



**IJEASED****INTERNATIONAL JOURNAL OF EASTERN ANATOLIA
SCIENCE ENGINEERING AND DESIGN***Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*

ISSN: 2667-8764 , 4(1), 15-31, 2022

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijeased>Araştırma Makalesi / *Research Article*Doi: [10.47898/ijeased.1018220](https://doi.org/10.47898/ijeased.1018220)

Geri Dönüştürülmüş Polipropilen Nonwoven Teleflerin Spunbond Kumaşlarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Utkay DÖNMEZ ^{1*}, Duhan Soyşan KEBELİ ²¹ Microfiber Gıda Tekstil San ve Tic. Ltd. Şti., OSB 26 Nolu Cad., No:15/1 Merkez, 79000, Kilis, Türkiye.² Teknomelt Arge Merkezi, Teknomelt T.M. San ve Tic. A.Ş., OSB 1.Cad, No:12, Onikişubat, 46100 K.Maraş, Türkiye.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
*Sorumlu Yazar / Corresponding author : utilers@gmail.com  https://orcid.org/0000-0003-3847-4773 , U. Dönmez  https://orcid.org/0000-0001-5347-1314 , D.S. Kebeli	Geliş Tarihi / Received Date :	03.11.2021
	Revizyon Tarihi / Revision Date :	10.01.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date :	19.01.2022
	Yayın Tarihi / Published Date :	15.07.2022
Alıntı / Cite : Dönmez, U., Soyşan Kebeli, D. (2022). Geri Dönüştürülmüş Polipropilen Nonwoven Teleflerin Spunbond Kumaşlarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi , 4(1), 15-31.		

Özet

Hızla kullanım alanları ve kullanım miktarları artan polipropilen (PP) esaslı nonwoven (spunbond ve meltblown) kumaş teleflerinin, granül haline dönüştürülerek orijinal PP hammadde ile belirli oranlarda karıştırılarak yeniden üretime dâhil edilmesi sonucu elde edilen spunbond kumaşın mukavemet değerleri incelenmiştir. Öncelikle kırpıntı haline getirilen Spunbond-Meltblown kumaş telefleri, belirli oranlarda karıştırılarak granül elde edilmiştir. Recycle-PP1 telefinin eriyik akış indeksi (MFI) değeri 38 MFI olarak, Recycle-PP5 %50-%50 Spunbond-Meltblown telefi karışımının eriyik akış indeksi (MFI) değeri ise 137 MFI olarak tespit edilmiştir. Recycle-PP1 granülü, %0-5 oranlarında orijinal hammadde ile karıştırılarak Spunbond kumaş elde edilmiştir. Kalite problemi görülmeden ve en verimli şekilde çalışılan en yüksek oran, %5 olarak tespit edilmiştir. Daha fazla miktarda geri dönüştürülmüş granül kullanımı kumaş hatalarına sebebiyet vermiştir. %5 katkı olarak üretilen spunbond kumaşların mukavemeti, hiç katkılanmayan kumaşın mukavemet değerine göre yaklaşık %24,5 oranında düştüğü görülmüştür. Çalışma ile birlikte, tespit edilen mukavemet değerlerine göre uygun sektörlere, geri dönüştürülmüş granül katkılı spunbond kumaşların kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen, Nonwoven, Spunbond, Geri Dönüşüm, Mukavemet Değerindeki Değişim.

Investigation of Usability of Recycled Polypropylene Nonwoven Waste in Spunbond Fabrics

Abstract

Some properties of the spunbond fabric, which is obtained as a result of polypropylene (PP) based nonwoven (spunbond and meltblown) fabric wastes, whose usage areas and usage amounts are increasing rapidly, are converted into granules and mixed with the original PP raw material at certain rates and included in the production, have been examined. First of all, Spunbond-Meltblown fabric wastes, which were turned into scraps, were mixed in certain proportions to obtain granules. The melt flow index value of Recycle-PP1 waste was determined as 38 MFI, and the melt flow index value of Recycle-PP5 50%-50% Spunbond-Meltblown waste mixture was determined as 137 MFI. Spunbond fabric was obtained by mixing 0-5% Recycle-PP1 granule with the original raw material. The highest rate of working without any quality problem and in the most efficient way was determined as 5%. The use of larger amounts of recycled granules caused fabric defects. It was observed that the strength of spunbond fabrics produced with 5% doping decreased by approximately 24.5% compared to the strength value of the fabric that was not added at all. With the study, the usability of recycled granule-added spunbond fabrics for suitable sectors according to the determined strength values has been revealed.

Keywords: *Polypropylene, Nonwoven, Spunbond, Recycling, Change of Strength Value.*

1. Giriş

Polipropilen, kolay temin edilmesi ve diğer polimerlere göre barındırdığı maliyet avantajları ile plastik ve teknik tekstil sektöründe kullanımı hızla artmaktadır. Özellikle Covid19 pandemisi ile birlikte tek kullanımlık ürünlerin kullanımı müthiş bir artış göstermiştir (Chua ve ark., 2020; Pandit ve ark., 2021). Tek kullanımlık ürünlerden kaşık, tabak, bardak gibi plastik sektörü ürünlerin dışında, medikal tekstillerin imalatında kullanılan spunbond ve meltblown kumaşlar tarihinde görülmemiş bir tüketime şahit olmuştur (Montagna ve ark., 2013).

Tek kullanımlık ürünlerin kullanımının bir bakıma zorunluluk olduğu bu dönemde iki problem ortaya çıkmıştır. Bu ürünlerin oluşturduğu atıklar ve bunların imal edilmesi için gerekli hammaddenin temininde yaşanan zorluklar. Ülkemizde 2020 tarihi itibarıyla Petkim firması dışında spunbond kumaşlarda kullanılacak PP üretimi gerçekleşmemektedir. Nonwoven üreticileri ihtiyaçlarının çok büyük oranını ithal ederek karşılamaktadır. Nonwoven kumaşların telefleri iki şekilde kullanılabilir. Bunlardan ilki termoplastik PP polimerinden imal edilen nonwoven kumaşların, plastik sektöründe yeniden işlenebilmesidir. Diğeri ise sadece spunbond kumaşların, spunbond kumaş üretim makinesinde geri besleme şeklinde çok düşük oranda beslenebilmesidir.

