

Etilen-Vinil-Asetat (EVA)/Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE) Polimer Karışımının Köpük Oluşumuna Enjeksiyon Proses Şartlarının Etkisinin Araştırılması

Salih Hakan YETGİN^{1,*}, Hüseyin ÜNAL², Polen ŞANLI¹

¹Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA.

²Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, SAKARYA

^{1,*}hakan.yetgin@dpu.edu.tr, polen.sanli@dpu.edu.tr, ²unal@sakarya.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, hafif, gözenekli ve ekonomik bir ürün elde etmek için etilen-vinil-asetat (EVA)/alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) karışımı kimyasal köpük ajanı kullanılarak köpüklendirilmiştir. Polimer karışımının köpüklendirme işlem, geleneksel bir enjeksiyon makinası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. EVA/AYPE polimer karışımı olan köpük parçaların üretiminde enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızı olmak üzere iki farklı proses parametresi kullanılmış ve bu proses parametrelerinin polimer karışımının yoğunluğuna, hücre sayısına, hücre çapına ve hücresel genişleme katsayısına etkileri araştırılmıştır. Köpük üretiminde, enjeksiyonla kalıplamada 40, 60 ve 75 bar enjeksiyon basıncı ve 20 ve 40mm/s enjeksiyon hızı seçilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda enjeksiyon basıncının artması ile ortalama hücre çapı ve yoğunluk değerleri azalırken, hücre sayısı ve hücresel genişleme katsayısı değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir. Polimer köpük malzemelerin mikroyapı özellikleri ve kabuk tabakası kalınlıkları optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar kelimeler

EVA, AYPE, Polimer köpük, Polimer karışımları, Proses şartları, Enjeksiyonla kalıplama

Investigation of the Effect of Injection Process Conditions of Foam Formation on Ethylene-vinyl-acetate (EVA)/Low Density Polyethylene (LDPE) Polymer Mixture

Abstract

In this study, ethylene-vinyl-acetate (EVA) / low density polyethylene (LDPE) was foamed to obtain light, porous and economic product using chemical foaming agent. Foaming process of the polymer mixture was carried out using a conventional injection molding machine. The effect of processing parameters was investigated on the density of the polymer mixture, the number of cells, cell diameter and cell expansion coefficient.

Two different process parameters including injection pressure and injection speed were used to manufacture of EVA/LDPE polymer blend foam. 40, 60 and 75 bar injection pressure and 20 and 40 mm/s injection speed is selected in foam production. As a result of studies, the average cell diameter and density values are decreased while cell number and cell expansion coefficient was increased with the injection pressure increases. The microstructure properties and layer thickness of the skin of the polymer foam material was investigated using optical microscopy.

Keywords

EVA, LDPE, Polymer foam, Polymer blends, Process condition, Injection moulding

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Polimer esaslı köpük malzemeler veya farklı bir ifadeyle gözenekli polimerik malzemeler, düşük yoğunluk, hafiflik, yüksek spesifik dayanım, malzeme tasarrufu, düşük termal iletkenlik ve iyi ses yalıtımı gibi özellikleriyle son yıllarda endüstride geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır (Zenget al. 2010, Jacobs et al. 2004, Roberto,

2015). Bu uygulama alanlarında bazen termoset esaslı bazen de termoplastik esaslı polimer malzemeler kullanılmakta olup birinin üretim yöntemi diğerine göre farklılık göstermektedir. En yaygın kullanılan köpüklendirme tekniği ise belirli bir sıcaklığın üzerinde bozularak gazlı bileşenler üreten, termal olarak kararsız olan organik veya inorganik, fiziksel veya kimyasal köpük ajanlarının kullanılmasıdır (Jacobs et al. 2004, Reverchon,

andCardea2007). Polistiren (PS), polikarbonat (PC), poli(metil-metakrilat) (PMMA), poli(etilen-teraftalat) (PET), polietilen (PE), polipropilen (PP) ve poli(vinil-klorür) (PVC) gibi polimer malzemeler kimyasal köpük ajanları kullanılarak köpük üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Zeng et al. 2010, Jacobs et al. 2004).

