



Conference Article

Investigation of The Effects of Using Recycled Raw Materials on The Mechanical Properties of Pe Film Produced by Blown Film Extrusion Technology

Orçun Aslan¹, Didem Çelebi²

¹ Akınal Sentetik Tekstil A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Orcid ID: <https://orcid.org/0009-0008-8575-5248>,
orcun.aslan@asnonwovens.com.tr

² Akınal Sentetik Tekstil A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Orcid ID: <https://orcid.org/0009-0008-3165-2008>,
didem.celebi@asnonwovens.com.tr

* Orçun Aslan; orcun.aslan@asnonwovens.com.tr; +90 (342) 3372060

Received 30 October 2024

Received in revised form 15 December 2024

In final form 27 December 2024

4th International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2024)
December 19 - 20, 2024

Reference: Aslan, O., & Çelebi, D. (2024). Investigation of the effects of using recycled raw materials on the mechanical properties of PE film produced by blown film extrusion technology. *Orclever Proceedings of Research and Development*, 5(1), 629-646.

Abstract

Polyethylene (PE) film is a flexible material widely used in the packaging industry, usually produced by blown film extrusion technology. PE films are characterized by high flexibility, durability and transparency. However, in order to reduce production costs and increase environmental sustainability, the use of recycled raw materials is increasingly preferred. In the study, the product under investigation is used in the outer layer of baby/adult diapers and in the outer layers of sanitary napkins. Since it is produced to serve the hygiene sector, production needs to be monitored sensitively. For these reasons, post-industry (PIR) raw material was chosen instead of post-consumer (PCR) because it has less contamination risk and is closer to pure raw material in terms of content.

In this study, an extrusion blown production line with 3-layer production was used. It was aimed to reduce production costs and increase environmental sustainability in PE film weighing 26 gsm with different ratios of recycled raw materials (0%-7%-13%-19%-19%-25%-31%-37%-37%-



43%-49%-49%-55%-61%-67%-72%-77%-82%). The effects of these materials on the performance of the film were evaluated through tensile strength, elongation at break, elastic modulus, gloss, opacity, water vapor permeability tests. When the results of the tests carried out are examined; According to the evaluation, the unit weight of the PE film containing 0% recycle raw material was in the 26gsm band, while a 13-14% decrease was observed in the film containing 77% recycle raw material. The film produced with 82% recycle rat

e could not be sampled due to the formation of holes. Less changes were observed in the thickness of the products. When tensile strength and elongation values were analyzed; elongation at break in MD and TD directions increased by 9%, tensile strength in MD direction decreased by 2%, tensile strength in TD direction increased by 8%. Elastic modulus value decreased by 11% in MD direction and 8% in TD direction. Gloss increased by 6~7%. Opacity value decreased by 10%. The water vapor permeability of the film is one of the main determining properties of air permeable (BR) and non-air permeable (NBR) PE based films. For this reason, when the water vapor permeability test was analyzed, the value decreased by 5.5%, i.e. the air permeability decreased and the value for NBR film was positively affected.

Strategies for optimizing quality and performance while achieving cost benefits through the use of recycled materials are also discussed.

Keywords: PE Film, Blown Extrusion, Recycle Raw Material, Backsheet

Blown Film Ekstrüzyon Teknolojisiyle Üretilen Pe Filmde Recycle Hammadde Kullanımının Filmin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi

Özet

Polietilen (PE) film, genellikle blown film ekstrüzyon teknolojisiyle üretilen, ambalaj sektöründe yaygın olarak kullanılan esnek bir malzemedir. PE filmler, yüksek esneklik, dayanıklılık ve şeffaflık gibi özellikler taşımaktadır. Ancak, üretim maliyetlerini düşürmek ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak amacıyla, geri dönüşümlü hammaddelerin kullanımı giderek daha fazla tercih edilmektedir. Araştırmada, incelenen ürün bebek/yetişkin bezi dış katmanında ve hijyenik pedlerin dış katmanlarında kullanılmaktadır. Hijyen sektörüne hizmet amaçlı üretildiği için üretimin hassasiyetle takip edilmesi gerekmektedir. Bu sebepler doğrultusunda kontaminasyon riskinin daha az olması ve saf hammaddeye içerik anlamında daha yakın olması sebebiyle post-consumer (PCR) yerine post-industry (PIR) hammadde seçilmiştir.



Bu çalışmada, 3 katmanlı üretim yapan ekstrüzyon blown üretim hattı kullanılmıştır. Farklı oranlarda recycle hammadde eklenen (%0-%7-%13-%19-%25-%31-%37-%43-%49-%55-%61-%67-%72-%77-%82) 26 gsm ağırlığındaki PE filmde üretim maliyetlerini düşürmek ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak hedeflenmiştir. Bu malzemelerin filmin performansına etkileri kopma mukavemeti, kopma uzaması, elastik modülü, parlaklık, opasite, su buharı geçirgenliği testleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen testlerin sonuçları incelendiğinde; yapılan değerlendirmeye göre %0 recycle hammadde içeren PE filmin birim ağırlığı 26gsm bandında iken %77 recycle hammadde içeren filmde %13-14 oranında düşüş gözlemlenmiştir. %82 recycle oranıyla üretilen filmde delik oluşması sebebiyle numune alınamamıştır. Ürünlerin kalınlığında daha az değişimler gözlemlenmiştir. Kopma mukavemeti ve uzama değerleri incelendiğinde; MD ve TD yönündeki kopma uzaması %9 oranında artmış, MD yönündeki kopma mukavemeti %2 oranında azalmıştır, TD yönündeki kopma mukavemeti %8 oranında artmıştır. Elastik modülüs değeri ise MD yönünde %11 azalmış, TD yönünde %8 oranında azalmıştır. Parlaklık %6~7 oranında artmıştır. Opasite değeri %10 oranında azalmıştır. Filmin su buharı geçirgenliği hava geçiren (BR) ve hava geçirmeyen (NBR) PE bazlı filmlerde esas belirleyici özelliklerden birisidir. Bu sebeple yapılan su buharı geçirgenliği testi incelendiğinde değer %5,5 oranında azalmıştır, yani hava geçirgenliği azalmış ve NBR film için değer olumlu etkilenmiştir.