Pandemi ile birlikte PP polimer kullanan başta plastik ve nonwoven sektörü bazı sorunlar yaşamıştır. İlk yaşanan sorun pandemideki yüksek arza karşı hammadde bulunamaması, diğer yaşanan sorun ise yine pandemi kaynaklı konteyner krizinde hammaddenin kıtalar arası sevk edilememesi ve üretim zincirine katılamamasıdır. Bu tedarik problemleri sonucunda PP polimer ve

bu polimerden üretilen ürünlerin fiyatları tavan yapmıştır. Bu dönemde sorunu çözemeyen firmalar kapasitesinin çok altında çalışmak zorunda kalmış, hem ekonomik hem de istihdam sorunları yaşanmıştır.

Nonwoven üretiminde çok hızlı ve kapasiteli üretime sahip olan spunbond kumaşların proses şartları çok zordur (Gramsch ve ark., 2020; Lim, 2010). Ekstruderde eritilen termoplastik PP, pompa vesilesi ile sabit basınç ile kalıba basılması ile binlerce filament oluşturulma esasına dayanmaktadır (Dönmez ve ark., 2019a; Fedorova, 2006). Sonrasında belirli bir debide soğuk hava verilmesi ve belt fanı arasındaki aerodinamik güç ile filamentlerin oriyante edilmesi ve uygulanan bu çekim işlemi ile birlikte filamentlerin inceltirerek üst üste yığılması çok hassas bir süreçtir (Lim, 2010; Nanjundappa ve Bhat, 2005). Bu aşamada beltin hava geçirgenliğinden, quench (filament fan) eleklerindeki gözeneklerin sıklığı/büyüklüğüne, kalıp ile belt arasındaki kule ve kanalların mesafelerinden mikron boyuttaki kalıp deliklerinin büyüklüğü ve sayısına kadar birçok parametre ile müthiş bir denge içerisinde üretim gerçekleştirilmektedir (Geus, 2016; Chua ve ark., 2020; Gramsch ve ark., 2020). Bahsi geçen termodinamik, aerodinamik ve mekanik işlemlerden en başarılı şekilde filament oluşturmak için kullanılan PP polimerin eriyik akış indeksi (MFI) değeri ve polimerin molekül ağırlığı dağılımı önem arz etmektedir. Genel olarak şöyle tanımlama yapılabilir; molekül ağırlık dağılımını gösteren çan eğrisinin tabanı ne kadar dar ise termal olarak işlenebilmesi bir o kadar kolaydır. Eğer çan eğrisinin tabanı çok geniş ise molekül ağırlık dağılımı düşük/dar olan polimerlerde, termal işlem sırasında bozunma, yanma ve hatta karbonlaşma meydana gelerek filtrenin ve kalıbın tıkanma riskini yükseltecektir. Bu durumda çok sık filtre ve kalıp değişimi gerçekleştirilebilirken aynı zamanda filamentlerde kopuşların gerçekleşmesi ile birlikte kumaşa kalite problemleri oluşacaktır. Spunbond kumaş üretiminde, saf (katkısız) hammaddenin kullanılması ve ne kadar kenar besleme, ne kadar katkı maddesi ya da ne kadar kullanılmış (geri dönüştürülmüş) PP granül beslenmiş olması üretimin kaliteli ve sürekliliği açısından çok önemlidir. Şekil 1’de tek kafalı (beam) spunbond üretim makinesi görülmektedir.



Şekil 1. Spunbond Kumaş Üretim Makinesi

Yukarıda sayılan sebeplerden dolayı nonwoven kumaşların geri dönüştürülüp yeniden üretime dahil edilmesi için araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Bertin and Robin, 2002; Gregor-Svetec ve ark., 2009; Montagna ve ark., 2013; Şengül ve Şengül, 2016) Genellikle laboratuvar şartlarında ve plastik sektöründe gerçekleştirilen çalışmaların dışında spunbond üretim hattında geri dönüştürülmüş PP kullanımına dair çok az çalışma bulunmaktadır (Ahmedzade ve ark., 2016; Erem ve Gökkurt, 2021; Öztürk, 2005; Strapasson ve ark., 2005; Şentürk, 2014)

Bu çalışmada spunbond ve meltblown kumaşlar belirli oranlar ile karıştırılarak yeniden granül elde edilmeye çalışılmıştır. En başarılı olan örneklem ise yine belirlenen oranlarda spunbond üretim hattına dâhil edilerek spunbond kumaşın mukavemet değerlerindeki değişim takip edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Geri dönüştürülmek üzere 1000 MFI PP ile üretilmiş meltblown kumaşlar ile 35 MFI PP ile üretilmiş spunbond kumaşlar, kırpma/kırpıntı makinesinde, ekstruder makinesinde işlenebilecek küçük parçalara bölünmüştür. Kırpıntı kumaşlar Teknomelt Teknik Mensucat San. ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Geri dönüştürülen granüller ile 25 MFI PP orijinal hammadde, Microfiber Gıda Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasında spunbond kumaşın elde için kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Polipropilen Polimerinin Geri Dönüştürülmesi

Geri dönüşüm sistemleri, ekstruder, filtre, kalıp, koagülasyon banyosu ve şekil verici şeklinde 5 ana ekipmandan oluşur (Gregor-Svetec ve ark., 2009; Erem ve Gökkurt, 2021). Ekstruder ile eritme ve karıştırma, filtre ile temizlik ve karıştırma, kalıp ile form verme ve filament oluşturma, koagülasyon banyosu ile soğutma ve çekim işlemleri ve son olarak da bıçak ile granül haline getirme işlemleri gerçekleşir (Şentürk, 2014; Tzoganakis, 1988). Üretimdeki en önemli aşamalar filtreleme ve olgunlaştırma işlemleridir. Tabii önem verilmesi gereken bir diğer husus ise girdi olarak seçilen hammaddenin saflığıdır (Montagna ve ark., 2013). Geri dönüştürülmek istenen kumaşların 25 MFI, 35 MFI spunbond (Geus, 2016) ya da 800 MFI, 1000 MFI, 1200 MFI veya da 1500 MFI meltblown olması ve bunların karışım miktarları çok önem arz etmektedir.

