



Hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak poliamid 6 (PA6) ve polioksümetilenin (POM) eriyik akış indeksleri ve yoğunluklarındaki değişimlerin incelenmesi

Investigation of the changes in melt flow indexes (MFI) and densities of polyamide 6 (PA6) and polyoxymethylene (POM) related with hydrolyzed powder coating waste amount

Yılmaz KİSMET^{1*}

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Tunceli Üniversitesi, Tunceli, Türkiye.
ykismet@tunceli.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 13.04.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 29.06.2015
* Yazılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.98215
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Yapılan bu çalışmada, polioksümetilenin (POM) ve poliamid 6'nın içerdikleri hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı eriyik akış indeksleri ve yoğunluklarındaki değişimler araştırılmıştır. Hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atıkları termoplastik ve termoset yapıdaki elektrostatik toz boyaların kullanılması sonucunda oluşan atıkların karışımını içermektedir. Bu atıklar ayrı ayrı poliamid 6 ve polioksümetilen içerisine ağırlıkça farklı (%10, %20 ve %30) oranlarında karıştırılarak karışımlar oluşturulmuş ve bu karışımların akışkanlıkları ile yoğunluklarındaki değişimler belirli sıcaklık ve basınç altında incelenmiştir. Böylelikle poliamid 6 (PA6) ve polioksümetilenin (POM) akışkanlıkları ve yoğunluklarının, artan hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak nasıl değişim gösterdiği tespit edilerek grafiklerle ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Poliamid (PA6), Polioksümetilen (POM), Toz boya, Geri dönüşüm, Eriyik akış indeksi, Yoğunluk

Abstract

In this study, the changes in melt flow indexes and densities of polyamide 6 (PA6) and polyoxymethylene (POM) depending on the amount of added Hydrolyzed Powder Coating Waste, have been investigated. Hydrolyzed electrostatic powder coating waste consist of a mixture of waste formed during the thermoplastic and termoset electrostatic powder coating process. These wastes have been mixed with polyoxymethylene and polyamide separately with different proportions (10%, 20% and 30%) by weight, and the changes in melt flow indexes and densities of these mixtures have been analyzed at certain temperature and pressure. Thus, the change of flow and densities of polyamide 6 (PA6) and the polyoxymethylene (POM) depending on the concentration of Hydrolyzed Powder Coating Waste have been determined and presented.

Keywords: Polyamide 6 (PA6), Polyoxymethylene (POM), Powder coating, Recycling, Melt flow indexes (MFI), Density

1 Giriş

Polimerler, uzun yıllardır günlük hayatımızda ihtiyaçlarımızı karşılamada çok önemli yere sahip alternatif malzemeler olmuştur ve bu ihtiyaçlarımızın artışına paralel olarak kullanım alanları da giderek artmaktadır. Hayatımızın her alanına girmiş olan polimerler; otomotiv, uzay-havaçılık, iletişim, sağlık, gıda ve daha birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır [2],[3],[5]. Örneğin, bilindik gözlük camlarının yerini daha hafif olması ve zor kırılmasından dolayı polikarbonat gözlük camları almıştır. Modern bir otomobilde lastikler, lastik fiberleri, döşemeler ve boya hariç yaklaşık 150 kg polimer madde kullanılır. PVC kapı ve pencereler, ucuz ve ısı yalıtımındaki avantajları nedeniyle binaların büyük bölümünde kullanılmaktadır. Kullanımının yaygınlaşmasının en önemli nedenleri olarak düşük maliyet, kolay üretilebilirlik ve basit kullanım sayılabilir [11],[13],[15],[16].