Literatürde farklı üretim yöntemleri kullanılarak, polimer köpük morfolojisi üzerine proses şartlarının etkilerini inceleyen bazı çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmalardan birisini Xue ve arkadaşları(2004) gerçekleştirmiş olup çalışmalarında alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve metalize edilmiş polietilen (mPE) polimer malzemeler ile azodikarbonamit kimyasal köpük yapıcı kullanarak enjeksiyonla köpük kalıplama yöntemi ile polimer köpük malzemeler üretmişlerdir. Çalışmalarında enjeksiyon vida hareketi ve kalıpta soğuma zamanını sabit tutarak enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncı gibi proses şartlarının etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, enjeksiyon hızının artmasıyla hücre boyutunun azaldığını, hücre yoğunluğunun ise arttığını tespit etmişlerdir. Artan enjeksiyon hızı ile çekirdeklenme alanlarının sayısının da arttığını gözlemlemişlerdir. Çalışmaları neticesinde enjeksiyon basıncının enjeksiyon hızına bağlı olduğunu ve en yüksek enjeksiyon basıncının en yüksek enjeksiyon hızında elde edildiğini tespit etmişlerdir. Buna ilaveten, yüksek hücre yoğunluğu ve küçük hücre boyutu da yüksek basınç azalım oranı ile elde edilmiştir. Ahmadi ve Hornsby (1985); PP'nin zayıf ergime dayanımı özelliğini telafi etmek için çalışmalar yapmış ve işlem parametrelerinin, enjeksiyon kalıplamalı PP köpüklerin yapısını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Çalışmalarında PP köpük yapısı üzerine, enjeksiyon hızı, vida hareketi, kalıp sıcaklığı ve ergime sıcaklığı gibi etkiler üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmalarında kalıp içerisine yüksek enjeksiyon oranı ile iletilen polimer eriyiğin oldukça homojen ve ince hücreli yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Buna karşın, düşük enjeksiyon oranı ile üretilen köpük malzeme, geniş hücreli ve homojen olmayan hücresel yapı göstermiştir. Yüksek proses basıncında ve düşük ergime sıcaklığında hücre boyutunun azaldığını da tespit etmişlerdir. Yaptıkları araştırmada en küçük ortalama hücre çapını yaklaşık 120µm olarak bulmuşlardır. Laurent ve arkadaşları (2005) ise; ekstrüzyonprosesi ile endotermik tip kimyasal köpük ajanı kullanarak poli(laktik asit) (PLA) polimerini köpüklenmişlerdir. Polimer ergiyik akış indeksi, köpük ajanı miktarı ve vida dönme

hızının polimer malzemenin hücresel yapısına, yoğunlukta azalma miktarına ve hücre yoğunluğuna etkileri araştırılmıştır. Çalışmalarında ergime akış indeksi değerinin köpüklenmiş numunenin hücre yoğunluğunu önemli oranda etkilemediğini tespit etmişlerdir. Hücre yoğunluğu ve yoğunlukta azalma miktarı, ilk önce kimyasal köpük ajanı miktarının artması ile artmış, sonra maksimum değere ulaşmış ve en sonunda da artan kimyasal köpük ajanı miktarı ile azalmıştır. Benzer şekilde çalışmalarında, vida dönme hızı 40rpm'e ulaştığında yoğunlukta azalma miktarı maksimum değere ulaşmış, vida dönme hızının daha da artmasıyla azalmıştır. Buna karşılık, vida dönme hızının 20 rpm'den 120 rpm'e ulaşmasıyla hücre yoğunluğunda da artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Etilen-vinil-asetat kopolimeri (EVA) ve köpük EVA, ısı yalıtımında, darbe sönümleyici olarak, ses yalıtımında, güneş pili kapsüllerinde, kablo endüstrisinde ve ayakkabı malzemesi endüstrisinde geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Stark et al. 2012, Reyes-Labarta et al. 2011, MaitiandJasra 2012, Reyes-LabartaandMarcilla2012, Laurent et al. 2005).Literatürde EVA polimerinin köpüklenmesi üzerine yapılan birkaç çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisi olan Jacobs ve arkadaşları (2004); süperkritik karbondioksit köpük ajanını kullanarak EVA polimerini köpüklenmişlerdir. Doyma basıncı, sıcaklığı ve basınç azalım oranı gibi parametrelerin köpük morfolojisi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Artan doyma basıncı ile daha küçük gözenek boyutu ve daha yoğun köpükler üretilmiştir. Doyma sıcaklığının artması da benzer etkiyi göstermiştir. Ergime noktasının üstünde, köpük kararsız hale gelmiş ve kısmen çökmeler meydana gelmiştir. Diğer bir çalışmada ise Matheus ve arkadaşları(2014) ise hücresel EVA/odun talaşı kompozitinde odun talaşının partikül boyutu ve miktarının etkilerini incelemiştir. Hücreselkompozitlerazodikarbonamit köpük ajanı kullanılarak sıcak pres yöntemiyle üretilmiştir. Odun talaşı boyutunun azalması ile kompozitlerin viskozitesi artarken genleşebilirliği azalmıştır. Odun talaşının bulunması ile hücrelerin çekirdeklenebilirliğini artırmıştır.