Çalışmada 35 MFI polimerlerden üretilen Spunbond kenar telefleri ile 1000 MFI polimerden üretilen meltblown kenar telefleri kullanılmıştır. 25 MFI ile 35 MFI teleflerin performanslarını karşılaştırmak amacıyla %100 oranda 25 MFI telef kullanılmıştır. Söz konusu telefler Tablo 1’de verilen oranlarda karıştırılmıştır.

Tablo 1. Spunbond ve meltblown karışım oranları

Numune Kodları	25 MFI SS Oranı	35 MFI SS Oranı	1000 MFI MB Oranı
Recycle-PP1	% 100	-	-
Recycle-PP2	-	% 100	-
Recycle-PP3	-	% 90	% 10
Recycle-PP4	-	% 75	% 25
Recycle-PP5	-	% 50	% 50
Recycle-PP6	-	% 25	% 75
Recycle-PP7	-	-	% 100

Ger i dönüşüm işleminde seçilen hammaddenin (teleflerin) saflığı ile kullanılacak filtre (mesh) birbiri ile uyumlu olmalıdır. Daha akışkan olan meltblown ağırlıklı ger i dönüşüm işlemleri için gözenek boyutu daha küçük (sıklığı daha yüksek) filtre kullanılmalıdır. Spunbond ağırlıklı işlemlerde ise daha geniş gözenekli filtreler kullanılmalıdır (Bertin and Robin, 2002; Montagna ve ark., 2013; Rosa ve ark., 2009). Bu çalışmada, 3 katmanlı 30*150*30 gözeneklilik (mesh) değeri olan filtre kullanılmış ve karışımlardan granül elde edilecek şekilde ekstruder sıcaklıkları ayarlanmıştır. Üretim detayları Tablo 2’de verilmiştir.

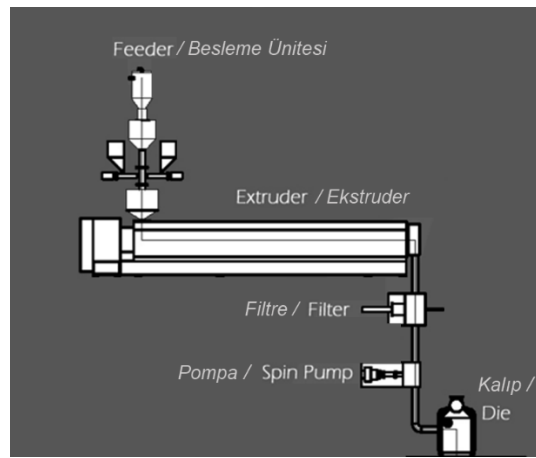
Tablo 2. Ger i dönüşüm ekstruder bölgesel sıcaklıkları

Malzeme Tipi	1.Bölge °C	2.Bölge °C	3.Bölge °C	4.Bölge °C	5.Bölge °C	6.Bölge °C	7.Bölge °C
Spunbond (S)	170	175	180	180	185	195	190
Karışım (S+M)	190	195	195	200	200	205	205
Meltblown (M)	190	195	200	200	210	220	215

Saflık konusunda da herhangi bir katkı (hidrofilik, antistatik, FR, stabilizatörler, süper hidrofob, UV gibi) maddesi eklenmiş nonwoven kumaşlar, çalışma parametrelerini olumsuz etkileyebilmekte, hatta filament oluşumunu engelleyebilmektedir. Bu sebepten teleflerin sınıflandırma yapılarak biriktirilmesi ve bu tür karışımların kullanımını kontrollü şekilde yapılması gerekmektedir. Çalışmada spunbond kumaş üretimi dışında kullanılan mavi ve beyaz boya dışında, hiçbir katkı maddesi kullanılmamıştır.

2.2.2. Polipropilen Spunbond Üretim Tekniği

Spunbond kumaş üretimi kolay olduğu kadar hassas bir üretim tekniğidir. Erime sıcaklığı 160 °C olan PP polimer, ekstruder, filtre, iletim borusu ve kalıp (beam-die) güzergahı (Şekil 2) boyunca stabil (dengeli) sıcaklıkta bozunmadan ilerlemesi gerekmektedir (Aipma, 2009; Chua ve ark., 2020). Bu yüzden sıcaklıklar bu şartlar altında ayarlanmalıdır. Başlangıç sıcaklığı 185-195 °C sıcaklıkta başlayıp 230-250 °C sıcaklıkta bitirilmelidir (Gramsch ve ark., 2020; Nanjundappa ve Bhat, 2005).

