

## **GENİŞLEYEBİLEN POLİSTİREN KÖPÜK ÜRETİMİNDE KALIPLAMA PARAMETRELERİNİN TANE KAYNAMASI VE AĞIRLIĞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

<sup>1</sup>\*Necati YALÇIN <sup>1</sup>Kamil Kunt TÜZÜNALP <sup>1</sup>Kadir KOCATEPE

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06500,  
Ankara, TÜRKİYE

**Özet-** Bu çalışmada, genişleyebilen polistiren (GPS) köpük üretiminde kalıplama basıncı ve sürelerinin kalıplama sonrası ağırlık değişimi ve tane kaynaması üzerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda değişik kalıplama basıncı (1, 1,1 ve 1,2 atm) ve kalıplama süreleri (20, 30 ve 40 s) kullanılarak ASTM D638 standardına göre polistiren numuneler üretilmiş ve bu numunelerin doğal yaşlandırması oda sıcaklığında 720 saat (30 gün) süre ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, polistiren köpük numunelerin doğal yaşlandırma işleminde ağırlık kaybının %99'nu 24 saat sürede gerçekleştirdiğini ve 720 saat sürede ise tamamlandığını göstermiştir. Kalıplama basıncı ve süresi arttıkça kalıplama sonrası ağırlık değişimleri azalmıştır. Polistiren köpük numunelerde 20 s kalıplama süresi 1 ve 1,1 atm kalıplama basınçlarında yeterli derecede tane kaynamasını sağlamazken 30 ve 40 s kalıplama süreleri yüksek derecede tane kaynaması üretmiştir. Kalıplama sonrası ağırlık değişimi arttıkça kaynama derecesinin düştüğü belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** GPS, Tane kaynaması, Kaybolan köpük

## **THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MOLDING PARAMETERS ON THE BEAD FUSION AND WEIGHT IN THE EXPANDABLE POLYSTYRENE FOAM PRODUCTION**

**Abstract-** In this study, the effect of molding times and pressures on weight change after molding and the bead fusion was investigated in the production of expandable polystyrene (EPS) foam. In experimental studies, polystyrene samples were produced using various molding pressures (1, 1.1 and 1.2 atm) and molding times (20, 30 and 40 sec) according to ASTM D638 standard and natural aging of these samples were carried out at room temperature for 720 hours (30 days). Experimental results showed that in the natural aging process of EPS foam 99% of losses of sample weight was performed approximately with 24 hours time, and was completed with 720 hours time. The weight change after molding was decreased with increasing molding pressure and time. While 20 sec molding time with the molding pressures of 1 and 1.1 atm did not provide sufficient bead fusion, the 30 and 40 sec molding times were produced high degree of bead fusion. It was determined that the fusion degree was decreased with increasing the weight change after molding.

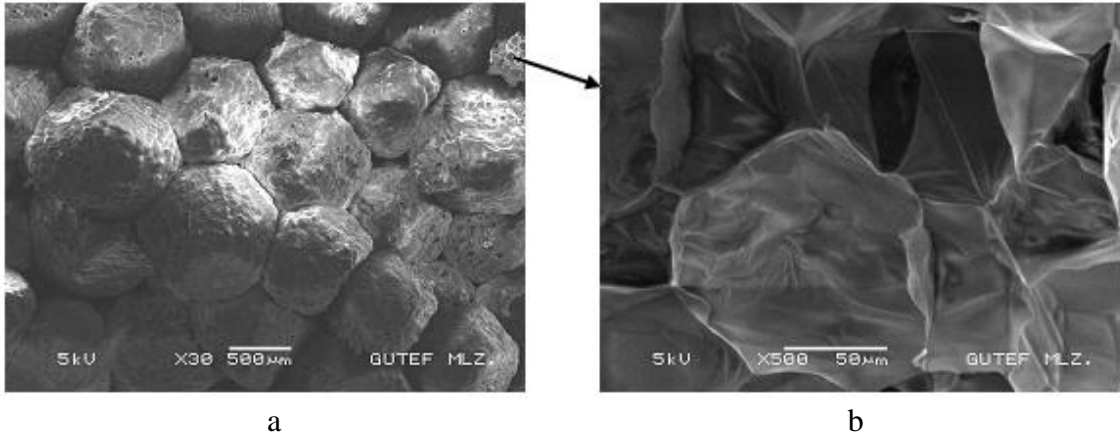
**Key Words-** EPS, Bead fusion, Lost foam

\*[nevalcin@gazi.edu.tr](mailto:nevalcin@gazi.edu.tr)

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ambalaj ve yalıtım uygulamalarında yaygın olarak kullanılan gözenekli yapıya sahip polistiren köpük esas olarak bir termoplastik malzemedir. Bu malzemeler özellikle otomotiv, döşeme, paketlenme ve yalıtım uygulamalarının dışında döküm üretiminde model malzemesi olarak kullanılmaktadır. Polistiren köpüğün hafifliği, düşük maliyeti ve geri dönüşümle tekrar kazanımı gibi avantajları kullanımını daha da cazip hale getirmektedir. Bu yüzden döküm sektöründe tercih edilen polistiren köpüğün özellikle model üretiminde kullanımı önemli derecede artmaktadır [1-3].