Bu çalışmada ise, EVA/AYPE polimer karışımı endotermik tip kimyasal köpük ajanı kullanılarak enjeksiyonla köpük kalıplama yöntemi ile köpüklendirilmiş ve enjeksiyon köpük kalıplamaya ait proses şartlarının hücre morfolojisine etkileri incelenmiştir. Proses şartları olarak, 40, 60 ve 75 barenjeksiyon basıncı, 20 ve 40mm/s enjeksiyon hızı seçilmiştir. Optik mikroskop kullanılarak polimer köpük malzemelerin mikroyapı özellikleri (hücre boyutu ve hücre sayısı) ve kabuk tabaka kalınlıkları incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, Resinex-BMY Plastik Kimya firmasından temin edilen, enjeksiyonla kalıplamaya uygun, Tablo 1'de özellikleri verilen Evatane® etilen vinil asetat kopolimeri matris malzemesi olarak seçilmiştir. EVA kopolimerine karıştırılan alçak yoğunluklu polietilen polimeri ise PETKİM firmasından temin edilmiştir. Köpük ajanı olarak enjeksiyonla kalıplamaya uygun Hydrocerol CT 550 kodlu endotermik tip köpük ajanı kullanılmış olup, ClariantMasterbatchGmbH&Co. firmasından temin edilmiştir. Köpük ajanının bozunma sıcaklığı yaklaşık olarak 150°C olup bozunma sonucunda açığa çıkan gazlar N₂, CO, CO₂ ve NH₃'tür. Çalışmada kullanılan EVA/AYPE karışım oranı ağırlık olarak 80/20 oranında alınmış ve karıştırma işlemi öncesinde ve sonrasında herhangi bir kurutma işlemi de yapılmamıştır.

Şekil 1'de, EVA/AYPE polimer karışımının köpüklendirme işlemlerinde kullanılan kalıp, HT-HAITIAN marka enjeksiyon makinesi ve köpüklendirme işlemi sonrası elde edilen ürün verilmiştir. Besleme bölgesi ile kalıp arasındaki sıcaklık dağılımı 110°C, 180, 190 ve 200°C olarak belirlenmiştir. Nozul tarafındaki sıcaklık ise 130°C olacak şekilde ayarlanmış olup, enjeksiyon kalıbındaki aşırı ısınmayı önlemek için ise kalıba soğutma sistemi (kalıp şartlandırıcısı) uygulanmıştır. EVA/AYPE köpük üretimi için kullanılan enjeksiyon kalıplama parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Etilen vinil asetat kopolimeri özellikleri

Özellik	Değer	Test Yöntemi
Vinil Asetat Miktarı	%27-29	FTIR
Ergiyik İndeksi (190°C / 2.16 kg)	22-29 g/10min	ISO 1133 / ASTM D1238
Yoğunluk (23°C)	0.95 g/cm ³	ISO 1183
Ergime Noktası	71 °C	ISO 11357-3
Vicat Yumuşama Sıcaklığı (10N)	<40 °C	ISO 306 / ASTM D1525
Kopma Uzaması	800-1000 %	ISO 527 / ASTM D638
Çekme Dayanımı	14 MPa	ISO 527 / ASTM D638
Sertlik	75 Shore A	ISO 868 / ASTM D2240



Şekil 1. EVA/AYPE polimer karışımı köpük üretiminde kullanılan kalıp ve enjeksiyon makinesi ve köpüklendirilmiş ürün

Tablo 2. EVA/AYPE polimer karışımı köpük üretiminde kullanılan enjeksiyon makinası proses parametreleri

Parametreler	Değer
Enjeksiyon basıncı, bar	40, 60, 75
Enjeksiyon hızı, mm/s	20, 40
Ütüleme basıncı, bar	60
Ütüleme hızı, mm/s	20
Ergiyik sıcaklığı, °C	180
Mal alma hızı (Vida dönme hızı), mm/s	45
Mal alma basıncı, bar	70
Soğuma zamanı, s	45

EVA/AYPE polimer karışımı köpüklerini karakterize etmek için hücre yoğunluğu ve hacimsel genişleme oranı kullanılmıştır. Köpük yoğunluğu, ASTM D-792 standardına uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Hacimsel genişleme oranı (Φ) ise, köpüksüz polimer yoğunluğunun (ρ_p), ölçülen köpük yoğunluğuna (ρ_f) oranı ile belirlenmiştir. Köpükteki yoğunlukta azalma miktarı (V_f), 1' nolu eşitlikte verilen formül ile hesaplanmıştır.