Ayrıca, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımıyla maliyet avantajı sağlanırken, kalite ve performansın optimize edilmesine yönelik stratejiler tartışılmıştır.

Anahtar:PE Film, Blown Ekstrüzyon, Recycle Hammadde, Backsheet

1. Giriş

Polietilen (PE), etilen monomerinin polimerizasyonu ile elde edilen en yaygın plastik malzemedir [1]. Polietilen (PE) film ise, genellikle blown film ekstrüzyon teknolojisiyle üretilen, ambalaj sektöründe yaygın olarak kullanılan bir film çeşididir. Yüksek esneklik, dayanıklılık ve şeffaflık gibi özellikler sunması sebebiyle tercih edilmektedirler[2]. Bunlarla orantılı olarak piyasada bu filmlerin üretim faaliyetlerinin oldukça arttığı görülmektedir. Saf hammaddelerle üretim yapmak ürünü maliyetli bir hale getirmiştir ve rekabetçi bir yön ortaya çıkarmıştır. Üretim maliyetlerini düşürmek, kaynak kullanımını optimize etmek ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak amacıyla, geri dönüşümlü hammaddelerin kullanımı artarak daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır[3]. Araştırmada incelenen ürün, bebek/yetişkin bezi dış katmanında ve hijyenik pedlerin dış katmanlarında kullanılmaktadır. Bu dış katman, film üzerine dokusuz kumaş lamine edilmesiyle meydana gelmektedir. Sektörde backsheet olarak adlandırılmaktadır. Backsheet filmler hava geçiren (breathable – BR) ve hava geçirmeyen (nonbreathable-NBR) olarak ikiye ayrılırlar[4].



Hijyen sektörüne hizmet amaçlı üretildiği için üretim hassasiyetle takip edilmelidir. Bu sebepler doğrultusunda kontaminasyon riskinin daha az olması ve çok fazla işleme maruz kalmayarak saf hammaddeye içerik anlamında daha yakın olması sebebiyle post consumer (PCR) yerine, post industry (PIR) recycle hammadde seçilmiştir[5]. 3 katlı blown ekstrüzyon film üretim hattında 26 gsm PE bazlı NBR film referans alınmıştır.

Film üretiminde kullanılmak üzere LDPE içerikli NBR recycle hammaddenin akış indeksi (MFI) açısından uygunluğunu teyit etmek amacıyla MFI testleri yapılmıştır. Test yapılırken ASTM D1238 standardı referans alınmıştır. MFI değerinin diğer hammaddelerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Ardından herhangi bir parametre değiştirilmeden ürün reçetesine sırasıyla %0-%7-%13-%19-%25-%31-%37-%43-%49-%55-%61-%67-%72-%77-%82 oranlarında recycle hammadde eklenerek süreç kontrollü şekilde kayıt edilmiştir. Aynı zamanda hattın süreçten etkilendiği noktalar belirtilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Deneme Planı Tablo 1' de verilmektedir.

Tablo 1: Deneme Planı

Numune Kodu	Sabit Değişken	Değişkenler ve Değişim Oranları
Referans Numune	LLDPE Hammadde	%0 Recycle Hammadde
D1	LLDPE Hammadde	%7 Recycle Hammadde
D2	LLDPE Hammadde	%13 Recycle Hammadde
D3	LLDPE Hammadde	%19 Recycle Hammadde
D5	LLDPE Hammadde	%25 Recycle Hammadde
D6	LLDPE Hammadde	%31 Recycle Hammadde
D7	LLDPE Hammadde	%37 Recycle Hammadde
D8	LLDPE Hammadde	%43 Recycle Hammadde
D9	LLDPE Hammadde	%49 Recycle Hammadde
D10	LLDPE Hammadde	%55 Recycle Hammadde
D11	LLDPE Hammadde	%61 Recycle Hammadde
D12	LLDPE Hammadde	%67 Recycle Hammadde
D13	LLDPE Hammadde	%72 Recycle Hammadde
D14	LLDPE Hammadde	%77 Recycle Hammadde
D15	LLDPE Hammadde	%82 Recycle Hammadde



Hijyen sektöründe bebek bezi ve yetişkin bezlerinde genellikle 10-30 gsm ağırlığında ve PE bazlı polimerlerin film şekline getirilmesiyle backsheet film elde edilir. Bu çalışmada, 26 gsm ağırlığındaki PE filmin üretim süreçleri detaylı bir şekilde paylaşılmıştır.

A, B, C olmak üzere 3 kattan oluşan blown ekstrüzyon hattı kullanılmıştır. Şekil 1’de görselleri eklenmiştir. Her bir ekstrüderde 4 adet feeder bloğu bulunmaktadır. Bu feederlar 1 ana ve 3 yardımcı feeder olarak tasarlanmıştır. A ve C katmanının ekstrüderleri 125 kg kapasiteye sahiptir, B katmanı ise 250 kg kapasiteye sahiptir. Hat parametreleri; 430 kg/h kapasitede, sıcaklığı 180°C, MDO (Machine Direction Orientation) oranı ise 3,3 olacak şekilde sabit tutulmuştur. %82 recycle hammadde tüketimine kadar çıkmıştır, fakat %82 oranında iken üründe delik oluşmuştur. Delik oluşması sebebiyle filmde stabilizasyon sağlanamamış numune alınamamıştır. Maksimum noktası %77 oranında recycle kullanımı olarak kaydedilmiştir.