Enjeksiyon veya yapıştırma yöntemiyle şekillendirilmiş köpük modeller ham maddesi polistiren olan termoplastik malzemelerden üretilmekte ve köpük model döküm yönteminde (KMDY) döküm parça üretiminde kullanılmaktadır. Köpük model polistiren granüllerinin ön şişirme işlemi ile elde edilen tanelerin bir kalıp içerisinde tekrar ısıtılarak birbirlerine kaynaması sağlanır, Şekil 1 [1,4]. Köpük modelin mikroyapısı boyutları 2-4 mm arasında değişen birbirine kaynamış kapalı tanelerden oluşur. Her bir tane içinde ince zar şeklinde duvarlarla ayrılmış hücrel bölmelerden meydana gelen bir yapı mevcuttur, Şekil 1.b.



**Şekil 1.** Polistiren köpüğün mikroyapısı; a) genişlemiş tanelerin kapalı hücre yapısı ve b) tane içi hücrel yapı. (Microstructures of polystyrene foam; a) closed cell structure of expanded bead and b) cellular structure within a single bead)

Ham polistiren granüllerin model haline dönüşebilmesi birçok aşamadan geçmektedir. İlk olarak, granüller camsı geçiş sıcaklığı üzerinde bir sıcaklığa ısıtılırlar. Isıtma işlemi genellikle su buharı kullanılır. Camsı geçiş sıcaklığı üzerinde yumuşayan granüllerin içerisinde bulunan şişirici madde sıcaklığın etkisiyle granülleri boyutsal olarak 15-20 kat arasında hacimce genişletir. Ön şişirme işlemi olarak adlandırılan bu işlemden sonra elde edilen taneler oda sıcaklığında yaklaşık 24 saat süre ile yaşlandırılırlar. Yaşlandırılmış taneler bir kalıp içerisine doldurularak ikinci bir ısıtma işlemine tabi tutulur. Üretim sırasında kalıp içerisine gönderilen buhar polistiren tanelerinin etrafını sararak taneleri ve kalıbı ısıtır ve ham halde emdirilen düşük kaynama sıcaklığına sahip şişirici madde sıcaklığın etkisi ile bu tanelerin içerisinde kaynamaya başlar. Kaynayan şişirici maddenin tane içerisinde meydana getirdiği ters basınç taneleri genişlemeye zorlar. Taneler kalıp duvarının sınırlamasından dolayı serbest halde genişlemez. Büyüme eğiliminde olan taneler ara yüzeylerinde viskoelastik yumuşama sayesinde birbirlerine temas ederek yapışır ve blok oluştururlar. Tane kaynaması olarak adlandırılan bu yapışma köpük modelin özelliklerini önemli bir şekilde etkilemektedir [1, 5-7]. Köpük model üretiminde taneler arasında gerçekleşen kaynama derecesini özellikle kalıplama şartları belirlemektedir. Kullanılan buharın sıcaklığı ve uygulama süresi en önemli kalıplama parametreleridir [8]. Kaynama derecesinin bilinmesi köpük modelin mekanik özelliklerinin yanında özellikle döküm

## ...:Genişleyebilen Polistiren Köpük Üretiminde Kalıplama Parametrelerinin Tane Kaynaması Ve Ağırlığa Etkisinin İncelenmesi:..

esnasında sıvı metal ile model arayüzey genişliği ve şeklinin belirlenmesinde önemli rol oynar [1, 5, 9-14].

Araştırmacılar tane kaynama derecesinin belirlenmesinde mikroskobik inceleme yöntemini kullanılmaktadırlar. Rossacci [1,5], Sand[6,15], Shivkumar [11] gibi birçok araştırmacı mikroyapı incelemelerinde tanelerin arayüzey durumlarını, mekanik test sonuçlarını dikkate alarak tane kaynama derecesini belirlemeye ve somut veriler ortaya koymaya çalışmışlardır. Bu araştırmacılar tane kaynama derecesini düşük, orta ve yüksek tane kaynama derecesi olmak üzere üç şekilde sınıflandırmışlardır.