Köpüklerin ortalama hücre çapları, Nikon Eclipse L150A optik mikroskobu ile ölçülmüş ve buna bağlı olarak çalışan ClemexVisionLite görüntü analiz programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Köpükteki yoğunlukta azalma miktarı;

$$V_f = 1 - \frac{\rho_{köpük}}{\rho_{polimer}} \quad (1)$$

Hücre yoğunluğu, literatürde daha önce Kumar ve Suh(1990) tarafından 2' nolu eşitlikte verilmiş olan formül ile hesaplanmıştır. Eşitlik 2'de verilen "n" optik mikroskopta elde edilen görüntüdeki hücre sayısıdır. A, optik mikroskopta elde edilen görüntünün alanı ve M ise büyütme faktörüdür. Birim alandaki gözenek yoğunluğu: $n / (A/M^2)$ 'dir. Bir birim uzunlukta hücre yoğunluğunu hesaplamak için karekök alınır. Birim hacimdeki hücre yoğunluğu (N_f) ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_f = \left(\frac{n \times M^2}{A} \right)^{3/2} \quad (2)$$

Çalışmada kullanılan köpüksüz numunenin 1 cm^3 'ündeki hücre sayısı (N_0) ise Eşitlik 3 ile hesaplanır.

$$N_0 = \frac{N_f}{1 - V_f} \quad (3)$$

Kabuk tabakası kalınlığı ölçümleri ise imaj analiz programı yardımıyla mikroyapı fotoğraflarından yararlanılarak bulunmuştur. Enjeksiyonla üretilen polimer karışımı köpüklerde hücreler arası mesafe ise iki bitişik hücre arasındaki mesafe ölçülerek elde edilmiştir. Her bir numuneden 10 adet ölçüm

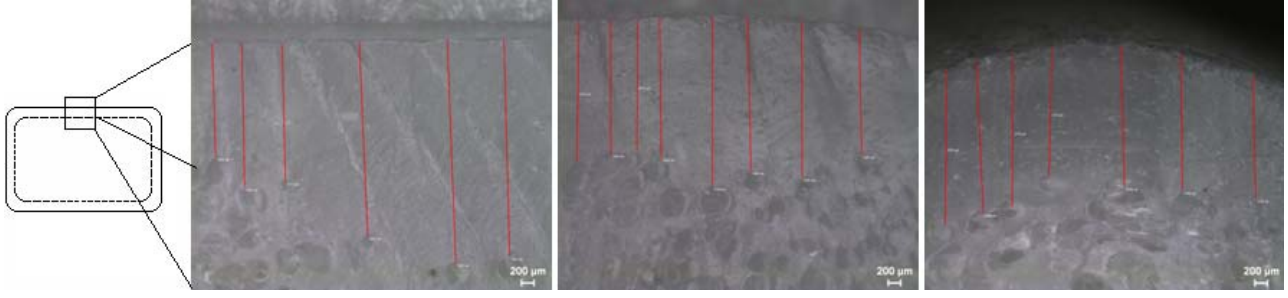
yapılarak ortalama hücreler arası mesafe verilmiştir.