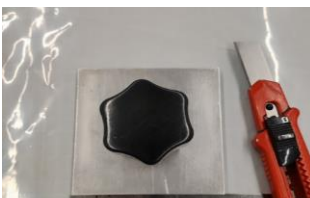
Şekil 1: Blown Ekstrüzyon

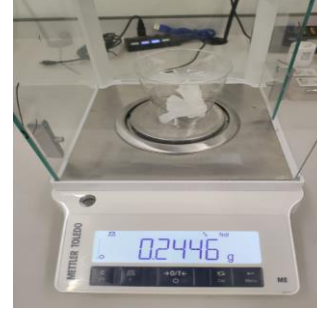
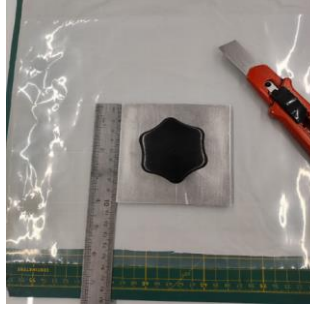
Her bir oran için tam en olacak şekilde, 1800 metre uzunluğunda numune alınmıştır. Yöntemleri belirtilen kalite testleri kenar-orta-kenar şeklinde olmak üzere en boyunca yapılmıştır. Testlere ait detaylar aşağıda paylaşılmıştır.

2.1. Birim Ağırlık Ölçümü

Üründe 100 cm² alana sahip kenar-orta-kenar olmak üzere 3 adet numune alınır. Numune alınırken üretilen film sündürülüp esnetilmemeye özen gösterilerek, formu bozulmayacak şekilde kesilir. Numune hassas terazide tartılarak aşağıdaki formülasyon ile birim alan ağırlık hesaplanır. Birim Alan Ağırlık Ölçümü NWSP 130.1.R0 standardı referans alınarak yapılır. Şekil 2’de ölçüm basamakları gösterilmiştir.

$$\text{GSM} = (\text{Numune Ağırlığı} \times 100) / \text{Numune Alanı}$$





Şekil 2: Birim Ağırlık Ölçümü

2.2.Kalınlık Testi

Ölçümü yapılacak olan numune, numune masasına yerleştirilir. Mikrometre temas yüzeyleri temizlenir. Kalınlık ölçüm testi ASTM F2251 standardı referans alınarak yapılır. Kenar-orta-kenar olarak 10 defa ölçüm tekrarlanır. Yapılan ölçümlerin ortalaması alınır. Şekil 3'te cihazın kullanımı görülmektedir.



Şekil 3: Kalınlık Testi

2.3.Kopma Mukavemeti Testi

Numune, makine akış doğrultusunda (MD) ve ürün eni doğrultusunda (TD) eni 15 mm, uzunluğu ise en az 250 mm olacak şekilde numune kesme aparatı ile kesilerek hazırlanır. Test numunesi mukavemet ölçüm cihazının üst ve alt çenelerinin arasına yerleştirilir. Kenar-orta-kenar olarak 3 adet numune alınarak ve ASTM D882 standardı referans alınarak testler yapılmaktadır. Test cihazı Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4: Kopma Mukavemeti ve Kopma Uzaması Testi

2.4.Kopma Uzaması Testi

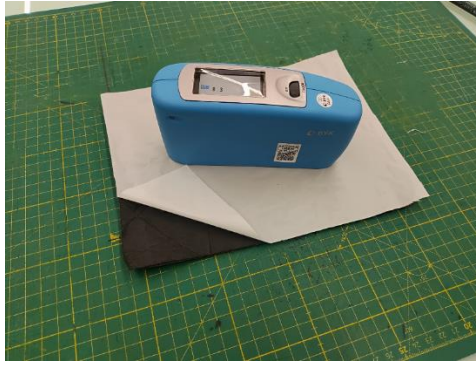
Numune, makine akış doğrultusunda (MD) ve ürün eni doğrultusunda (TD) eni 15 mm, uzunluğu ise en az 250 mm olacak şekilde numune kesme aparatı ile kesilerek hazırlanır. Test numunesi mukavemet ölçüm cihazının üst ve alt çenelerinin arasına yerleştirilir. Kenar-orta-kenar olarak 3 adet numune alınarak ve ASTM D882 standardı referans alınarak testler yapılmaktadır.

2.5.Elastik Modülüs Testi

Elastisite modülü, bir malzemenin elastik deformasyon kapasitesini ölçen bir parametredir. Bu modül, malzemenin gerilme (σ) ile birim uzama (ϵ) değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlar. Yük altında malzemenin ne kadar deformasyona maruz kalacağını belirlemek amacıyla kullanılır. Yüksek bir elastisite modülü, malzemenin daha sert olduğunu ve daha az deformasyona uğradığını gösterir[6]. Yapılan kopma uzaması ve kopma mukavemetine göre cihaz otomatik hesaplar. ASTM D882 standardını referans alır.

2.6.Parlaklık Testi

Test numunesi 23 cm boyunda, 17 cm eninde kesilerek numune masasına siyah karton üzerine yerleştirilir. Karton üzerine yerleştirilen numune ölçüme hazırdır. Farklı bölgelerden ASTM D2457 standardı referans alınarak parlaklık ölçümü yapılır. Şekil 5'teki gibidir.



Şekil 5: Parlaklık Testi

2.7. Opasite Testi

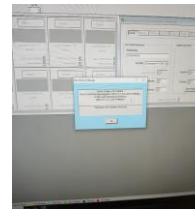
Test edilecek numuneden en az 100*100 mm boyutlarında ürün numune kesme kalıbı ile kesilir. DIN-53146 standardı referans alınarak test yapılır. Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6: Opasite Testi

2.8. Su Buharı Geçirgenliği Testi

Test numunesi numune masasına yerleştirilir. Cihazın ölçüm aparatına uygun şekilde numune kesilir. Cihaza yerleştirilir. Su Buharı Geçirgenliği testi NWSP 070.4.R0 standardı referans alınarak yapılır. Şekil 7'de test aşamaları gösterilmiştir.