Bu çalışmada kalıplama sonrası yaşlandırma işlemi sırasında ürünün ağırlık değişimi gözlemlenerek, ağırlık değişimi ile tane kaynama derecesi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Blok köpük üretiminde fiziksel özellikleri belirleyen tane kaynaması tahribatsız bir yöntem olan ağırlık değişimi ölçümü ile her üretici için katma değer oluşturacaktır.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

### 2.1. Malzeme (Material)

Deneyisel çalışmalarda köpük model döküm yöntemi için özel olarak üretilen ve genel özellikleri Tablo 1’de verilen Gedexcel 25C genişleyebilen polistiren (GPS) granülleri kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Deneyisel çalışmalarda kullanılan GPS’nin genel özellikleri (General properties of EPS used in the experimental researches)

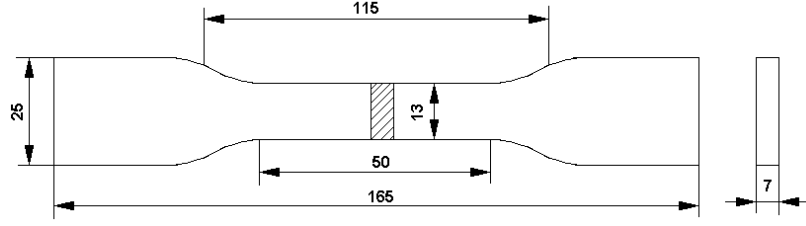
Özellik	Değer	Birim
Ham yoğunluk	820	Kg/m <sup>3</sup>
Tane boyutu sınıfı	0,2-0,4	mm
Tane boyut dağılımı (%95)	0,25-0,35	mm
Şişirici madde miktarı (pentan)	>=5,5	%Ağırlık
Ulaşılabilecek minimum yoğunluk	22	Kg/m <sup>3</sup>

### 2.2. Deneyisel Çalışmalar (Experimental Procedures)

Deneyisel çalışmalarda ASTM D638 test standardına uygun hazırlanan alüminyum kalıp içerisinde şekillendirilerek son şekli (net-shape) verilmiş blok numuneler kullanılmıştır. Numuneler sırasıyla ön şişirme, sıcak buhar kalıplama, soğutma ve kalıptan alma yöntem ve işlemleri ile elde edilmiştir.

İlk olarak, polistiren granülleri özel olarak hazırlanmış paslanmaz çelik gövdeli 50 lt hacmine sahip cihazda sıcak buhar gönderilerek, değişik sürelerde açık atmosferde ön şişirme işlemine tabi tutuldu. 15, 30 ve 60 s süre ile ön şişirme işlemi uygulanan ve oda sıcaklığında 24 saat süre ile doğal yaşlandırılmış granüllerdeki hacimsel değişim tespit edilmiştir. İkinci aşama olarak 30 saniye (s) ön şişirme işlemine tabi tutulmuş ve 24 saat doğal yaşlandırılmış 26,2 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğu sağlayacak 0,570 gr granül ASTM D638 test standardına uygun hazırlanmış alüminyum kalıp içerisinde 1, 1,1 ve 1,2 atm basınç altında ve 20, 30 ve 40 s sürelerinde kalıplanmıştır. Şekil 2’de ASTM D638 test standardına göre üretilmiş numune ölçüleri verilmiştir. Üçüncü aşama da, kalıplama sonrası kalıp yüzeyine su püskürtülerek yapılan soğutma işlemidir. Son olarak kalıbın soğuyup üzerindeki basıncın düşürülmesinden sonra numune kalıp dışına çıkarılmıştır. Kalıplanan her bir numuneden kalıplama işlemi sonrası ilk 3 saat sürede 30 dk aralıklarla ve bu süreyi takip eden sürelerde 1 saat aralıklarla % 0,1 hassasiyetindeki terazide ağırlık ölçümleri alınmıştır. Elde edilen ölçüm değerleri mikroyapı

analizinde gözlemlenen tane kaynaması derecesi ile karşılaştırılarak, ağırlık değişimi ile kaynama derecesi arasındaki ilişki incelenmiştir.



**Şekil 2.** Şematik olarak ASTM D638 numune ölçüleri (Bütün ölçüler mm'dir)  
(Schematic of ASTM D638 sample dimensions (All dimensions in mm))