3. Bulgular

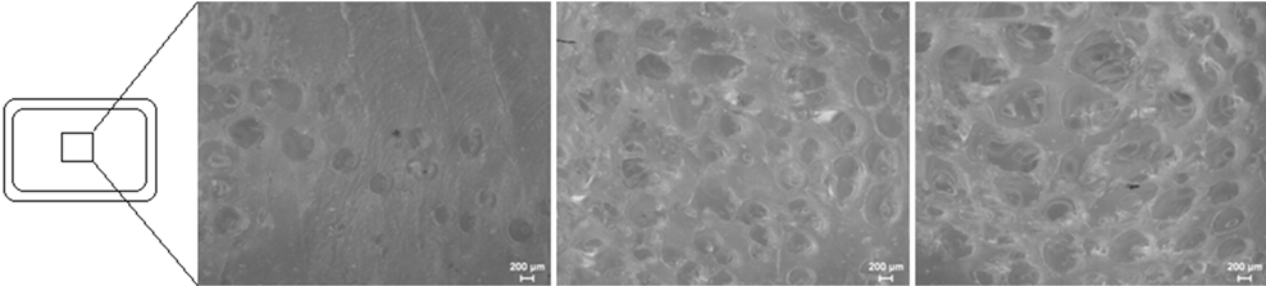
Tablo 3'de farklı enjeksiyon basınçları ve enjeksiyon hızları kullanılarak üretilen EVA/AYPE polimer karışımı köpüklerin hücre morfolojisi sonuçları verilmiştir. 40 bar enjeksiyon basıncında ortalama 30 adet hücre çekirdeklenirken, enjeksiyon basıncının artmasıyla birlikte 41 ve 59 adet hücre çekirdeklenmiştir. Enjeksiyon hızının artmasıyla elde edilen ortalama hücre sayıları ise sırasıyla 36, 45 ve 92 adettir. Tablo 3'de görüldüğü gibi enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızının artmasıyla kabuk tabakası kalınlıkları ve hücreler arası mesafe azalmıştır. Ergiyik haldeki polimerin soğuk kalıp yüzeyi ile teması sonucunda bölgesel olarak soğumalar meydana gelmekte ve polimerin katılaşması sebebiyle dış kabuk tabakası şekillenmektedir (Rodrigue and Leduc 2003). Şekil 2 a-c'de, 40, 60 ve 75 bar enjeksiyon basınçlarında, 20 ve 40 mm/s enjeksiyon hızlarında elde edilen kabuk tabakası kalınlıkları verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi enjeksiyon basıncının artmasıyla kabuk tabakası kalınlığı azalmıştır. Artan enjeksiyon basıncı ile polimer köpük yapısında oluşan hücrelerin sayısı artmış ve buna bağlı olarak kabuk tabakası kalınlığı azalmıştır. Enjeksiyon basıncı 40 bar olduğunda ortalama $3135.5 \mu\text{m}$ kabuk tabakası kalınlığı elde edilirken, 75 bar enjeksiyon basıncında ise $2870.8 \mu\text{m}$ kabuk tabakası kalınlığı elde edilmiştir. Enjeksiyon hızının artması da kabuk tabakası kalınlıklarını azaltmıştır. 75 bar enjeksiyon basıncı ve 40 mm/s enjeksiyon hızında ortalama $2635.7 \mu\text{m}$ kabuk tabakası kalınlığı elde edilmiştir.

Tablo 3. EVA/AYPE polimer karışımının köpük morfolojisi üzerine enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızının etkisi

	Enjeksiyon Basıncı, bar					
	40		60		75	
	Enjeksiyon Hızı, mm/s					
	20	40	20	40	20	40
Ortalama hücre sayısı, n	30	36	41	45	59	92
Ortalama hücre çapı, μm	442.6	418.1	428.3	342.6	374.8	262.4
Kabuk tabakası kalınlığı, μm	3135.5	2901.3	2923.8	2978.4	2870.8	2635.7
Hücreler arası mesafe, μm	489.4	409.9	428.6	400.1	389.1	252.9



Şekil 2. Farklı enjeksiyon basınç ve hızlarında elde edilen kabuk tabakası kalınlıkları: a) Enjeksiyon basıncı: 40bar, Enjeksiyon hızı: 20mm/s b) Enjeksiyon basıncı: 75bar, Enjeksiyon hızı: 20mm/s ve c) Enjeksiyon basıncı: 75bar, Enjeksiyon hızı: 40mm/s. (Ütüleme basıncı: 60bar, ütüleme hızı:20mm/s, ergiyik sıcaklığı:180°C ve soğuma zamanı:45s.)