Şekil 7: Su Buharı Geçirgenliği Testi

3. Sonuçlar

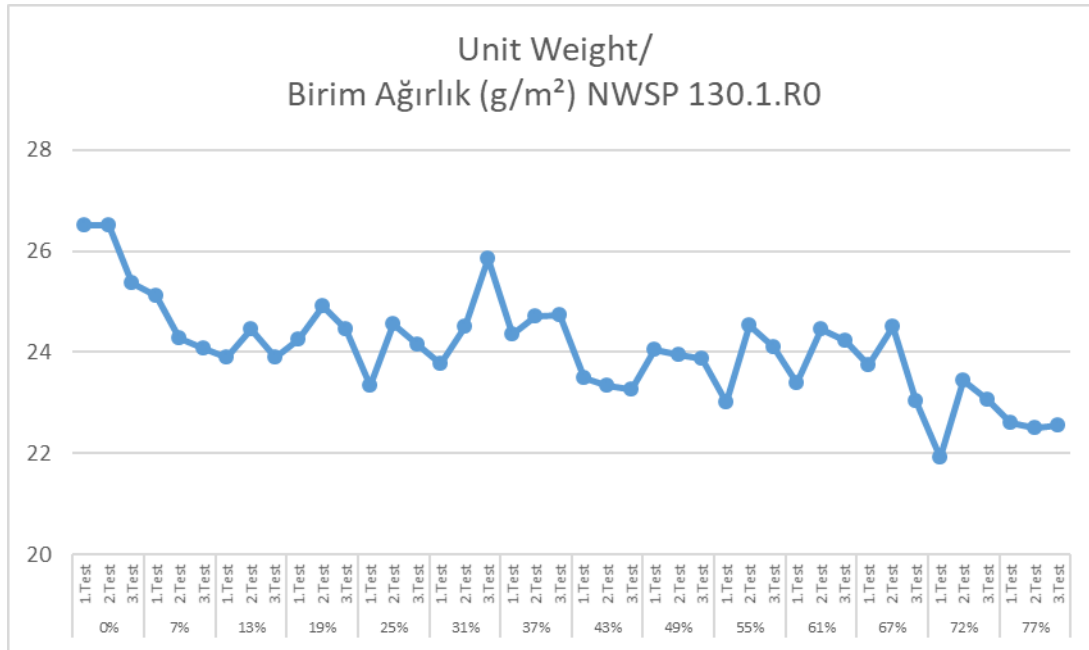
Testler gerçekleştirildikten sonra grafik olarak yorumlanmıştır.

3.1. Birim Ağırlık Sonuçları

Tablo 2'de elde edilen numunelere ait Gramaj değerleri verilmektedir. Grafik incelendiğinde referans numuneden, %13 recycle oranındaki numuneye kadar düşüş trendi gözlemlenmiştir, %13 recycle oranından %67 recycle oranına kadar gramajın dengede devam ettiği, %67 recycle oranından sonra ise gramajda yeniden düşüş trendi gözlemlenmiştir.

Recycle hammadde kullanımı sebebiyle oran artışıyla birlikte yoğunluk düşüşü gözlemlenmiştir, dolayısıyla birim ağırlık bu durumdan etkilenmiştir.

Tablo 2: Birim Ağırlık Sonuçları

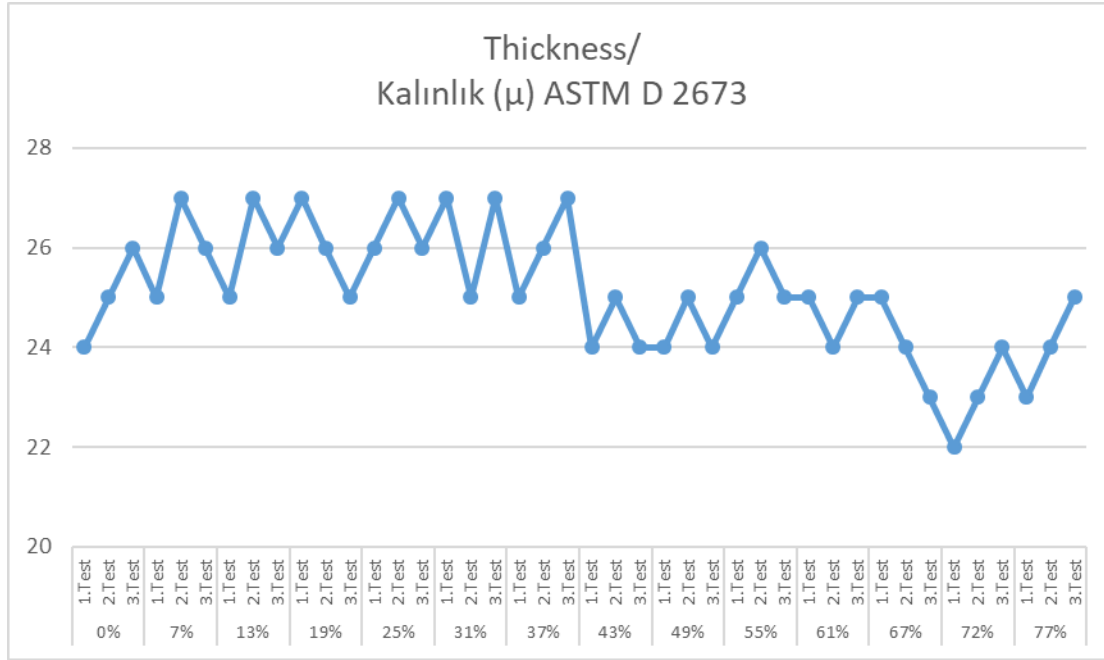


3.2. Kalınlık Testi Sonuçları

Tablo 3'te üretilen numunelere ait Kalınlık Testi değerleri verilmektedir. Grafik incelendiğinde kalınlık değerleri referans numuneden, %43 recycle oranındaki numuneye kadar stabil devam etmiştir, ardından düşüş trendi gözlemlenmiştir. %43

recycle oranından, %67 recycle oranına kadar dengeli devam etmiştir. Devamında ani dalgalanmalar gözlemlenmiştir.