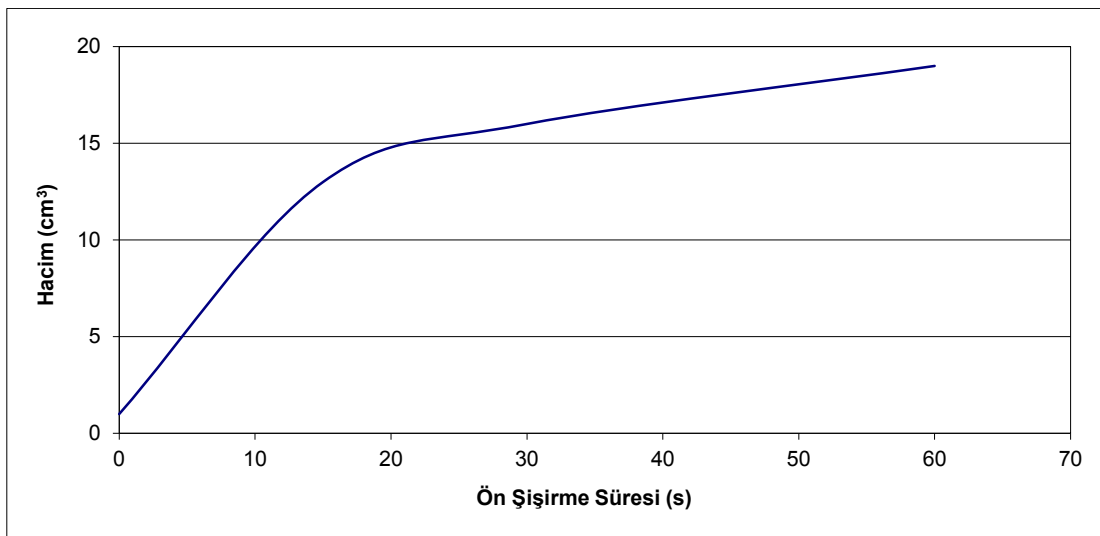
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Ön Şişirme İşleminde Granüllerde Meydana Gelen Hacimsel Değişim (Variation of The Volume Change of The Granules in Pre-Expansion Treatment)

15, 30 ve 60 s süre ile ön şişirme işlemi uygulanan ve oda sıcaklığında 24 saat süre ile doğal yaşlandırılmış granüllerdeki hacimsel değişim Tablo 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda 30 s süre ile ön şişirme işlemi uygulanan ve oda sıcaklığında 24 saat süre ile doğal yaşlandırılmış granüllerin kalıplama işlemi için kullanılması  $26,2 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğun sağlanması açısından uygun görülmüştür. Ön şişirilmiş granüllerin kalıp içinde kalıplama sırasında birbirine yapışma özelliğinin iyileştirilmesi için doğal yaşlandırma işleminde 24 saat sürenin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 2.** Ön şişirme işlemine göre granüllerde meydana gelen hacimsel değişim (Variation of the volume change of the granules with pre-expansion times)

Ön şişirme süresi (s)	0	15	30	60
Hacim ( $\text{cm}^3$ )	1	14	16	19

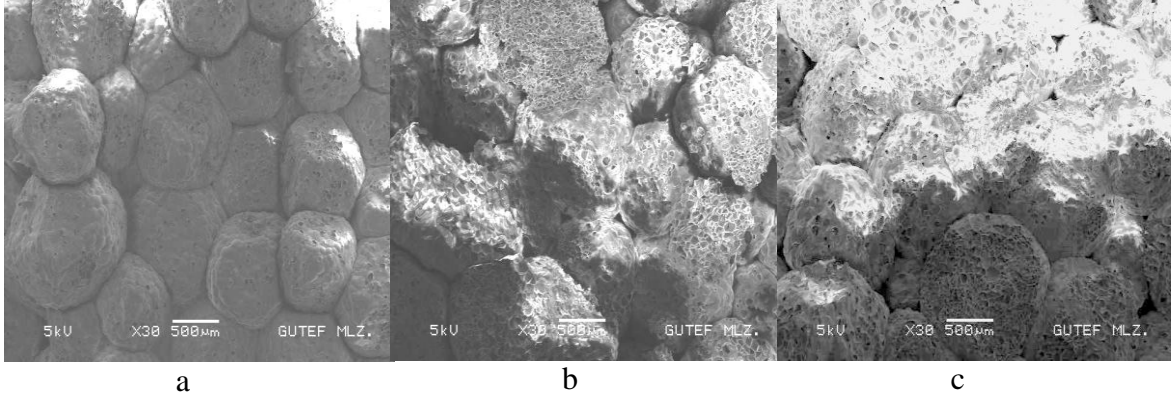


**Şekil 3.** Ön şişirme sürelerine göre granüllerin hacimsel değişimi (Variation of the volume change of the granules with pre-expansion times)

### 3.2 Kalıplama Basıncı ve Sürelerinin Tane Kaynamasına Etkisi (The Effect of Molding Pressures and Molding Times on Bead Fusion).

30 saniye (s) ön şişirme işlemine tabi tutulmuş ve 24 saat doğal yaşlandırılmış  $26,2 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğu sağlayacak 0,570 gr granül ASTM D638 test standardına uygun hazırlanmış alüminyum kalıp içerisinde 1, 1,1 ve 1,2 atm basınç altında ve 20, 30 ve 40 s sürelerinde kalıplanmıştır. Elde edilen numunelerin mikroyapı incelemesinde, kalıplama basıncı ve sürelerinin tane kaynaması üzerine önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Düşük kalıplama basıncında (1 atm) ve 20, 30 ve 40 s kalıplama süresinde elde edilen numunenin mikroyapı incelemesinde Şekil 4.a'da görüleceği gibi nispeten diğer numunelere göre daha düşük kaynama derecesi meydana gelmiştir. Ancak 1,1 ve 1,2 atm kalıplama basınçlarında kalıplama sürelerinin artmasıyla tane kaynama derecesi artmıştır, Şekil 4.b ve Şekil 4c. Sonuç olarak tane kaynama derecesi, kalıplama basıncı ve süreleri arttıkça artmıştır. Yüksek kalıplama basıncı ve sürelerinin tane kaynama derecesine etkisi teorik olarak şu şekilde açıklanabilir.