Polimerlerin en önemli grubunu termoplastikler oluşturmaktadır. Termoplastikler zincirler arası Van der Waals, zincir içerisinde ise kovalent yapıda bağlara sahiptir ve genelde polimerizasyon yöntemi ile elde edilir, ısıtıldıkları zaman yumuşar ve akar, soğutulduklarında ise sertleşir ve katılaşır. Bu şekilde hiçbir kimyasal değişime uğramadan tekrar eritebilirler. Makro moleküllerin dizilişine göre kristal ve amorf yapıda olan termoplastikler, genellikle sünektir ve mekanik özellikleri yüklenme hızına, yüklenme süresine ve

sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir. Termoplastik grubunu oluşturan en önemli plastikler: poliamid, polistiren, polietilen, polipropilen, polioksümetilen, karbonflorür, selülozikler ve vinillerdir [15],[16],[18].

Kaydedilen teknolojik gelişmelerle birlikte termoplastiklerde, farklı türlerde organik veya inorganik yapıdaki katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Bu sayede termoplastiklerin mekanik, ısı, fiziksel vb. özellikleri iyileştirilerek ihtiyaçlarımızı karşılayacak nitelikte malzemeler geliştirilmektedir. Bu katkı maddelerine örnek olarak keten, odun talaşı, kolza otu, saman, kendir, kenevir, hint keneviri gibi organik hammaddeler ve kalsiyum karbonat, talk, kalyum vb. inorganik maddeler verilebilir. Bu çalışmada da sentetik yapıdaki hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atıkları iki farklı termoplastik olan poliamid 6 ve polioksümetilende dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır [1],[4],[9],[14],[15].

Termoset ve termoplastik olmak üzere iki farklı yapıda olan elektrostatik toz boya kaplama malzemeleri içerik olarak reçine, sertleştirici, dolgu malzemesi, renklendirici ile katkı maddelerinden (additive) oluşmaktadır. İçerdiği reçine ve sertleştiricinin türüne göre farklılık gösteren dokuz termoset ve beş termoplastik yapıda toplam on dört elektrostatik toz boya çeşidi vardır. Son yıllarda elektrostatik toz boya sektöründe kaydedilen teknolojik gelişmeler ve bu boyaların içeriginde çözücü ihtiva etmemesi gibi olumlu nedenlerden

dolayı ıslak-sıvı kaplama malzemelerine oranla daha fazla tercih edilir hale gelmiştir [1],[6]-[8].

Adından da anlaşılacağı gibi elektrostatik toz boya tekniği, elektriksel iletkenliğe sahip malzemelerin toz boya ile kaplanması prensibine dayanmaktadır. Kullanılan toz boyalar genellikle ekstrüzyon yöntemiyle üretilir. Toz boyayı oluşturan reçineler, sertleştiriciler, pigmentler, dolgu malzemeleri, adativler vb. önce tartılır sonra bir mikserde mekanik olarak karıştırılarak hazırlanır. Homojen yapıda bir malzeme elde edebilmek için hazırlanan bu karışımlar belirli sıcaklıklarda ekstrüzyondan geçirilir. Bu şekilde homojen hale gelen malzeme önce soğutulur daha sonra kırıcılar vasıtası ile kırılarak cips büyüklüğünde parçalanır. Sonrasında bu parçalar değirmende öğütülerek elektrostatik toz boyaların üretimi gerçekleştirilmiş olur [1],[7],[8],[10],[12].

Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen toz boyalar, püskürtme tabancası ile elektrostatik olarak yüzeyi kaplanmak istenilen malzemeye yaklaşık bir metreden püskürtülür. Vakumlu havanın etkisi ile silindirik kesitli püskürtme tabancasına yönlendirilen toz tanecikleri, tabancanın içerisinde spiral hareketler yaparak yüzeylere sürtünür ve yüklü hale gelir. Yüklü hale gelen bu tanecikler tabancayı terk ettikten sonra yüzeyi kaplanmak istenilen topraklanmış malzemeye yönelir ve malzeme ile toz boya tanecikleri arasında oluşan elektrostatik çekim kuvvetinden dolayı malzeme yüzeyine tutunur. Bu teknik ile çok kompleks geometrilere sahip malzemeler bile rahatlıkla istenilen incelikte film tabakası oluşturulacak şekilde kaplanabilmektedir. Büyük bir avantaj sağlayan bu yöntemin dezavantajı ise kaplama esnasında kayıpların oluşmasıdır. Püskürtme tabancasından çıkan toz boya taneciklerinin bir kısmı yüzeyi kaplanmak istenilen malzemeye tutunamayıp pas geçer yere dökülür. Bu şekilde oluşan kayıplar orta ve küçük işletmelerde, her uygulamada yaklaşık olarak %30 ila %35 oranındadır. Fakat seri üretimin olduğu sistemlerde oluşan atıklar düşük verimlilikle tekrar kullanılarak kayıplar %5'lere kadar düşürülmektedir. Oluşan bu kayıplar depolanmakta ve daha sonra yakılarak bertaraf edilmektedir. Bu da beraberinde taşıma, depolama ve atık malzemeyi yakmak (min. 300 °C) için fazladan enerji masrafları getirmektedir [1],[6]-[8],[12].