Tablo 3: Kalınlık Testi Sonuçları

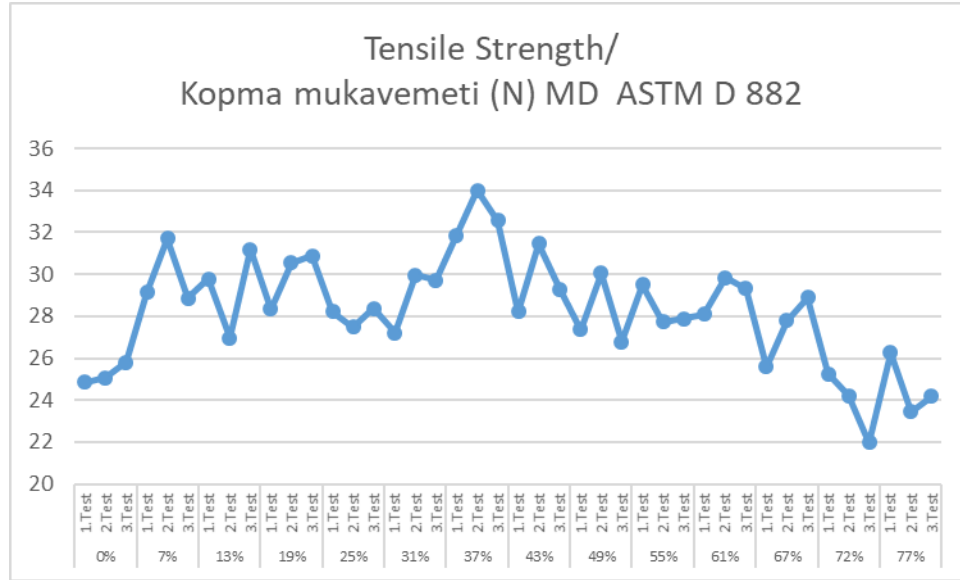


3.3. Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları

Tablo 4' te üretilen numunelere ait MD yönündeki Kopma Mukavemeti Testi değerleri verilmiştir. Kopma mukavemetinin %7 recycle oranına kadar artış gösterdiği, %7 recycle oranından %31 recycle oranına kadar ise stabil devam ettiği, %31 recycle oranından %37 recycle oranına ani bir artış gösterdiği, %37 recycle oranından sonra ise dalgalı bir düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir.

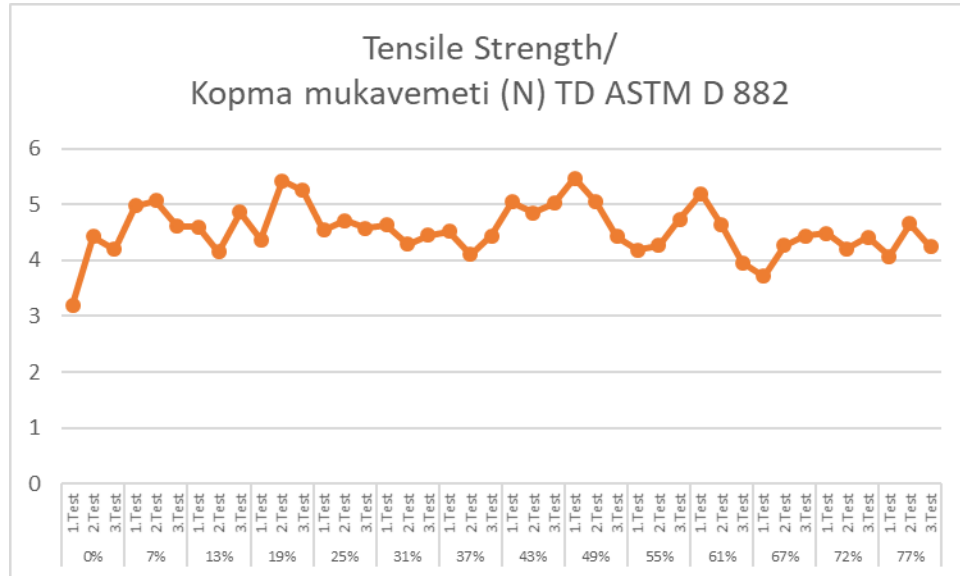


Tablo 4: Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları



Tablo 5' te üretilen numunelere ait TD yönündeki Kopma Mukavemeti Testi değerleri verilmiştir. Verilerin genel olarak istikrarlı olduğu, ancak %37 ve %67 civarında hafif dalgalanmaların görüldüğü tespit edilmiştir.

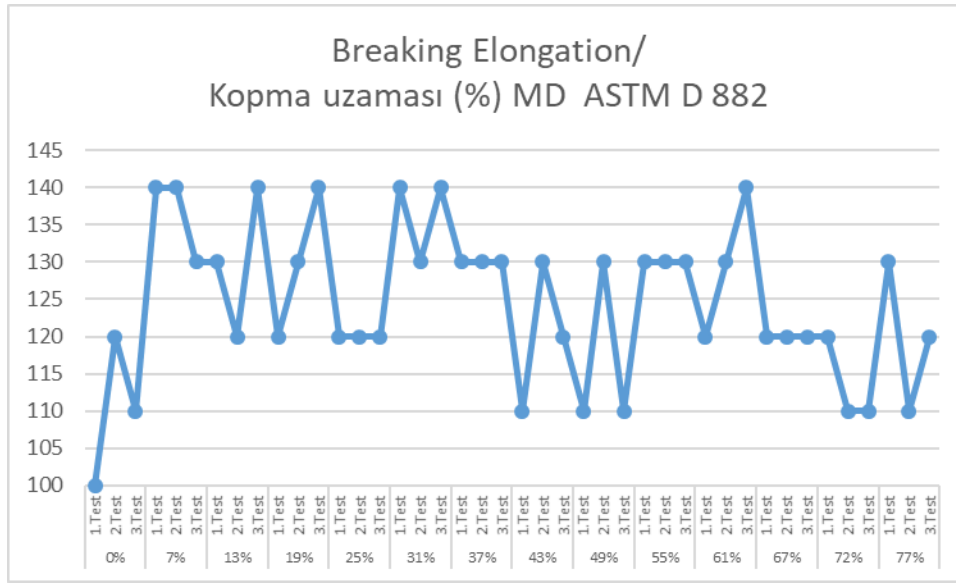
Tablo 5: Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları