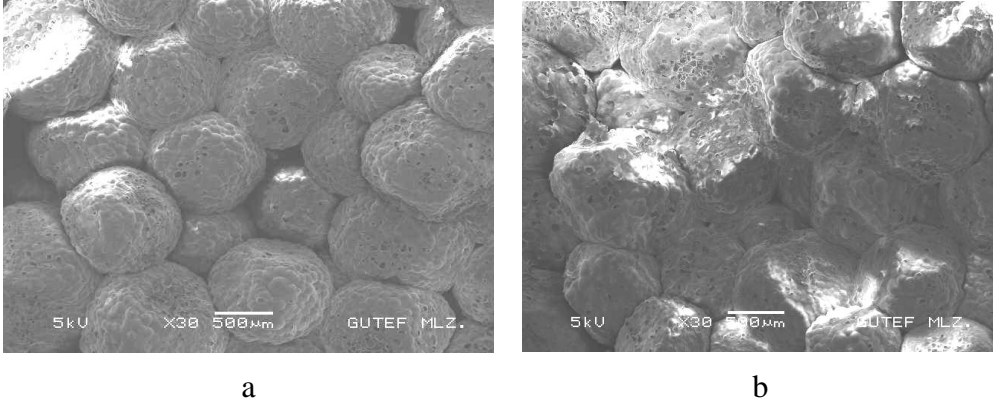
**Şekil 4.** Tarama elektron mikroskopunda (SEM) 40 s kalıplama süresinde üretilen numunelerin kırık yüzey görüntüleri; a)1 atm, b) 1,1 atm ve c) 1,2 atm kalıplama basıncı. (The fracture surface micrographs of produced specimens in 40 s molding time on Scanning electron microscope (SEM); a) 1, b) 1,1 and c) 1,2 atm the molding pressures).

Artan basınçla birlikte ortam sıcaklığı artar ve buna bağlı olarak tane içerisinde bulunan şişirici madde olan pentan tane içi hücrelerde ters basınç meydana getirir. Şişirici madde  $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta kaynamaktadır [2]. Artan hücre içi basınç kalıbın kapalı olmasından dolayı taneler arası arayüzey genişlemesine neden olur. Diğer taraftan artan kalıplama süresi ve basıncı hücrel tane yüzeylerinde meydana gelen viskoelastik yumuşama ve taneler arası daha uzun etkileşim süresi sağlayarak tane kaynama derecesini artırır. Şekil 4 ve 5'te numunelerin kırık yüzeylerinden alınan tarama elektron mikroskobu görüntüleri artan kalıplama basıncı ve süreleri ile gözlemlenen taneler arası bu etkileşimi desteklemektedir.

### 3.3 Kalıplama Basıncı ve Sürelerinin Ağırlık Değişimine Etkisi (The Effect of Molding Pressures and Molding Times on Weight Change).

Numunelerin kalıplama sonrası ölçülen ağırlık değişimleri kalıplama basıncı ve sürelerine göre farklılıklar sergilemiştir, Tablo 3. Düşük kalıplama basıncında kalıplama süresinin artmasıyla kalıplama sonrası ağırlık hızlı bir düşüş göstermiştir. 1 atm kalıplama basıncında 20 s kalıplama süresi kalıplama sonrası 2,269 g ağırlık üretirken 40 s kalıplama süresi 1,155 g ağırlığa sahip numune üretmiştir (Şekil 6). Kalıplama süresindeki artış Şekil 7 ve 8'de görüldüğü gibi 1,1 ve

1,2 atm basınçlarında da numunelerin kalıplama sonrası ağırlıklarında benzer şekilde düşme meydana getirmiştir.