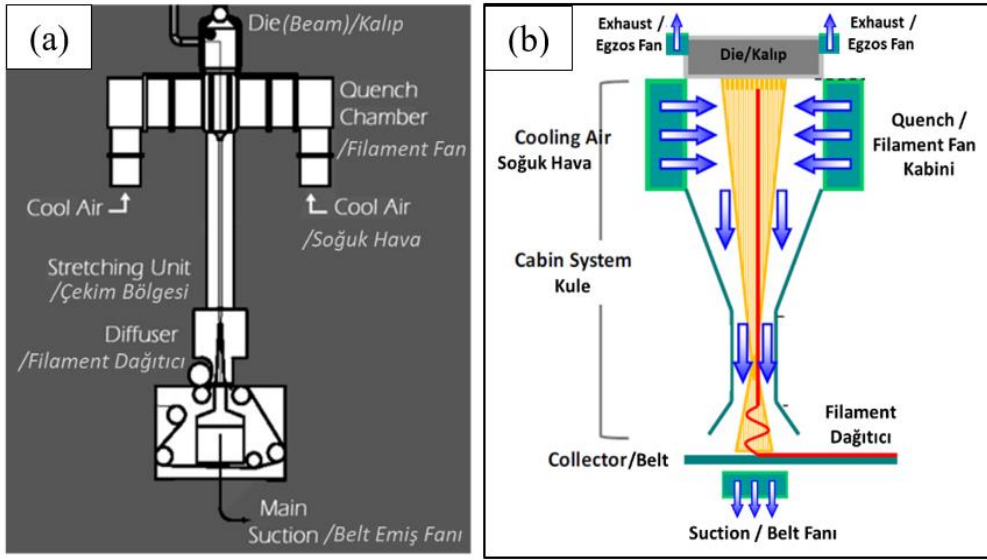


Şekil 2. Polimere ısı verilen ekipmanlar

Polimer eriği, kalıptan çıktıktan sonra toplayıcıya (belt) düşene kadar (Şekil 3a) filament fanlardan gelen soğuk havanın sıcaklığı ve debisi (enerji miktarı) ile birlikte olgunlaşmaktadır. Polimerin belte varış süresini 3 ana parametre belirlemektedir. İlki filament fan hava debisi, ikincisi suction (belt emiş fanı) devri ve üçüncüsü ise egzoz fan devridir (Chua ve ark., 2020; Kanai ve ark., 2017; Lim, 2010). Bu üç etkili kuvvet (Şekil 3b) havanın akış hızına etki etmektedir. Filament fan, eleklerden sabit ve eşit havanın beslenmesini sağlar ki filamentin sağlıklı olgunlaşması için, bütün polimer eriyiklerine eşit/aynı miktarda etki etmelidir. Söz konusu elekler kulenin 1. bölgesinde ve kalıbın hemen sonrasında yer almaktadır. Belt emiş fanı, merkezlenmiş şekilde kulenin altında yer almaktadır. Egzoz fan ise kalıba çok yakın kanallardan emiş sağlamaktadır ve polimeri erimesi ile ortaya çıkan yağlı buharların dışarı atılmasını sağlar (Chen ve ark., 2019; Dönmez ve ark., 2019b; Gramsch ve ark., 2020).

Kalıptan çıkan erimiş polimer, soğuk hava ile karşılaştığı andan itibaren dış çeperden içe doğru olgunlaşmaya/katılaşmaya başlar (Kanai ve ark., 2017; Russell, 2007). Oluşan filament, belte ulaşana kadar bu 3 kuvvetin oluşturduğu aerodinamik etkiyle çekime uğramaktadır (Rodraks and

Tharmaphornphilas, 2013). Filament fanın oluşturduğu pozitif yönlü hava debisi ile belt fanının oluşturduğu pozitif yönlü hava debisi, yer çekiminin oluşturduğu pozitif yöndeki kuvvet ile birlikte egzoz fanın oluşturduğu negatif yönlü havanın debisi filamentin kopuş oluşturmada yüzey oluşturma işlemini gerçekleştirmesi gerekmektedir (Chen ve ark., 2019; Geus, 2016; Lim, 2010). Kopuşsuz üretim gerçekleşen çekim sisteminde, belt fanı devri sabit tutulup filament fan devri arttırıldığında çekim miktarı azalacaktır. Benzer şekilde filament fan devri sabit iken belt fan devri arttırıldığında filamentte uygulanan çekim artacaktır. Bu denklem içerisinde egzoz fan devri ve yer çekimi etkisi var olmakla birlikte çok düşük bir etkiye sahip olmaları sebebiyle filamentlerin kopuş olmadan üretilmesi için düşük hassasiyet ile ayarlanmaktadır.



Şekil 3. Filament çekim ünitesi (a), Polimere etki eden kuvvetler (b). (Kanai ve ark., 2017)

Çekim sırasında bahsedilen kuvvetlerin ayarlanmasında temel unsur filamentin kopmadan mümkün olduğunca inceltilmesidir. Bu kuvvetlere dayanabilmek için ise polimerin molekül zincir uzunluğunun yeterli seviyede olması gerekmektedir (Aumnate ve ark., 2019). Spunbond için bu ifade iki değer ile takip edilebilir. İlki, PP polimerin 25 MFI ile 35 MFI arasındaki farktır. 35 MFI polimer 25 MFI polimerlere göre daha düşük sıcaklık ve basınçlarda çalışabilir ve nihai ürün çok daha yumuşak tuşeli elde edilebilir (Chen ve ark., 2019; Geus, 2016). Bir diğeri ise, polimeri (25 yada 35 MFI olduğu önemli değil) oluşturan polimer zincir uzunluğunun polimer içeriğindeki dağılımıdır (Aumnate ve ark., 2019). Eğer bu dağılım ne kadar düşük (dar) ise polimeri işlemek, parametreleri ayarlamak o kadar kolaydır. Daha sorunsuz üretimler gerçekleştirilebilir. Ancak dağılım geniş ise termal ve aerodinamik kuvvetlerde daha geniş bir aralıkta tepki verecektir. Ancak bu geniş aralık bazı polimerleri olgunlaştırmak için yeterli iken bazı polimerler için aşırı fazla

2.2.3. Testler ve Analizler

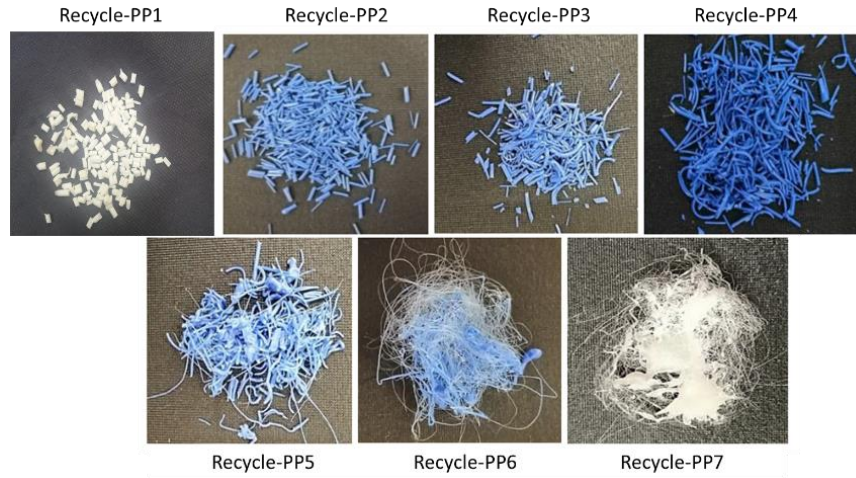
Nonwoven teleflerinden elde edilen geri dönüştürülmüş granüller, erime kütle akış hızı (MFR) ve hacim akış hızının belirlenmesi (MVR) için ISO 1133 standardına göre test edilecektir. MFI/MFR testi kısaca, belirli sıcaklık ve yük altında standart nozul içerisinden ergimiş plastiğin 10 dakikada ne kadar (g/10 dk) aktığının bir ölçüsüdür. Her polimer için uygulanan sıcaklık ve ağırlıklar farklı olup, polimerin tanımlandığı standartlarda verilmektedir. PP polimeri standardında sıcaklık 230 °C, ağırlık ise 2,16 kg olarak belirtilmiştir. Testler Zwick Roell Mflow cihazında gerçekleştirilmiştir.