3.4. Kopma Uzaması Testi Sonuçları

Tablo 6'da üretilen numunelere ait MD Yöndeki Kopma Uzaması Testi değerleri verilmiştir. %37 recycle oranlarına kadar artan, ardından %61 recycle oranına kadar sabit ilerleyen ve ardından azalan bir grafik eğilimi gözlemlenmiştir.

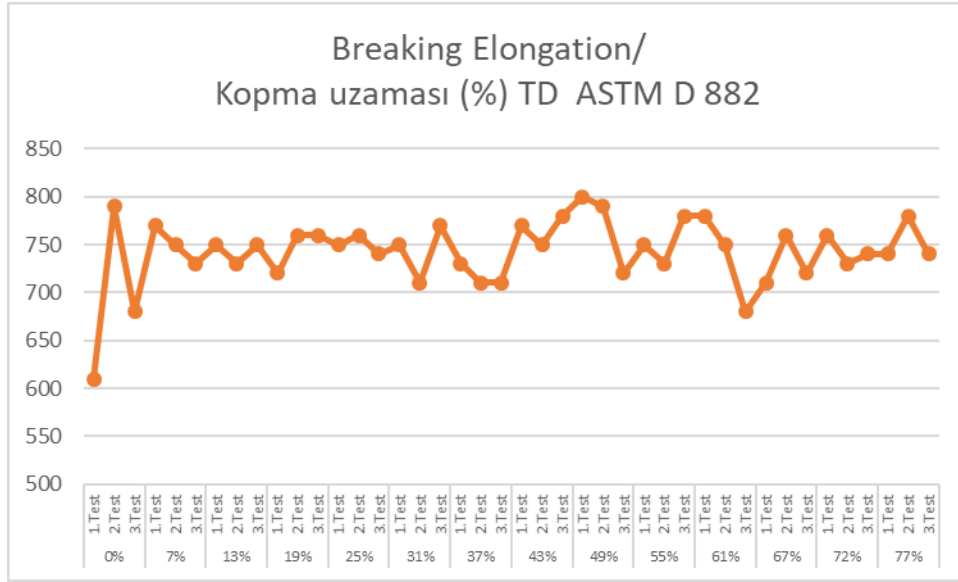
Tablo 6: Kopma Uzaması Testi Sonuçları



Tablo 7'de üretilen numunelere ait TD Yöndeki Kopma Uzaması Testi değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde genel anlamda sabit ve istikrarlı eğilim gözlemlenmiştir, fakat %43 recycle ve %61 recycle oranları arasında ani dalgalanmalar gözlemlenmiştir.



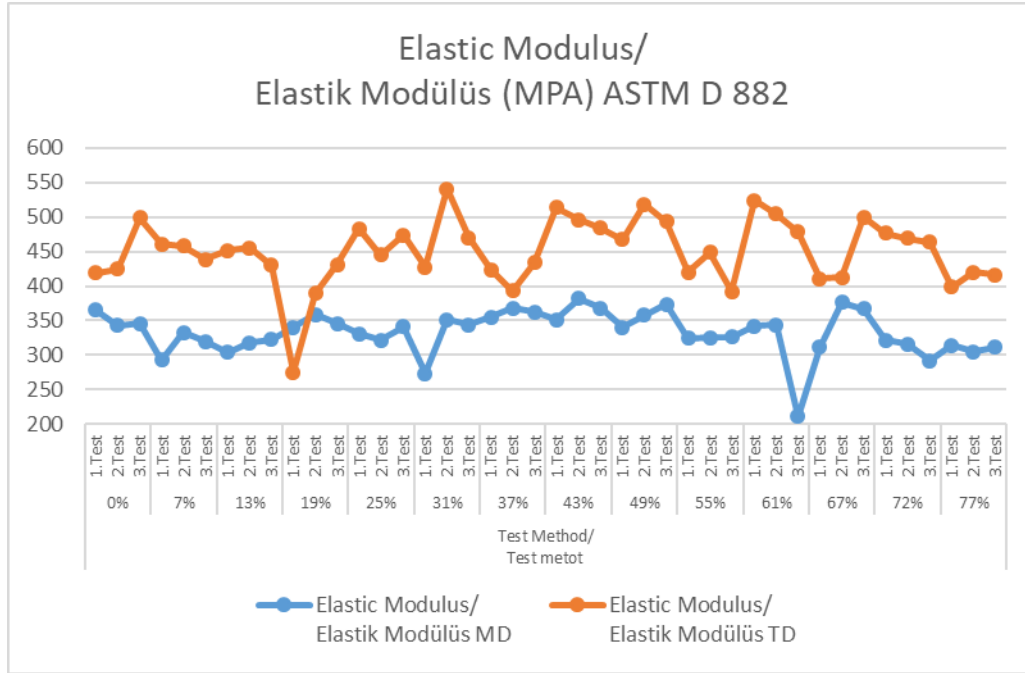
Tablo 7: Kopma Uzaması Testi Sonuçları



3.5. Elastik Modülüs Testi Sonuçları

Tablo 8'de üretilen numunelere ait Elastik Modülüs Testi değerleri verilmiştir. Grafikte kendi içinde dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Dalgalanmalar TD yönde %19 recycle oranında daha çok dikkat çekerken, MD yönde %61 recycle oranında dikkat çekmektedir.

