedir. Bu çalışmada tespit edilen EAİ değerleri geniş bir sıcaklık ve basınç aralığında yapıldığından dolayı basınç ve sıcaklık değişimine göre akış özelliğinin ne kadar ve nasıl değiştiği tespit edilebilmektedir.

##### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Rosato, D.V. and Rosato, D.V., (1999). Injection Molding Handbook 2<sup>nd</sup> Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston/London
2. Güldaş, A., (2004). Plastik enjeksiyon kalıplarında ergimiş plastik akışının matematiksel modellenmesi ve deneysel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Fen bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi Ankara.
3. Cappelletti, R.M., (1995). "International Plastics Handbook 3<sup>rd</sup> Edition", Hanser/ Gardner Publications Inc., Cincinnati

4. Kaya, F., (2005). Ana Hatlarıyla plastikler ve katkı maddeleri, 2. Baskı, Birsen yayınevi
5. Osswald, A.T., (1998). Polymer processing fundamentals, Hanser / Gardner Publications, Inc., Cincinnati
6. Carreau, P.J., Kee, D.C.R.D., and Chhabra, R.P., (1997). Rheology of polymeric system, Hanser/Gardner Publications, Cincinnati.
7. Akovalı, G., (1984). Temel Uygulamalı Polimer, Polimer yaz okulu ders notları, Temel ve Uygulamalı Makromoleküller K. Araştırma Ünitesi, ODTÜ, Ankara.
8. Tang, C.Y. and Liang, J.Z., (2003). A study of the melt flow behavior of ABS/CaCO<sub>3</sub> composites, Journal of Materials Processing Technology, 136, pp: 1-3
9. Liang, J.Z., Li, R.K.Y., and Tjong, S.C., (1999). Effects of pressure and temperature on the melt density and the melt flow rate of LDPE and glass bead-filled LDPE composite, Journal of Materials Processing Technology, 91, pp: 167-171.
10. Huang, B., Liang, S., and Qu, X., (2003). The rheology of metal injection molding, Journal of Materials Processing Technology, 137, pp: 132-137.
11. Kim, Y.S., Chung, C.I., Lai, S.Y., and Hyun, K.S., (1996). Melt rheological and thermodynamic properties of polyethylene homopolymers and poly(ethylene/ $\alpha$ -olefin) copolymers with respect to molecular composition and structure, Journal of Applied Polymer Science, 59, pp: 125-137.
12. Güldaş, A., Uluer, O. ve Özdemir, A., (2008). "Yüksek Yoğunluklu Polietilen Plastik Malzemesinin Reolojik Özelliklerinin Basınç ve Sıcaklık Değişimine Dayalı Tayini", 12<sup>th</sup> International Materials Symposium, Denizli, Sayfa 1371-1380
13. Tang, C.Y. and Liang, J.Z., (2003). A study of the melt flow behavior of ABS/CaCO<sub>3</sub> composites, Journal of Materials Processing Technology, 138, pp: 408-410.
14. Abraham, D., George, K.E., and Francis, D.J., (1996). "Flow behaviour of LDPE and its blend with LLDPE I and II: A comparative study", Journal of Applied Polymer Science, 62 (1), pp: 59-65
15. Liang, J.Z., (2001). "Pressure effect of viscosity for polymer fluids in die", Polymer, 42 (8), pp: 3709-3712
16. ASTM D 1238, (2001). Standart test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastomer, Annual Book of ASTM Standart, Vol. 08.01, pp: 265-276.
17. TSE 1323, (1993). Plastikler-termoplastikler-kütlesel erime akış hızı (MFR) ve hacimsel erime akış hızı (MVR)' nin tayini, TSE, Ankara.
18. Nexygen Davenport plastik test yazılım kullanım kılavuzu, (2002). Nexygen Davenport.
19. Material properties, (2009). <http://www.matweb.com>.