Günümüzde dünya genelinde yıllık 2 milyon tonun üzerinde bir üretim potansiyeli olan elektrostatik toz boyalardan, yıllık ortalama 300 000 ton civarında kayıp oluşmaktadır. Oluşan bu kayıpların geri dönüşümü üzerine yapılmış çalışmalardan bir tanesi atıkların hidroliz edilmesidir [1]. Su ve alkol karışımı kullanılarak gerçekleştirilen hidroliz işlemi ile sertleştirici içeren elektrostatik toz boya atıklarının yapısı bozularak yüksek sıcaklıklarda (140 ila 180 °C) metal yüzeylere yapışma özellikleri ortadan kaldırılmış ve bu sıcaklıklarda çalışılabilir hale getirilmişlerdir. Bu çalışmada hidroliz edilmiş tüm sistemlere ait elektrostatik toz boya atıkları ağırlıkça farklı oranlarda poliamid 6 ve polioksümetilen içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu şekilde oluşturulan karışımların eriyik akış indeksleri ve yoğunluklarındaki değişimler tespit edilerek grafiklerle ortaya konmuştur.

2 Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmalarda kullanılan termoplastik malzemeler ve bu malzemeler için eriyik akış indeks (MFI) ölçümlerinde kullanılan sıcaklık ve basınç değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Hidroliz edilmiş toz boya atığı olarak, termoplastik ve termoset yapıdaki elektrostatik toz boyaların uygulama sonucunda

oluşan atıkları kullanılmıştır. Bu atıklar Ankara Ostim sanayi bölgesindeki kaplama yapan işletmelerden tedarik edilmiştir. Aynı şekilde kullanılan termoplastiklerde Ostim sanayi bölgesindeki tedarikçi bir polimer/kimya firmasından temin edilmiştir.

Tablo 1: Kullanılan termoplastikler ile MFI için sıcaklık ve ağırlık değerleri.

Termoplastikler	Üretici Firma/Ürün Kodu	MFI için Sıcaklık ve Basınç
1 Polioksümetilen (POM)	Asetal Co-polymer	190 °C/2.16 kg
2 Poliamid 6 (PA 6)	Epsan/Eplamid PA 6 Naturel	250 °C/5 kg

Belirtilen hidroliz edilmiş toz boya atıkları ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında olacak şekilde Tablo 1'de verilen her iki termoplastiğe ayrı ayrı karıştırılarak 4 ila 8 gram arasında karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların hacimsel ve kütleli eriyik akış indeksleri ve yoğunluklarının analizi Şekil 1'de görünen Tunceli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan "JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model" MFI eriyik akış cihazı kullanılarak ASTM D1238 ve TSE1323 ile tanımlanan standartlara uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir [1],[17]-[19]. Polioksümetilen için 2.16 kg ağırlık ve 190 °C sıcaklık değerleri kullanılırken, poliamid için 5 kg ve 250 °C sıcaklık değerleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1: JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model MFI eriyik akış cihazı.