Tablo 8: Elastik Modülüs Testi Sonuçları



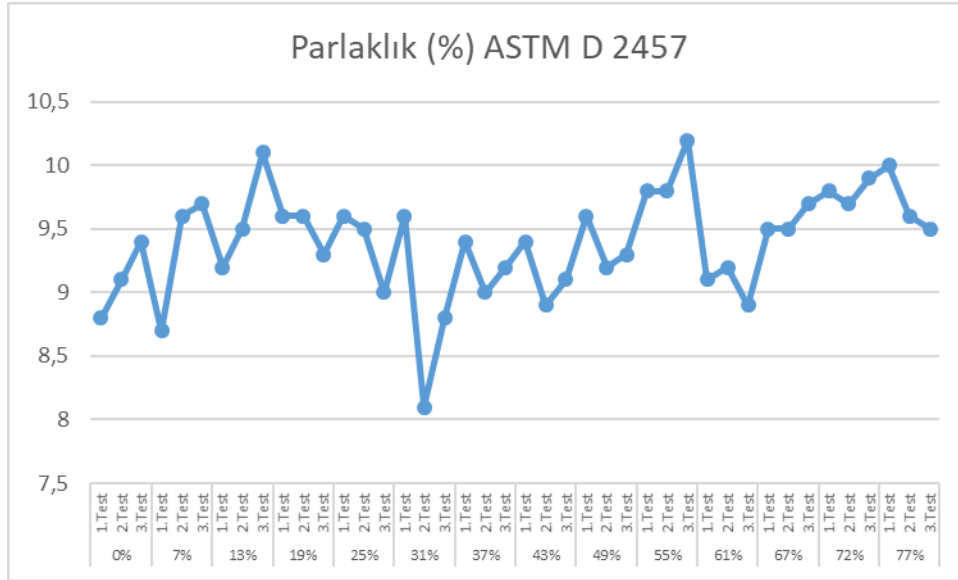
3.6. Parlaklık Testi Sonuçları

Tablo 9'da üretilen numunelere ait Parlaklık Testi değerleri verilmiştir.

Grafik sabit trend ile ilerlememiştir, ani dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Özellikle %31 recycle ve %61 recycle oranlarında ani düşüşler dikkat çekmektedir.



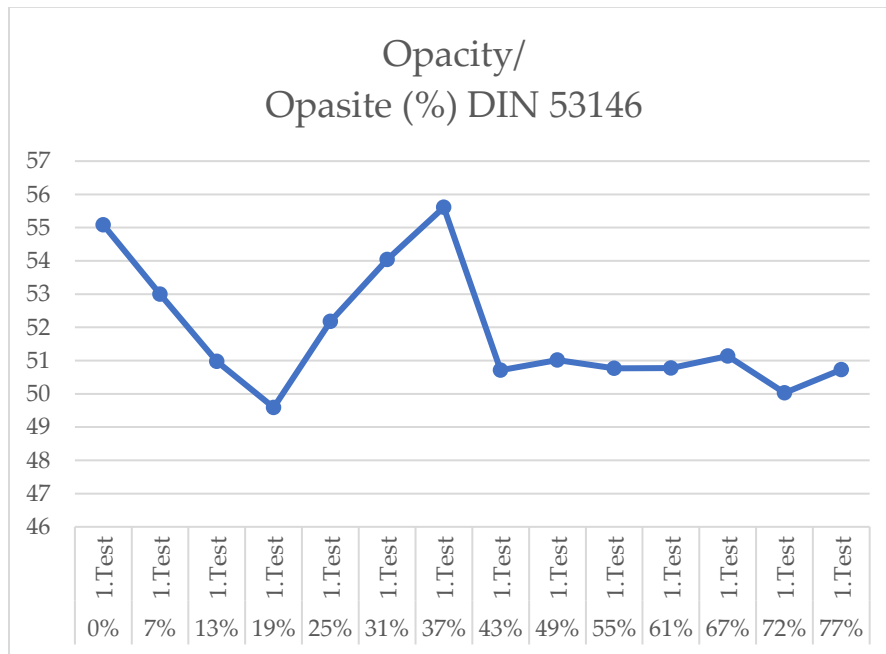
Tablo 9: Parlaklık Testi Sonuçları



3.7. Opasite Testi Sonuçları

Tablo 10'da üretilen numunelere ait Opasite Testi'nin sonuçları verilmiştir. %19 recycle oranına kadar istikrarlı düşüş trendi göstermiştir. Ardından %37 recycle oranına kadar ise artış seyrinde bulunmuştur. Bu orandan sonra ani düşüş göstererek stabil kalmıştır.