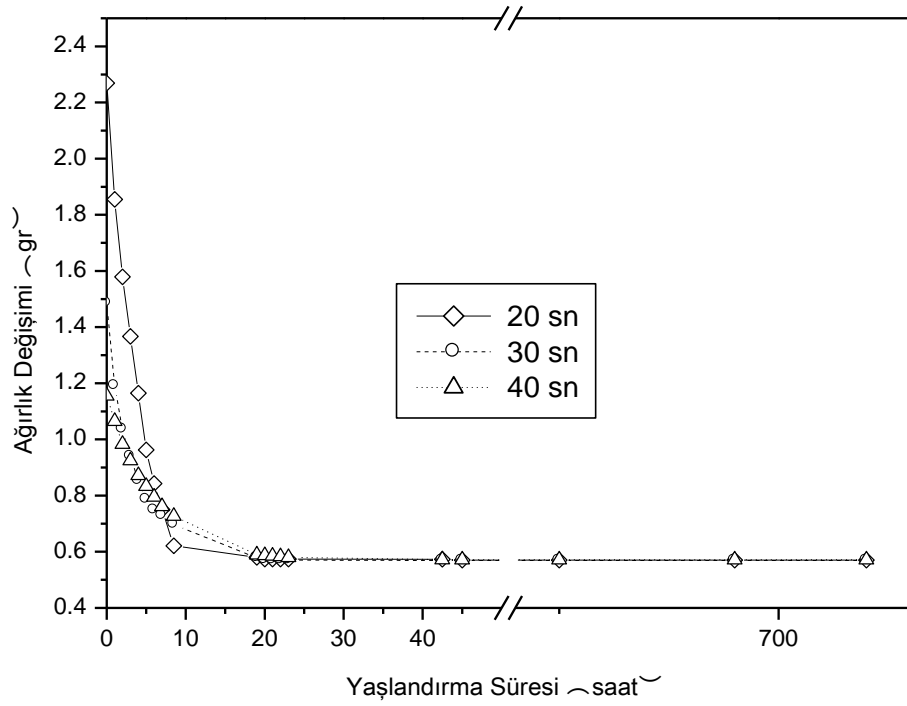
**Şekil 5.** Tarama Elektron Mikroskopunda 1,2 atm basınçta üretilmiş numunelerin kırık yüzey görüntüleri; a) 20 s ve b) 30 s kalıplama süresi. (The fracture surface micrographs of produced specimens in 1,2 atm pressure on Scanning electron microscope; a) 20 s and b) 30 s the molding times).

1, 1,1 ve 1,2 atm basınçlarında 20 s kalıplama süresinde nispeten farklı ağırlık değişimi gözlemlenirken 30 s ve 40 s kalıplama sürelerinde birbirlerine yakın değerler oluşmuştur, Şekil 9. Kalıplama sonrası daha yüksek ağırlığa sahip numunelerin ağırlıklarını daha hızlı kaybettikleri görülmektedir. Bu durumun düşük tane kaynama derecesinden kaynaklanan birim hacimdeki taneler arasındaki boşluklardan meydana geldiği düşünülmektedir. İlave olarak, hüresel yapıdaki polistiren malzemenin ısı iletim katsayısının düşük olması, numunelerin iç kısımlarındaki tanelerin bu aşamada henüz soğumaması ve taneler arası boşluğu kapatma eğiliminde olmaları bu hızlı azalmaya neden olmaktadır.

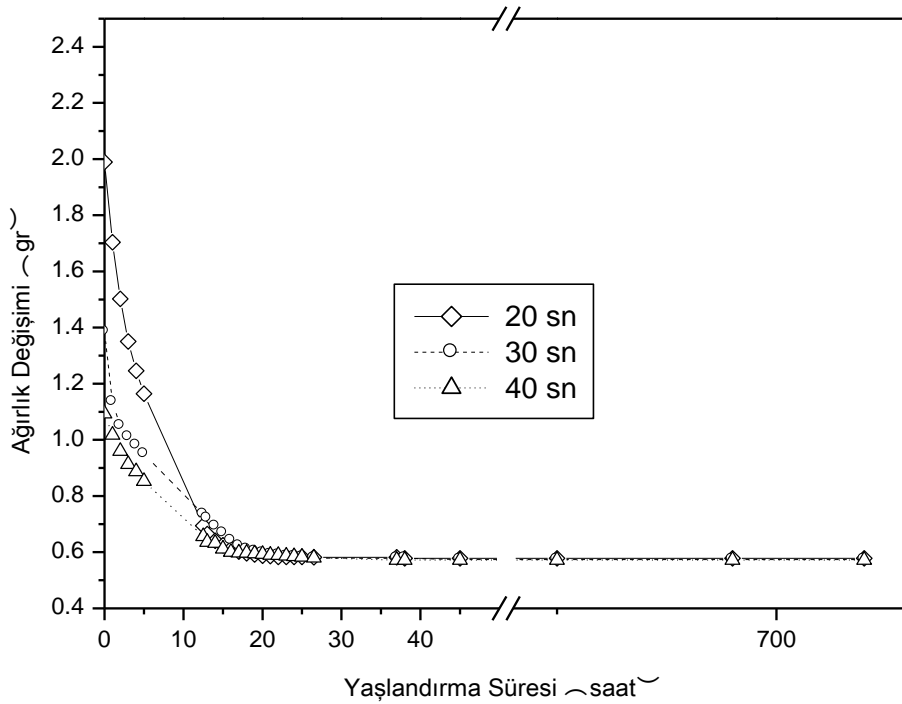
**Tablo 3.** Polistiren köpük numunelerde farklı kalıplama süreleri ve basınçlarında kalıplama sonrası elde edilen ağırlık değişimi (Obtained weight change after molding with different molding pressures and times in polystyrene foam specimens)