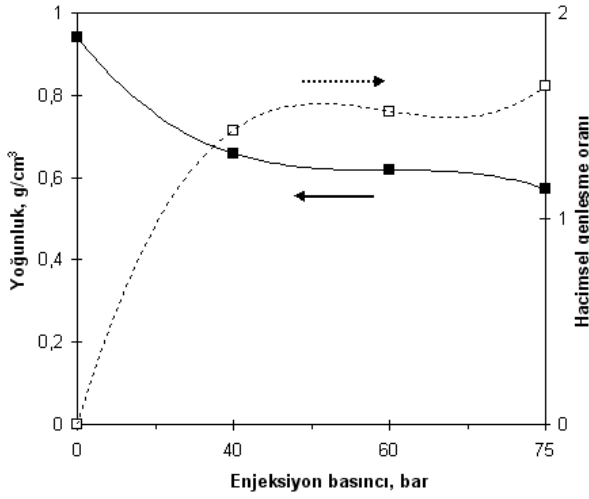


Şekil 3. Farklı enjeksiyon basınçlarında elde edilen hücre yapısı: a) 40 bar, b) 60 bar ve c) 75 bar. (Enjeksiyon hızı:20mm/s, ütüleme hızı:20mm/s, ütüleme basıncı: 60bar, ergiyik sıcaklığı:180°C ve soğuma zamanı:45s.)

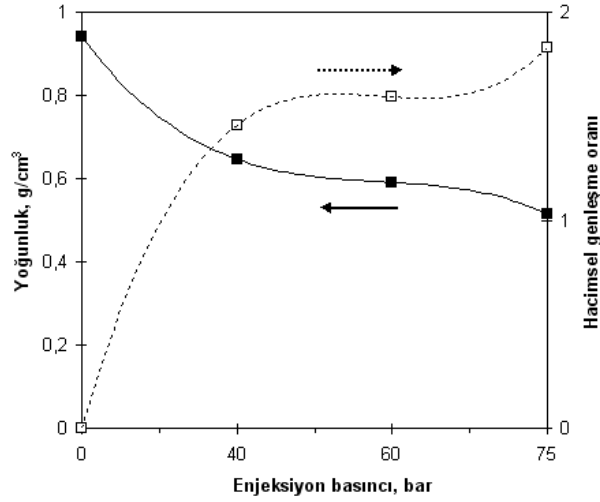
Şekil 3 a-c'de, 20mm/s enjeksiyon hızında ve 40bar, 60bar ve 75 bar enjeksiyon basınçları altında elde edilen polimer köpük morfolojisi verilmiştir. Diğer enjeksiyon polimer karışımı köpük kalıplama parametreleri, ütüleme basıncı 60bar, ütüleme hızı 20mm/s, ergiyik sıcaklığı 180°C ve soğuma zamanı 45s olarak sabitlenmiştir. Enjeksiyon basıncının 40bar'dan 75bar'a artırılmasıyla, şekil 3a-c de görüldüğü gibi çekirdeklenen hücre sayısı artmıştır. 40 bar enjeksiyon basıncında köpüklendirilen numunede homojen olmayan hücre dağılımı elde edilirken, 75bar enjeksiyon basıncında üretilen numunede hücrelerin akış boyunca yönlendiği görülmüştür.

Farklı enjeksiyon basınçları ve enjeksiyon hızları altında elde edilen polimer köpüklerin yoğunluk ve hacimsel genişleme oranları sırasıyla Şekil 4 ve Şekil

5'de verilmiştir. Enjeksiyon basıncının artmasıyla köpük yoğunluklarının azaldığı görülmektedir. Köpüklendirilmemiş etilen vinil asetat kopolimerinin yoğunluğu 0.941 g/cm³ iken 75 bar enjeksiyon basıncı ve 20mm/s enjeksiyon hızında köpük yoğunluğu 0.572 g/cm³ olarak elde edilmiştir. Enjeksiyon hızının 20mm/s'den 40mm/s'ye artırılmasıyla EVA/AYPE polimer karışımı köpüklerin yoğunlukları azalmıştır. 75 bar enjeksiyon basıncı ve 40mm/s enjeksiyon hızında köpük yoğunluğu 0.514 g/cm³ elde edilmiştir. Aynı şekillerden hacimsel genişleme oranları incelendiğinde enjeksiyon basıncının 40 bar'dan 75 bar'a çıkmasıyla hacimsel genişleme oranının arttığı belirlenmiştir. Düşük enjeksiyon hızında ise düşük genişleme oranı elde edilmiştir. En fazla genişleme oranı, 75 bar enjeksiyon basıncı ve 40mm/s enjeksiyon hızında üretilen numunede elde edilmiştir.