Geri dönüşüm polimerler ile üretilen kumaşların mukavemet cihazları ise Zwick Roell marka universal ZwickiLine 0,5 kN model test cihazı kullanılmıştır. Kopma mukavemet ve kopma anında uzama değerlerinin tespit edildiği test cihazında, çalışma için hem makine (MD) hem de kumaş eni (CD) yönleri boyunca testler Microfiber Kalite Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Geri Dönüştürülmüş PP Granüllerin Eriyik Akış İndeksinin (MFI) Belirlenmesi

Önceki bölümde belirtilen sıcaklık değerlerinde çalışılan geri dönüşüm teleflerden granül (Şekil 5) elde edilmiş olup, MFI testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Eriyik akış indeksi (MFI) değeri 1000 MFI olan polimer kullanılması ile ısı işleme maruz kalan polimerin molekül zincirleri (zincir uzunluğu kısalmakta) kırılmaktadır. Meltblown kumaşların geri dönüştürülmesi/granül hale getirilmesinde tekrardan ısı bozunmaya maruz kalmakta ve polimerin molekül zincirlerinin daha fazla kırılmasına sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı, %100 meltblown kumaşlar, Şekil 5'te görüldüğü üzere (Recycle-PP7) geri dönüştürülemez. Bu sebepten dolayı ölçümler gerçekleştirilememiştir.

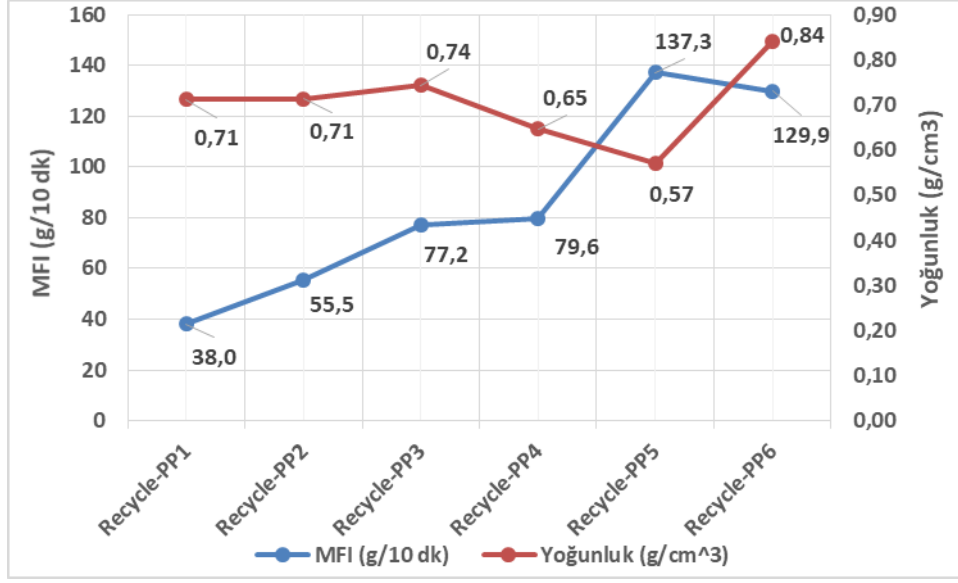


Şekil 5. Geri dönüştürülmüş PP granül numuneleri

Tablo 4. Geri dönüştürülmüş granüllerin MFI test sonuçları

Numunenler	Yoğunluk (g/cm ³)	Ort.	Sta. Sap.	MFI (g/10 dk)	Ort.	Sta. Sap.	MVR (cm ³ /10 dk)	Ort.	Sta. Sap.
Recycle-PP1	0,71			35			49,16		
	0,74	0,71	0,027	39	38	2,64	56,93	53,4	3,94
	0,69			40			54,20		
Recycle-PP2	0,73			57			77,53		
	0,70	0,71	0,015	55	55,5	0,92	76,86	77,3	0,57
	0,71			55			77,90		
Recycle-PP3	0,74			77			103,4		
	0,75	0,74	0,006	78	77,2	0,40	103,0	103,2	0,49
	0,74			77			102,9		
Recycle-PP4	0,68			80			117,11		
	0,61	0,65	0,035	80	79,6	0,45	129,63	124	6,31
	0,65			79			125,21		
Recycle-PP5	0,59			138			238,91		
	0,57	0,57	0,02	136	137,3	0,81	249,53	239,4	9,80
	0,55			138			229,95		
Recycle-PP6	0,59			130			221,98		
	0,85	0,84	0,245	129	129,9	0,51	169,87	170,6	50,9
	1,08			130			120,14		
Recycle-PP7	-	-	-	-	-	-	-	-	-

MFI test sonucunda elde edilen verilerden ortalama MFI değerleri ve yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 6'da verilmiştir. Bilindiği üzere PP polimerin yoğunluk değeri 0,91 g/cm³ olup (Montagna, 2013; Tzoganakis ve ark., 1988), yapılan ölçümlerde bu değer altında tespit edilmiştir. Bu farkın sebebi granül oluşumu sırasında granüllerin içerisine havanın hapsolmesinden kaynaklanmaktadır. Bu istenmeyen durum ise kullanılan filtrenin sıklığının uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Daha sık dokunmuş daha düşük gözenekli filtre seçilmesi önerilmektedir.



şekil 6. Ger i dönüştürülmüş polimerlerin MFI ve yoğunluk değerleri

Verilerden anlaşıldığı üzere, karışım içeriğindeki meltblown miktarı arttıka MFI değerinin ve doğal olarak da akışkanlığın arttığı görölmektedir. Recycle-PP7 numunesinde bu trend bozulmuştur, sebebi ise yüksek akışkanlığı sahip meltblown hammaddeler, kumaş olup tekrardan ekstrude edildiklerinde form verilemeyecek kadar akışkan olmaktadır.