Şekil 1'de belirtilen cihaz, istenilen ölçüm sıcaklığına ulaştığında hazırlanan karışımlar bir huni vasıtası ile cihazın ısıtılmış haznesine dökülerek yine şekilde belirtildiği gibi bir piston ile sıkıştırılmıştır. Daha sonra her iki termoplastik için de pistonun üzerine 0.325 kg ağırlığındaki ön yükleme uygulanmıştır. Oluşturulan karışımların her biri ayrı ayrı yaklaşık olarak 6-8 dakika kadar cihazın ısı haznesinde erimeye bırakılmıştır. Polioksümetilen için bu işlem 190 °C'de gerçekleştirilmiş ve malzeme yavaş yavaş ısıtma haznesinin alt

kısmında bulunan memeden akmaya başlayınca pistonun üstüne ilave 1.835 kg. ana yüklemeye yapılarak toplamda 2.16 kg ağırlık ile malzeme sıkıştırılarak akmaya zorlanmıştır. Poliamid 6 için ise 250 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyde ilave yük olarak 4.675 kg ağırlık kullanılarak toplam 5 kg'lık kuvvet etkisi altında malzeme memeden akmaya zorlanmıştır. Belirtilen sıcaklık ve ağırlık değerlerinin uygulanması sonucunda eriyik hale gelen malzemenin memeden akışıyla beraber üzerinde ağırlık bulunan piston da aynı doğrultuda yani düşey yönde hareket etmeye başlamıştır. İstenilen ölçüm aralığına gelindiğinde pistonun üst kısmındaki toplam kütle (polioksümetilen için 2.16 kg, poliamid 6 için 5 kg) alt yüzeyi Şekil 1'de belirtildiği gibi cihazın terazi koluna değerek sensör devreye girmiş ve cihaz otomatik olarak start vermiştir. Startla birlikte memeden akan eriyik malzeme, her 30 saniyede bir meme kısmında bulunan makas ile otomatik olarak kesilmiştir. Şekil 2'de örnek olarak polioksümetilen ve %20 dolgu malzemesi karışımının kesilmesi sonucu elde edilen numuneler gösterilmiştir. Şekildeki gibi kesilen bu numuneler cihazın malzeme haznesinde toplanmış ve sonra ağırlıkları ölçülerek ortalama ağırlık tespit edilmiştir. Tespit edilen bu ortalama ağırlık değeri, cihazın dijital panosunda istenilen kısma girilerek karışımların hacimsel ve kütleli eriyik akış indeks değerleri (MVR ve MFI) ve yoğunluk (ρ) değerleri cihaz tarafından otomatik hesaplanarak tespit edilmiştir.



Şekil 2: Cihaz tarafından kesilen POM+%20 dolgu karışımına ait numuneler.

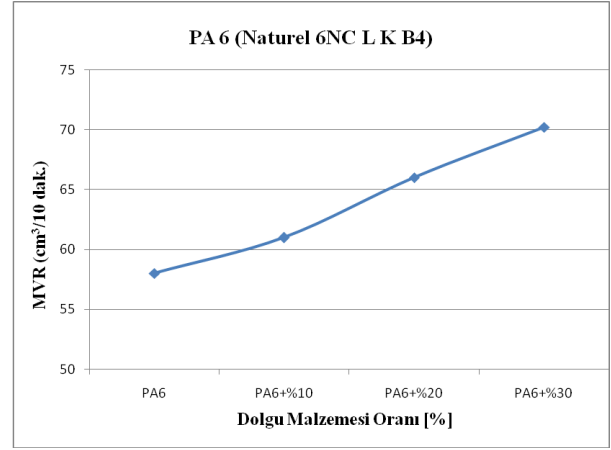
Her bir termoplastik ve hidrolize edilmiş toz boya atıklarından oluşan karışımlar için aynı işlemler gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar grafikler ile verilmiştir. Poliamid 6 için üretici firma kataloğunda hacimsel akış indeks (MVR) değeri belirtildiğinden bu termoplastik için hacimsel eriyik akış indeksinin ve yoğunluğunun hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya miktarına bağlı olarak nasıl değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Polioksümetilen için ise içerdiği hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atıklarının artışına bağlı olarak kütleli eriyik akış indeksinin ve yoğunluğunun nasıl değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