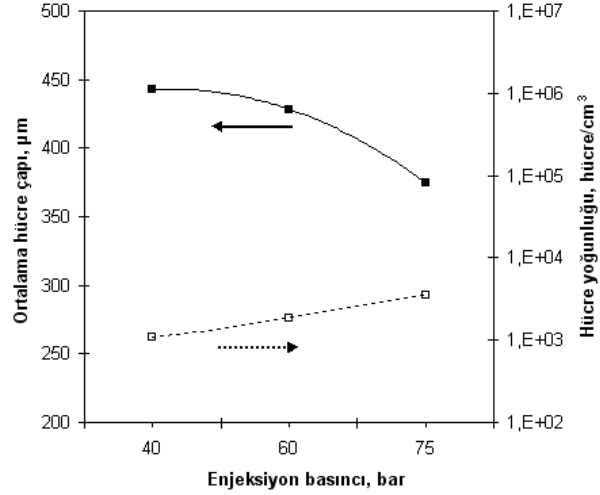
Şekil 4. EVA/AYPE karışımının enjeksiyon basıncı-yoğunluk ve enjeksiyon basıncı-hacimsel genişleme oranı ilişkisi (Enjeksiyon hızı: 20mm/s)



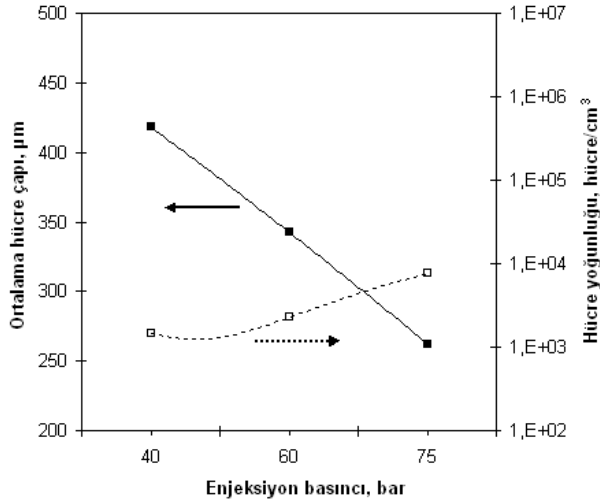
Şekil 5. EVA/AYPE karışımının enjeksiyon basıncı-yoğunluk ve enjeksiyon basıncı-hacimsel genişleme oranı ilişkisi (Enjeksiyon hızı: 40mm/s)

Polimer köpüklerde, birim hacimde köpüklenen hücre yoğunluğu (No), Eşitlik 3'de verilen formül ile hesaplanmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7'de, farklı enjeksiyon basınçları ve enjeksiyon hızları altında elde edilen polimer karışımı köpüklerin ortalama hücre çapı ve hücre yoğunluğu değerleri verilmiştir. Polimer köpüklerin ortalama hücre yoğunluğu 10^3 - 10^4 civarında olduğu tespit edilmiştir. Enjeksiyon basıncının artması ile ortalama hücre çapı azalırken birim hacimdeki hücre yoğunluğunun arttığı gözlenmiştir. 20mm/s enjeksiyon hızında ortalama hücre çapı 375-450µm arasında iken enjeksiyon hızının artmasıyla ortalama hücre çapı 250-400µm

arasında olduğu görülmüştür. 40 bar, 60 bar ve 75 bar enjeksiyon basınçlarında, birim hacimdeki hücre yoğunluğu değerleri $1,11 \times 10^3$, $1,88 \times 10^3$ ve $3,55 \times 10^3$, enjeksiyon hızı, 20 ve 40mm/s olduğunda ise birim hacimdeki hücre yoğunluğu değerleri $3,55 \times 10^3$ ve $7,61 \times 10^3$ elde edilmiştir.



Şekil 6. EVA/AYPE karışımının enjeksiyon basıncı-ortalama hücre çapı ve enjeksiyon basıncı- hücre yoğunluğu ilişkisi (Enjeksiyon hızı: 20mm/s)



Şekil 7. EVA/AYPE karışımının enjeksiyon basıncı-ortalama hücre çapı ve enjeksiyon basıncı- hücre yoğunluğu ilişkisi (Enjeksiyon hızı: 40mm/s)

4. SONUÇLAR

EVA/AYPE polimer karışımının farklı enjeksiyon parametreleri kullanılarak yapılan köpükendirme işleminde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızının artması