Bir diğer tespit edilen durum ise, 25 MFI ile 35 MFI polimerden elde edilen spunbond teleflerinden üretilen ger i dönüştürülmüş granüllerin MFI değerleri arasındaki bağıntıdır. 25 MFI spunbond teleflerden elde edilen granüller 38 MFI olarak, 35 MFI spunbond teleflerden elde edilen granüller 55,5 MFI olmasındır. MFI değeri yüksek olan polimerin ger i dönüştürülmesi ya da bir kez daha ekstrude edilmesi ile MFI değerinin daha da arttığı görölmüştür. Sö z konusu değişen MFI 25 MFI için %52 iken, 35 MFI için %58 olarak tespit edilmiştir. Bu durum, PP polimerinin MFI değer i ne kadar yüksek ise ger i dönüştürülmesi de bir o kadar zorlaşmakta olduğunu göstermektedir.

3.2. Üretilen Spunbond Kumaşların Mukavemet Değerlerinin Tespit Edilmesi

Çalışmanın bu kısmında 25 MFI teleften elde edilen ve 38 MFI olarak tespit edilen granülün orijinal hammaddede belirlenmiş oranlarda eklenerek spunbond kumaş üretimi ger çekleştirilmiştir. Elde edilen kumaşlara ait gramaj ve kalınlık değerlerine ait test sonuçları Tablo-5'te verilmiştir.

Tablo 5. Spunbond kumaşların gramaj ve kalınlık değerleri

Numune Kodları	Granül Oranı (%)	Gramaj (g/m ²)	Sta. Sap.	Kalınlık (mm)	Sta. Sap.
Rec-PP1-G0	0%	29,7	1,3	0,27	0,011
Rec-PP1-G1	1%	29,8	0,8	0,26	0,015
Rec-PP1-G2	2%	30,0	1,1	0,26	0,011
Rec-PP1-G3	3%	29,8	0,7	0,27	0,010
Rec-PP1-G4	4%	29,6	0,6	0,25	0,012
Rec-PP1-G5	5%	29,8	1,2	0,26	0,013

Numunelerin ortalama gramaj değerleri % 0,44 standart sapma değeri ile birbirlerine oldukça yakın değerlerde tespit edilmiştir. Bu sonuç spunbond makinesinde üretimi gerçekleştirilen proses parametrelerinden kalıp sıcaklık ayarlarının ne kadar doğru olduğunu göstermektedir. Unutulmamalıdır ki en önemli gözlemimiz üretimde damlama/eriyik hatalarını oluşturan filament kopuşlarının oluşmamasıdır. Geri dönüştürülmüş granül katkılı numunelerin gramajlarına ait standart sapmalarında düşük olması yine proses parametrelerinin sağlıklı seçildiğini gösteren bir diğer etkidir. Benzer sonucu ortalama kalınlık değerleri ve bunların standart sapma değerleri incelendiğinde de görülmektedir. Spunbond kumaşa eklenen granül miktarının kumaş mukavemetine etkisi, Tablo 6 da verilen değerler ile takip edilmiştir.

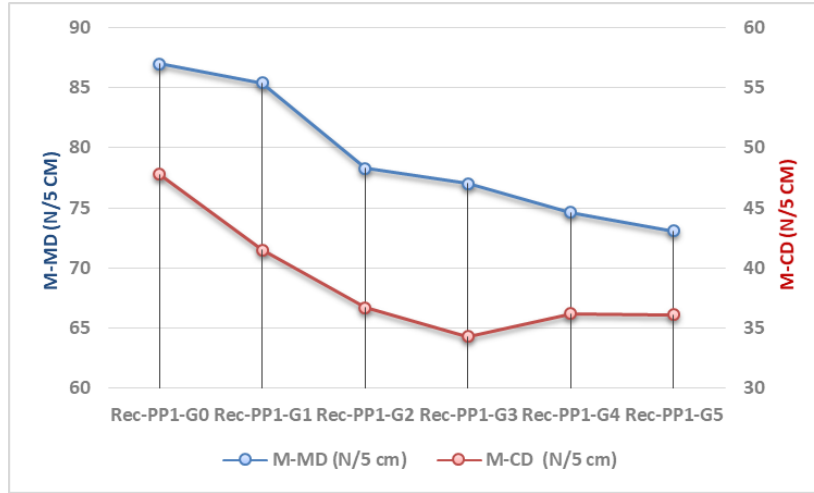
Tablo 6. Spunbond kumaşların mukavemet ve % uzama değerleri

Numune Kodları	M-MD (N/5 cm)	Standart Sapma	U-MD (%)	Standart Sapma	M-CD (N/5 cm)	Standart Sapma	U-CD (%)	Standart Sapma
Rec-PP1-G0	87	2,286	97,5	1,417	47,8	1,011	89,3	4,920
Rec-PP1-G1	85,4	2,058	90,3	6,021	41,5	1,722	99,3	13,794
Rec-PP1-G2	78,3	2,616	85	4,000	36,7	2,829	99,1	4,481
Rec-PP1-G3	77	0,725	83,6	6,592	34,3	2,428	91,2	9,070
Rec-PP1-G4	74,6	2,616	78,2	3,323	36,2	5,303	92,9	4,101
Rec-PP1-G5	73,1	5,262	73,5	3,717	36,1	1,079	90	10,440

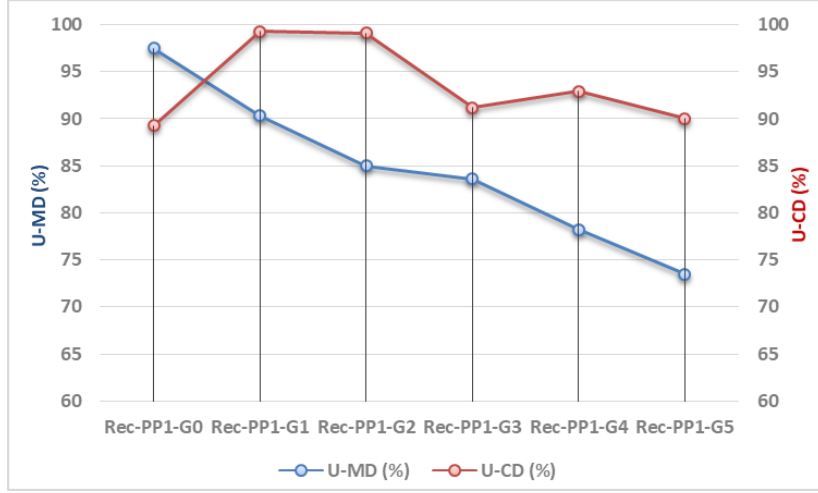
Spunbond kumaşların mukavemet değerleri, kumaşın kullanım yerine göre önem kazanmaktadır. Benzer şekilde %uzama değeri için örnek vermek gerekirse; laminasyon işlemlerinde %uzama değerinin oldukça düşük olması istenirken, elastik nonwoven alanlarında kullanılan Spunbond kumaşlarda %uzamanın oldukça fazla olması istenir.