Tablo 10: Parlaklık Testi Sonuçları

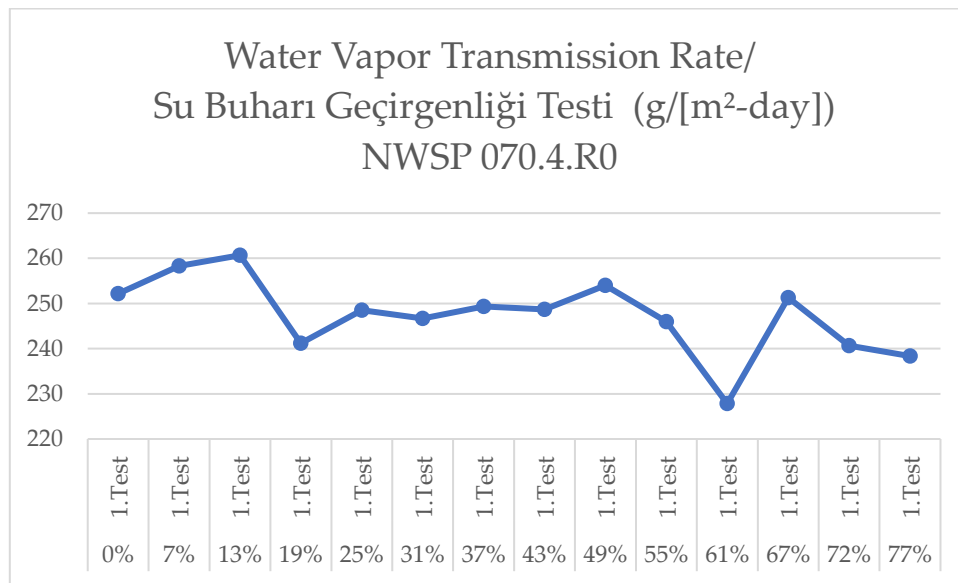


3.8. Su Buharı Geçirgenliği Testi Sonuçları

Tablo 11'de üretilen numunelere ait Su Buharı Geçirgenliği Testi sonuçları verilmiştir. Grafik genel anlamda yatay trend sergilemiştir. %19 recycle ve %49 recycle oranları arasında sabit kalmıştır. %49 recycle ve %61 recycle oranlarında ani düşüşler gözlemlenmiştir.

Sektörde su buharı geçirgenliğinin NBR ürünler için 1000g/[m²-day] değerinin altında olması gerekmektedir. Grafik incelendiğinde değerler bu şartı sağlamaktadır.

Tablo 11: Su Buharı Geçirgenliği Testi Sonuçları



4. Tartışma

Test sonuçlarındaki grafikler incelendiğinde recycle hammadde kullanımının etkileri referans numune ile D14 kodlu numune karşılaştırılmıştır:

Recycle hammadde oranının artışı sebebiyle yoğunluk farkı oluşmuştur dolayısıyla birim ağırlıkta %13-14 bandında düşüş gözlemlenmiştir.

Ürünlerin kalınlık değerleri incelendiğinde daha az değişimler gözlemlenmiştir.

Kopma mukavemeti MD yönünde %2 oranında azalmıştır, TD yönünde ise %8 oranında artmıştır. Genel anlamda incelendiğinde recycle hammadde kullanımı MD yönündeki kopma mukavemetinde dalgalı bir değişime sebep olurken, TD yönündeki kopma mukavemetinde ise değerler daha stabil devam etmiştir.



Kopma uzaması değerleri incelendiğinde MD ve TD yöndeki kopma uzaması ~%9 oranında artmıştır.

Elastik modülüs değeri ise MD yönde %11 azalmış, TD yönde %8 oranında azalmıştır.

Parlaklık %6-7 oranında artmıştır.

Opasite değeri %10 oranında düşmüştür.

Su buharı geçirgenliği ise %5,5 oranında düşmüştür, yani hava geçirgenliği azalmış süreç için olumlu etki etmiştir.

Tüm test sonuçlarında ani dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Buna recycle hammadde homojenitesinin stabil olmayabileceğinin neden olduğu düşünülmektedir.

D15'te üretim esnasında delik oluşması sebebiyle numune alınamamıştır. Mevcut şartlarda çıkılabilen maksimum recycle seviyesi D14 numune değerleri olarak kaydedilmiştir, deneme sonlandırılmıştır.

Konuyla alakalı gerekli literatür taramaları yapıldığında benzer çalışmalar olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada, çöp torbası kullanımına hizmet etmesi amacıyla 25 gsm PE film üretilmiştir ve %55 oranında recycle hammadde kullanılmıştır. Çalışmada, HDPE ve LDPE recycle hammaddeler kullanılmıştır. Çalışma başarılı olmuştur. [7]

Yapılan çalışmalar sonraki projelere ışık tutacaktır. Bu çalışmalarda olumlu veriler elde edilmesi, düşük ağırlıkta üretilen PE bazlı filmlerde çalışmayı tekrarlama hedefi oluşturmuştur.

5. Teşekkür

Çalışmada desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Akınel Sentetik Tekstil A.Ş. firmasına ve Ar-Ge departmanına teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] S. Ronca, "Polyethylene," in *Brydson's Plastics Materials: Eighth Edition*, Elsevier Inc., 2017, pp. 247–278. doi: 10.1016/B978-0-323-35824-8.00010-4.
- [2] T. I. Butler and B. A. Morris, "PE-Based Multilayer Film Structures," in *Multilayer Flexible Packaging: Second Edition*, Elsevier Inc., 2016, pp. 281–310. doi: 10.1016/B978-0-323-37100-1.00017-X.



- [3] O. Horodytska, F. J. Valdés, and A. Fullana, "Plastic flexible films waste management – A state of art review," Jul. 01, 2018, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.wasman.2018.04.023.
- [4] H. K. Kaynak and M. Alsayed, "A RESEARCH ON THE BREATHABILITY PROPERTY OF BABY DIAPER BACKSHEET," *TEXTEH Proceedings*, vol. 2021, pp. 131–136, Oct. 2021, doi: 10.35530/tt.2021.18.
- [5] R. Ballestar de las Heras, X. Colom, and J. Cañavate, "Comparative Analysis of the Effects of Incorporating Post-Industrial Recycled LLDPE and Post-Consumer PE in Films: Macrostructural and Microstructural Perspectives in the Packaging Industry," *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 7, Apr. 2024, doi: 10.3390/polym16070916.
- [6] B. Aydemir and B. Samet Elmas Yüksek Mühendis -Psikolog, "Çekme Deneyinde Elastisite Modülü Hesap Yöntemleri ve Hata Kaynakları," 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/335082798>
- [7] T. Jachowicz, W. Woźniak, M. Sasiadek, M. Niedziela, J. Jajczyk, and M. Naumowicz, "Research on the Influence of the Type and Content of Regranulate on Selected Mechanical Properties of the Three-Layer Polyethylene Film Obtained by Blown Film Extrusion," *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 18, no. 8, pp. 385–402, Dec. 2024, doi: 10.12913/22998624/195209.