3 Sonuçlar ve tartışmalar

Poliamid 6 ve polioksümetilen ile hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atıklarından oluşan karışımların akışkanlıkları ve

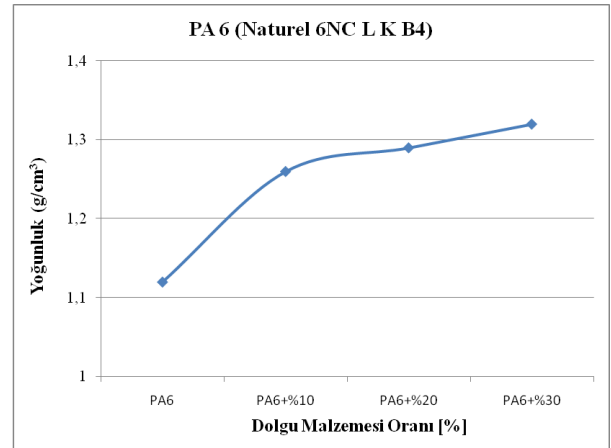
yoğunluklarına ait analiz sonuçları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

Şekil 3 ve 4'te hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarının artışına bağlı olarak poliamid 6'nın hacimsel eriyik akış indeksinin (MVR) ve yoğunluğunun (ρ) değişimleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre dolgu malzemesi içermeyen saf haldeki poliamid 6'nın MVR değeri yaklaşık olarak 56.5 cm³/10 dk. iken, içerisine %30 oranında hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atığı karıştırılmış poliamid 6'nın MVR değeri artarak 70.50 cm³/10 dk. değerine ulaşmıştır. Bu artışın önemli bir nedeni, deneyin yapıldığı sıcaklığın (190 °C) elektrostatik toz boyaların fırınlanma sıcaklıkları aralığında (130 °C ila 240 °C) olması ve bu sıcaklık değerlerinde toz boyaların düşük viskoz halde yüksek akışkanlığa sahip olmasıdır. Bir diğer nedeni ise hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atıklarının, poliamid zincirini oluşturan moleküllerinin bağ yapılarının zayıflatılarak birbirleri üzerinden daha kolay kaymalarına olanak sağlamasıdır.



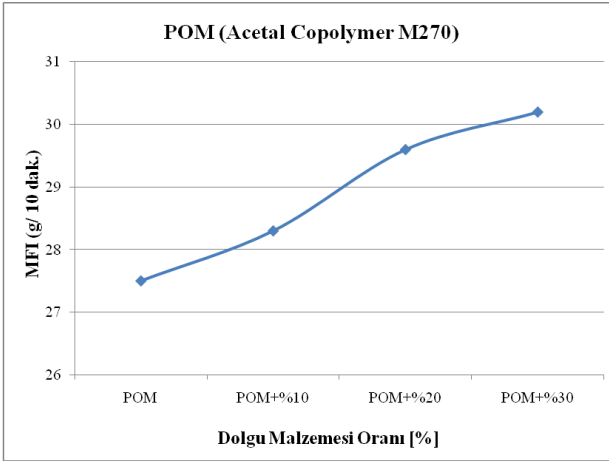
Şekil 3: Poliamid 6'nın hacimsel eriyik akış indeksinin hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak değişimi.

Benzer şekilde poliamid 6'nın yoğunluğunda da Şekil 4'te belirtildiği gibi artış meydana gelmiş ve hidrolize edilmiş toz boya miktarına bağlı olarak bu değer yaklaşık 1.12 g/cm³ten 1.33 g/cm³e çıkmıştır. Bunun nedeni de hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atıklarının yoğunluklarının poliamid 6'nın yoğunluğundan fazla olmasıdır (yaklaşık olarak 1.4 ila 1.5 g/cm³).