Geri dönüştürülmüş PP granül katkılı Spunbond kumaşların hem makine yönü (MD) hem de kumaş eni (CD) yönü mukavemet değerleri, granül miktarının artması ile düşüş göstermiştir. Geri

dönüştürülmüş granül kullanılmadan üretilen Spunbond (Rec-PP1-G0) kumaş MD-M değeri 87 N/5 cm iken %5 katkılanmış Spunbond (Rec-PP-G5) kumaşta 73,1 N/5 cm olarak tespit edilmiştir. MD yönündeki mukavemet değeri kaybı %15,9 olarak tespit edilmiştir. Benzer durum CD-M değeri içinde aynı şekilde gerçekleşmiştir. CD yönündeki mukavemet değeri kaybı ise MD yönüne göre %24,5 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda 30 g/m² Spunbond kumaşlardan yüksek mukavemet beklentisi olan üretimlerde geri dönüştürülmüş granüllerin kullanımı önerilmemektedir. Örneğin yapı-inşaat tekstillerinde ve jeotekstillerde ve saf hammadde kullanılması önerilmektedir. Ayrıca hijyen-medikal sektöründe standartlar gereği saf hammadde kullanılması gerekmektedir. Ancak mukavemetin önemli olmadığı sektörler için üretilen kumaşlarda %5 oranına kadar geri dönüştürülmüş PP eklenebilir olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, mobilya sektöründe astar olarak kullanılan ürünlerde mukavemete ihtiyaç duyulmamaktadır. Tarım ve seracılık sektöründe meyve koruyucu ve meyve kasalarında meyve altlığı olarak kullanılan spunbond kumaşlarda mukavemete ihtiyaç duyulmamaktadır. 30 g/m² Spunbond kumaşların mukavemet değerlerinin geri dönüştürülmüş PP granül miktarı ile birlikte değişiminin gösterildiği grafik Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. 30 g/m² Spunbond kumaşların mukavemet değerleri



Şekil 8. 30 g/m² Spunbond kumaşların uzama değerleri

Şekil 8’de geri dönüştürülmüş PP granüllerin belirlenmiş oranlarda katkılanarak elde edilen spunbond kumaşların %-uzama değerlerindeki değişim takip edilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere MD yönü %-uzama değeri (U-MD) eklenen granül miktarı arttıkça düşüş eğilimi göstermiştir. Ancak aynı durum U-CD değeri için geçerli değildir. Katkılanan geri dönüştürülmüş PP granül miktarı arttıkça bir trend görülmemekte olup, inişli çıkışlı bir grafik çizmektedir. Üretimin sorunsuz devam edebilmesi için parametrelerin değişken olması U-CD değerinin inişli çıkışlı bir eğim göstermesi ile izah edilebilir. Şekil 7’de verilen M-CD grafiğinde de belirgin bir trend görülmemiştir. Proses parametrelerinden filament fan devri, belt emiş fanı devri değerleri filamentte kopuş oluşmayacak şekilde ayarlanması sebebiyle, kumaşın filament dağılımı etkileyecek şekilde söz konusu ayarlar değiştirilmiş olabilir. Sonuç olarak, uzama değerinin düşük olması ya da belirli bir değerde sabit kalması laminasyon gibi proseslerde kolaylık sağlayacaktır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Polipropilen polimeri özellikle Covid-19 pandemisi ile birlikte olağan dışı bir talep görmüş ve üreticiler bu talebi karşılayamamıştır. Ülkemizde yeteri kadar PP üretici firmanın olmayışı, hammadde tedarikinde büyük sorunlar oluşturmuştur. PP polimerin termoplastik yapısı, PP polimerden üretilen ürünlerin, teleflerin yeniden hammadde olarak kullanımına yönelik bu deneysel çalışmanın yapılmasını sağlamıştır.

Öncelikle Nonwoven kumaşlardan spunbond ve meltblown kumaşların belirli oranlarda karışımları ile elde edilebilecek ve üretimde kullanımı sorunsuz sağlayacak geri dönüştürülmüş PP

granülün elde edilmesi ilk aşamayı oluşturmuştur. Eriyik akış indeksi (MFI) ölçümleri sonucu %100 Spunbond kumaşı teleflerinden elde edilen granüllerin spunbond kumaşlara eklenerek üretimde deneme aşamalarına geçilmiştir.

%0-%5 arasında katkılanan geri dönüştürülmüş PP granüllerden elde edilen kumaşların mukavemet değerleri incelenmiştir. Katkılama oranı arttıkça makine (MD) yönü ve kumaş eni (CD) yönü mukavemet değerlerinin %15,6-%24,5 oranında düştüğü, makine yönü uzama değerinin de %24,5 oranında düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak kumaş eni uzama değerinde ise bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bunun sebebinin de sorunsuz bir şekilde kumaş elde edilebilmesi için girilen proses ayarlarından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Geri dönüştürülmüş PP granül miktarının %5 oranından daha fazla beslenememesinin sebebi ise kumaşta hataların oluşmasıdır. Bu üretimler uzun süreli (8 saatlik) üretimler olup, üretim boyunca hiçbir filament kopuşu olmamıştır. Ancak %6 ve üstü (%10 a kadar) denemelerde kalıp kirlenmesi ya da filamentin olgunlaşması sırasında oluşan kopuşlar neticesinde kumaşta hatalı bölgeler oluşmuştur. Bu sebepten dolayı mukavemet değerlerinin karşılaştırılmasına dâhil edilmemiştir. Ancak bu sınırlama tamamen makine tasarımı, kullanılan hammadde saflığı, proses parametreleri ayarlanırken ki ihtiyaç duyulan alt ve üst limitlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

Çalışma ile birlikte spunbond kumaş teleflerinin geri dönüştürülerek %5 oranında kullanılabilceği gösterilmiştir. Sonraki çalışmalarda meltblown oranının artırılarak elde edilen geri dönüştürülmüş granüllerin meltblown hattında kullanılabilirliği araştırılmalıdır.