Kalıplama Basıncı	atm	1			1,1			1,2		
Kalıplama Süresi	s	20	30	40	20	30	40	20	30	40
Kalıplama Sonrası Ağırlık Artışı	g	2,269	1,485	1,155	1,989	1,385	1,093	1,610	1,380	1,017

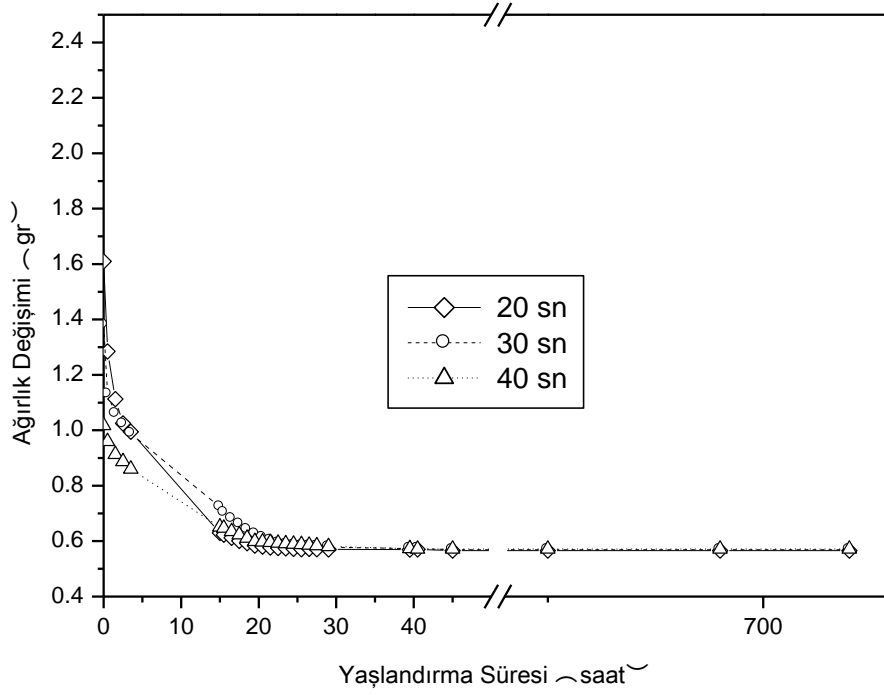
..:Genişleyebilen Polistiren Köpük retiminde Kalıplama Parametrelerinin Tane Kaynaması Ve Ağırlığa Etkisinin İncelenmesi:..



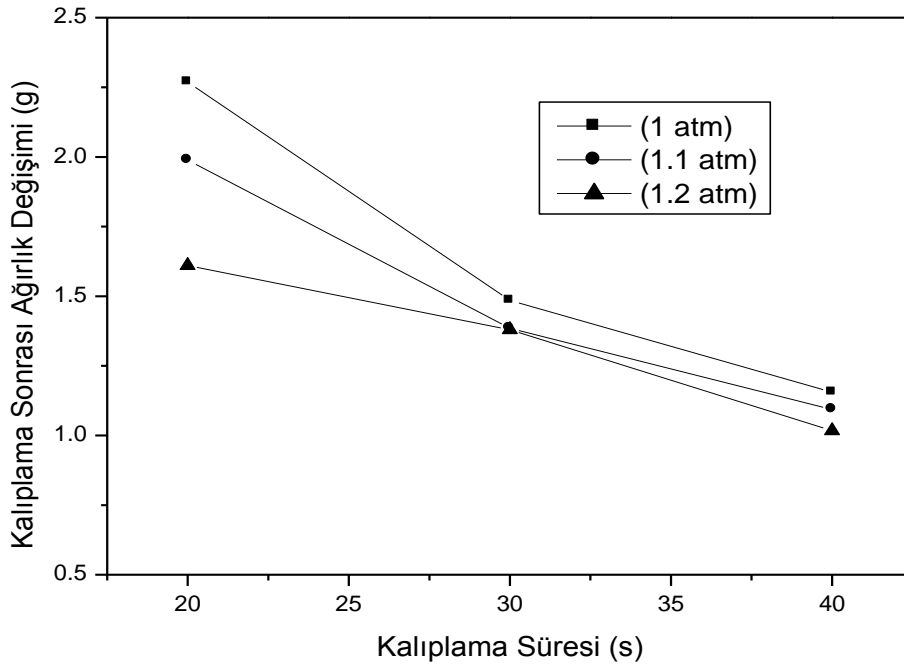
Şekil 6. 1 atm basınçta üretilen numunelerin yaşlanma davranışı (The aging behavior of samples produced in 1 atm pressure)