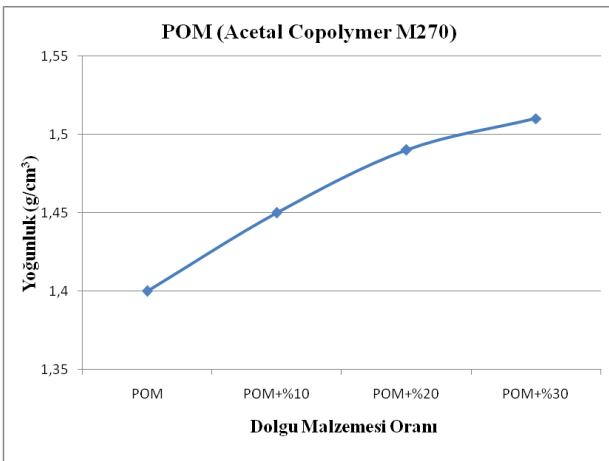


Şekil 4: Poliamid 6'nın yoğunluğunun hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak değişimi.

Yukarıda verilen Şekil 5 ve 6'da hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya miktarının artışına bağlı olarak polioksümetilenin kütesel akış indisi ile yoğunluğundaki değişimler görülmektedir. Poliamid 6'daki değişime benzer şekilde, burada da polioksümetilen içerisinde dolgu malzemesi oranının artması ile akışkanlığının ve yoğunluğunun arttığı anlaşılmaktadır. Dolgu içermeyen polioksümetilenin kütesel akış indeksi değeri 27.50 g/10 dk. ve yoğunluğu 1.40 g/cm³ iken bu değerler %30 oranında dolgu malzemesi içeren polioksümetilen karışımında 30.2 g/10 dk. ve 1.52 g/cm³ değerlerine ulaşmaktadır. Böylece malzemenin aynı sıcaklık ve basınç altında daha rahat aktığı ve daha yoğun bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Yine burada da deneyin gerçekleştirildiği sıcaklık toz boyaların fırınlanma sıcaklıklarına yakın olduğu için toz boyaların viskoziteleri azalmış ve bu da polioksümetilen karışımlarının akışkanlıklarına doğrudan etki ederek daha rahat akmalarına olanak sağlamıştır. Hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atıklarının yoğunluğu, polioksümetilenin yoğunluğundan fazla olduğu için oluşturulan karışımların yoğunlukları da atık miktarına bağlı olarak artış göstermiştir.



Şekil 5: Polioksümetilenin kütesel eriyik akış indisinin hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak değişimi.



Şekil 6: Polioksümetilenin yoğunluğunun hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak değişimi.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atıkları poliamid 6 ve polioksümetilende dolgu malzemesi olarak

kullanılmış ve karışımlar oluşturulmuştur. Ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında dolgu malzemesi içeren bu karışımların belirli sıcaklık ve basınç altındaki akışkanlıkları ve yoğunlukları incelenmiş ve bu şekilde artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak poliamid 6 ve polioksümetilenin eriyik akış indeksleri ile yoğunluklarının değişimleri grafiklerle verilmiştir. Kullanılan dolgu malzemesinin, deneylerin gerçekleştirildiği sıcaklıklarda yüksek akışkanlığa sahip olmasından dolayı ve tanecikli yapısı ile her iki termoplastiğin moleküller arası bağ yapısını zayıflatması nedeni ile artan dolgu malzemesi oranına bağlı olarak polioksümetilenin kütesel olarak ölçülen eriyik akış indeksi (MFI) ve poliamid 6'nın hacimsel eriyik akış indeksi (MVR) değerleri artmıştır. Yani artan dolgu malzemesi miktarına bağlı olarak her iki termoplastiğinde viskozitelerinin azaldığı ve daha akışkan hale geldikleri tespit edilmiştir. Bu sayede özellikle plastik enjeksiyonla kalıplama başta olmak üzere poliamid 6 ve polioksümetilenin akışkanlıklarının söz konusu olduğu üretim tekniklerinde hidrolize edilmiş elektrostatik toz boyalar dolgu malzemesi olarak takviye edilirse daha düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde aynı akışkanlıkları elde etmek mümkün olabilecektir. Bu şekilde özellikle seri üretimin olduğu sistemlerde ciddi anlamda enerji tasarrufu sağlanabilecektir. Aynı zamanda kullanılan dolgu malzemesinin yoğunluğunun poliamid 6 ve polioksümetilenin yoğunluklarından fazla olmasından dolayı artan dolgu malzemesi miktarı ile karışımların yoğunluklarında artmıştır.