Yazarların Katkısı

Çalışmada her iki yazar da eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma için emek ve zaman harcayan Microfiber Gıda Tekstil San ve Tic. Ltd. Şti. firması ve Teknomelt Arge Merkezi çalışanlarına teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

- Ahmedzade, P., Fainleib, A., Günay, T., & Grigoryeva, O., (2016). Geri dönüştürülmüş atık polipropilenin bitümlü bağlayıcılarda kullanılması. *Teknik Dergi*, 27(3), 7497-7513.
- Aipma, (2009). *Plastic process*. The All India Plastics Manufactures' Association. Retrieved from <http://www.aipma.net/info/plasticprocess.htm>
- Aumnate, C., Rudolph, N. and Sarmadi, M., (2019). Recycling of polypropylene/polyethylene blends: Effect of chain structure on the crystallization behaviors. *Polymers* 2019, 11, 1456; DOI:10.3390/polym11091456
- Bertin, S. and Robin, J.J., (2002). Study and characterization of virgin and recycled LDPE/PP blends”, *European Polymer Journal*, Vol: 38, pp: 2255-2264.
- Chen, K., Ghosal, A., Yarin, A.L., Pourdeyhimi, B., (2019). Modeling of spunbond formation process of polymer nonwovens, *Polymer* (2019), DOI: 10.1016/j.polymer.2019.121902
- Chua, M.H., Cheng, W., Goh, S.S., Kong, J., Li, B., Lim, J.Y.C., Mao, Lu., Wang, S., Xue, K., Yang, L., Ye, E., Zhang, K., Cheong, V.C.D., Tan, B.H., Li, Z., Tan, B.H., and Loh, X.J., (2020). Face masks in the new COVID-19 normal: materials, testing, and perspectives. *AAAS Research*, Volume 2020, Article ID 7286735, 40 pages, DOI: 10.34133/2020/7286735
- Dönmez U., Kaçmaz E., Kurt H.A., (2019b). Tek Kullanımlık Spunbond Kumaşlarda Hidrofilik Verimliliği Üzerine Bir Çalışma, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 514-521.
- Dönmez U., Kurt H.A., Atıcı A., (2019a). Nonwoven Kumaşların Kalender Yöntemiyle Birleştirilmesinde Kalender Sıcaklığı Ve Kumaş Katman Sayısının Kumaş Performansına Etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C*, 7(3): 765-775.
- Erem, E., Gökkurt, T., (2021). Çekirdeklendirici ajanlar, uyumlaştırıcılar ve antioksidanların geri dönüştürülmüş polipropilen üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14 (2021) 1-22.
- Fedorova, N., (2006). *Investigation of the utility of island-in-the-sea bicomponent*. Unpublished Doctoral Dissertation, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA.
- Geus, H.G., (2016). Developments in manufacturing techniques for technical nonwovens. Reifenhauer Reicofil GmbH & Co. KG, Spicher Straße, Troisdorf, Germany. *Advanced in Technical Nonwovens*.
- Gramsch, S., Sarishvili, A. and Schmeißer, A., (2020). Analysis of the fiber laydown quality in spunbond processes with simulation experiments evaluated by blocked neural networks. *Hindawi-Advances in Polymer Technology*, Volume 2020, Article ID 7648232, 11 pages, DOI: 10.1155/2020/7648232
- Gregor-Svetec, D., Tisler-Korljan, B., Leskovsek, M., & Sluga, F., (2009). Monofilaments produced by blending virgin with recycled polypropylene. *Textile and Apparel*, 19(3), 181-188.
- Kanai T., Kohri Y. And Takebe T., (2017). Theoretical analysis of the spunbond process and its applications for polypropylenes. *Adv Polym Technol*. 2017;1–10. DOI: 10.1002/adv.21866
- Lim, H., (2010). A review of spun bond process. *JTATM-Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, Vol 6 (3), Spring 2010.

- Montagna, L.S., Forte M.M.C. and Santana R.M.C., (2013). Induced degradation of polypropylene with an organic pro-degradant additive. *Journal of Materials Science and Engineering-A3* (2)(2013) 123-131
- Nanjundappa,R., Bhat G.S., (2005). Effect of processing conditions on the structure and properties of polypropylene spunbond fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 98, 2355–2364 (2005)
- Öztürk, O., (2005). *Geri dönüştürülmüş polietilenin ve polipropilenin tekrar kullanılabilirliğinin çekme deneyleri ile irdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Pandit, P., Maity, S., Singha, K., Annu, Uzun, M., Shekh, M., Ahmed, S., (2021). Potential biodegradable face mask to counter environmental impact of Covid-19. *Cleaner Engineering and Technology* 4 (2021) 100218.
- Rodraksa W. and Tharmmaphornphilas W., (2013). Appearance defective reduction in nonwoven process. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2013 Vol II, IMECS 2013*, 13-15 March 2013, Hong Kong
- Rosa, D.S., Grillo, D., Bardi, M.A.G., Calil, M.R., Guedes, C.G.F., Ramires, E.C., et al., (2009). Mechanical, thermal and morphological characterization of polypropylene/ biodegradable polyester blends with additives, *Polymer Testing* 28 (2009) 836-842.
- Russell, S.J., (2007). *Handbook of nonwovens*. Cambridge: Boca Raton, Fla.:CRC Press.
- Strapasson, R., Amico, S.C., Pereira, M.F.R. and Sydenstricker, T.H.D., (2005). Tensile and impact behaviour of polypropylene/low density polyethylene blends. *Polymer Testing*, Vol: 24, pp: 468-473.
- Şengül, Ü. ve Şengül, A.B., (2016). Türkiye’de emici hijyen ürün atıklarının potansiyeli ve çevre ekonomisi açısından değerlendirilmesi. *In International Congress Of Management Economy And Policy Proceedings Volume III* (p. 2788), *ICOMEPEP 2016*, 26-27 October, İstanbul, Turkey.
- Şentürk B., (2014). *Çekirdeklendirici katkıların geri dönüştürülmüş polipropilenin mekanik davranışına etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tzoganakis, C., Vlachopoulos, J. And Hamielec A.E., (1988). Production of controlled-rheology polypropylene resins by peroxide promoted degradation during extrusion. *Polymer Engineering And Science*, Mid-February, Vol. 28, No.3.