- ile çekirdeklenen hücre sayısı ve ortalama hücre çapı artmıştır.
- Enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızının artmasıyla kabuk tabaka kalınlıkları ve hücreler arası mesafeler azalmıştır.
 - Enjeksiyon basıncının artmasıyla her iki enjeksiyon hızında da köpük yoğunlukları azalmıştır.
 - Düşük enjeksiyon hızında düşük genleşme oranı elde edilmiştir.
 - EVA/AYPE polimer köpük numuneler için en fazla genleşme oranı 75 bar enjeksiyon basıncı ve 40mm/s enjeksiyon hızında elde edilmiştir.
 - Polimer köpüklerin ortalama hücre yoğunluğunun 10^3 - 10^4 civarında olduğu tespit edilmiştir.
 - Enjeksiyon basıncının artması ile ortalama hücre çapı azalırken birim hacimdeki hücre yoğunluğu artmıştır.
 - 20mm/s enjeksiyon hızında ortalama hücre çapı 375-450µm arasında iken enjeksiyon hızının artmasıyla ortalama hücre çapı 250-400µm arasında elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2008-50-02-007 proje numaralı Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (SAÜBAP) desteği alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada EVA/AYPE polimer karışımlarının üretiminde destek sağlayan "Ünal Taban-Istanbul" firmasının sahibi Ünal ÖKÇE'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Zeng, C., Hossieny, N., Zhang, C., Wang, B., 2010. Synthesis and processing of PMMA carbon nanotube nanocomposite foams. *Polymer*. **51**, 655–664.
- Jacobs, M.A., Kemmere, M.F., Keurentjes, J.T.F., 2004. Foam processing of poly(ethylene-co-vinyl acetate) rubber using supercritical carbon dioxide. *Polymer*, **45**, 7539–7547.
- Roberto, S., 2015. Technological characterization of PE/EVA blends for foam injection molding. *Materials and Design*. **84**, 64–71.
- Reverchon, E., Cardea, S., 2007. Production of controlled polymeric foams by supercritical CO₂. *J. of Supercritical Fluids*. **40**, 144–152, 2007.

- Xue, C., Marie-Claude, H., Pierre, J.C., 2004. Rheological properties of injection molded LDPE and mPE foams. *Polymer Engineering and Science*. **44**, 11, 2158–2164.
- Ahmadi, A.A., Hornsby, P.R., 1985. *Plastic Rubber Proc. Appl.*, **5**, 35.
- Ahmadi, A.A., Hornsby, P.R., 1985. *Plastic Rubber Proc. Appl.*, **5**, 51.
- Verdejo, R., Mills, N.J., 2004. Heel-shoe interactions and the durability of EVA foam running-shoemidsoles. *Journal of Biomechanics*. **37**, 1379–1386.
- Stark, W., Jaunich, M., Bohmeyer, W., Lange, K., 2012. Investigation of the crosslinking behaviour of ethylene vinyl acetate (EVA) for solar cell encapsulation by rheology and ultrasound. *Polymer Testing*. **31**, 904-908.
- Reyes-Labarta, J.A., Sempere, J., Marcilla, A., 2011. Kinetic study of the thermal processing and pyrolysis of crosslinked ethylene vinyl acetate/polyethylene mixtures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. **50**, 7964-7976.
- Maiti, M., Jasra, R.V., 2012. Microcellular foam from methylene vinyl acetate/polybutadiene rubber (EVA/BR) based thermoplastic elastomers for footwear applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. **51**, 10607-10612.
- Reyes-Labarta, J.A., Marcilla, A., 2012. Thermal treatment and degradation of crosslinked ethylene vinyl acetate polyethylene azodicarbonamide ZnO foams. Complete kinetic modeling and analysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. **51**, 9515-9530.
- Laurent, C., Laurent, F., Eric, L., Jose-Marie, L-C., 2005. Influence of talc physical properties on the fire retarding behaviour of (ethylene vinyl acetate copolymer/magnesium hydroxide/talc) composites. *Polymer Degradation and Stability*. **88**, 504-511.
- Matheus, V.G., Zimmermann, T.C., Turella, R.M.C., Santana, A.J.Z., 2014. The influence of wood flour particle size and content on the rheological, physical, mechanical and morphological properties of EVA/wood cellular composites. *Materials and Design*. **57**, 660–666

15. Kumar,V.,Suh,N.P., 1990.A process for making microcellular thermoplastic parts.*Polymer Engineering Science*.**30**, 1323–1329.
16. Rodrigue,D.,Leduc,S.,2003. The Influence of Injection Molding Conditions and Polymer Composition on Skin Thickness and Flexural Properties of HDPE Structural Foams. Proceedings of the 19th Annual Meeting of the Polymer Processing Society: PPS-19, Melbourne, Australia, p.41.