5 Teşekkürler

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik araştırma kurumunun desteklemiş olduğu 213M461 no.lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

6 Kaynaklar

- [1] Kismet Y. *Entwicklung eines Verfahrens für die Verwertung von Pulverlackrecyclaten*. 1st ed. Berlin, Germany, Universitätsverlag der Technische Universität Berlin, 2012.
- [2] Ravve A. *Principles of Polymer Chemistry*. 2nd ed. New York, USA, Springer, 2000.
- [3] Kaiser W. *Polyolefine, Kunststoffchemie für Ingenieure*. 3rd ed. Munich, Germany, Carl Hanser Verlag, 2011.
- [4] Gysau D. *Füllstoffe*. 2nd ed. Hannover, Germany, Vincentz Network, 2006.
- [5] Michaeli W. *Verarbeitungsverfahren für die Kunststoffe, Einführung in die Kunststoffverarbeitung*. 5th ed. Vienna, Austria, Vincentz Network, 2006.
- [6] Nannetti P. *Lack für Einsteiger*. 4th ed. Hannover, Germany, Vincentz Network, 2009.
- [7] Goldschmidt A, Streitberger H. *BASF-Handbuch Lackiertechnik*. 2nd ed. Hannover, Germany, Vincentz Verlag, 2002.
- [8] Nanetti P. *Lack von A bis Z*. 1st ed. Hannover, Germany, Vincentz Network, 2004.
- [9] Luo X, Li J, Feng J, Xie S, Lin X. "Evaluation of distillers grains as fillers for low density polyethylene (mechanical, reological and thermal characterization)". *Composites Science and Technology*, 89(1), 175-179, 2013.
- [10] Petermann M. *Herstellung von Pulverlacken durch Versprühen gashaltiger Schmelzen*. 1st ed. Nürnberg, Germany, Universitätsverlag von TF Nürnberg, 1999.
- [11] Stoeckert K, Woebcken W, *Kunststoffen, Kunststoff-Lexikon*. 9th ed. Vienna, Austria, Carl-Hanser Verlag, 1998.

- [12] Pietschmann J. *Industrielle Pulverbeschichtung*. 4th ed. Wiesbaden, Germany, View&Sohn Verlag/GWV, 2003.
- [13] Eyerer P, Elsner P, Hirth T. *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften*. 6th ed. Berlin, Germany, Springer-Verlag, 2005.
- [14] Schwarz O, Ebeling FW, Hubert H, Schirber H, Schlör N. *Kunststoffkunde (Aufbau, Eigenschaften, Verarbeitung, Anwendung der Thermoplaste, Duropaste, Elastomere)*. 7th ed. Würzburg, Germany, Vogel Verlag, 2002.
- [15] Hellerich W, Harsch G, Haenle S. *Werkstoffführer Kunststoffe*. 8th ed. Vienna, Austria, Carl-Hanser Verlag, 2001.
- [16] Misra GS. *Introductory Polymer Chemistry*, 1st ed. New Delhi, India, New Age International, 1993.
- [17] Güldeş A. "Plastik malzemesinin akış özelliklerinin basınç ve sıcaklık değişimine bağlı olarak belirlenmesi". *e-Journal of New World Sciences Academy*, 5(1), 28-39, 2010.
- [18] Ramkumar PL, Kulkarni DM, Abhijit VVR, Cherukumadi A. "Investigation of melt flow index and impact strength of foamed LLDPE for rotational moulding process". *Procedia Material Science*, 6, 361-367, 2014.
- [19] Guerreiro SDC, Joao IM, Real LEP. "Evaluation of the influence of testing parameters on the melt flow index of thermoplastics". *Polymer Testing*, 31(8), 1026-1030, 2012.