Şekil 7. 1,1 atm basınçta üretilen numunelerin yaşlanma davranışı (The aging behavior of samples produced in 1,1 atm pressure)



Şekil 8. 1,2 atm basınçta üretilen numunelerin yaşlanma davranışı (The aging behavior of samples produced in 1,2 atm pressure)



Şekil 9. Kalıplama süresinin kalıplama sonrası ağırlık değişimi üzerindeki etkisi (The effect of molding time on the weight change after molding)



#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Genişleyebilen polistiren (köpük) malzemelerin kalıplanmasında pek çok değişken etkili olmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda kalıplama süresi ve basıncı blok malzeme üretiminde tanelerin kaynama derecesini etkileyen önemli değişkenler olduğu görülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Polistiren köpük numunelerin doğal yaşlandırma işleminde ağırlık kaybının %99'u 24 saat sürede gerçekleşmekte ve 720 saat sürede ise tamamlanmaktadır.
2. Kalıplama basıncı ve süresi arttıķa kalıplama sonrası ağırlık değişimleri azalmaktadır.
3. Polistiren köpük üretiminde tane kaynama derecesinin kalıplama sonrası ağırlık değerleri ile belirlenebileceği tespit edilmiştir.
4. Polistiren köpük numunelerde 20 s kalıplama süresi 1 ve 1,1 atm kalıplama basınçlarında yeterli derecede tane kaynamasını sağlamazken 30 ve 40 s kalıplama süreleri yüksek derecede tane kaynaması üretmiştir.
5. 1,2 atm kalıplama basıncında 20 s kalıplama süresi orta derecede tane kaynaması sergilerken 30 ve 40 s kalıplama süreleri yüksek derecede tane kaynama derecesi üretmiştir.
6. Bu çalışmada polistiren tanelerin kaynama derecesini belirlemede üretilen parçalardaki kalıplama sonrası ağırlık ölümünün tahribatsız, kolay ve etkili bir yöntem olduğu grlmştir.

#### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Rossacci, J., Shivkumar, S., (2003). Bead Fusion in Polystyrene Foam, *Journal of Materials Science*, 38, 201-206.
- [2]. Saçak, M., (2012). Polimer Teknolojisi, *Gazi Kitapevi*, 2.Baskı, Ankara, 349-366.
- [3]. Bates, C.E., Littleton, H.E., McMellon, B., Stroom, P.A., (2001). Technological Developments and Worldwide Market Growth in Lost Foam Casting Production, *AFS Transaction*, 109: 1557-1572.
- [4]. Yalçın, N., (2006). *Kpk Model Dkm Ynteminde Dkm ve Model Parametrelerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstits.
- [5]. Rossacci, J., Shivkumar, S., (2003). Influence of EPS Bead Fusion on Pattern Degradation and Casting Formation in the Lost Foam Process, *Journal of Materials Science*, 38, 2321-2330.
- [6]. Sands, M., Shivkumar, S., (2003). EPS Molecular Weight and Foam Density Effect in The Lost Foam Process, *Journal of Materials Science*, 38, 2233-2239.
- [7]. Brydson, J.A., (1989). *Plastics materials*, Butterworth and Heinemann, 5<sup>th</sup> Edition, London, 406-431.
- [8]. Gutierrez, C., et.al., (2014). Preparation and Characterization of Polystyrene Foams from Limonene Solutions, *The Journal of Supercritical Fluids*, 88, 92-104.
- [9]. Sands, M., Shivkumar, S., (2003). Influence of Coating Thickness and Sand Fineness on Mold Filling in The Lost Foam Casting Process, *Journal of Materials Science*, 38, 667-673.
- [10]. Littleton,H.E., et.all, (1996). Lost Foam Casting- Process Control for Precision, *AFS Transactions*, 104, 335-346.
- [11]. Shivkumar, S., Wang, L., Steenhoff, B., (1989). Metallurgical Quality of Aluminum Castings Produced by the Lost Foam Process, *AFS Transactions*, 97, 825-836.

- [12]. Khodai, M., Parvin, N., (2008). Pressure Measurement and Some Observation in Lost Foam Casting, *Journal of Materials Processing Technology*, 206, 1-6.
- [13]. Kannan, P., Biernacki, J.J., Visco, D.P., (2007). A Review of Physical and Kinetically Models of Thermal Degradation of Expanded Polystyrene Foam and Their Application to the Lost Foam Casting Process, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 78, 162-171.
- [14]. Caulk, D.A., (2006). A Foam Melting Model for Lost Foam Casting of Aluminum, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49, 2124-2136.
- [15]. Sands, M., Shivkumar, S., (2006). EPS Bead Fusion Effects on Defect Formation in Lost Foam Casting of Aluminum Alloys, *Journal of Materials Science*, 41, 2373-2379.