



Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzemelerde Termal Yaşlandırmanın Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Mehmet Şahbaz¹, Erkin Akdoğan^{1*}

^{1*} Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6379-8345), mehmetshahbaz@kmu.edu.tr, * (ORCID: 0000-0001-6993-6972), eakdogan@kmu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084996)

ATIF/REFERENCE: Şahbaz, M., & Akdoğan, E. (2022). Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzemelerde Termal Yaşlandırmanın Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (34), 757-762.

Öz

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeler günlük yaşantımızda çoğu yerde karşımıza çıkmaktadır. Kullanım yerine göre çeşitli özelliklerde üretilebiliyor olması bu malzemelerin kullanımını arttırmaktadır. HDPE malzemeler metallerle kıyasla kimyasallara karşı direncinin yüksek olması avantajlarından biridir. Buna karşın termal etkiler sonucu mekanik özelliklerinde bir miktar değişim gözlemlenebilmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi ve ortaya çıkarılması da büyük önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada HDPE numuneler plastik enjeksiyon makinesinde üretilmiştir. Üretilen numunelere fırın içerisinde 90 °C sıcaklıkta 96 h yapay yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapay yaşlandırma yapılan ve yapılmayan malzemelerin çekme deneyi, üç nokta eğilme deneyi, basma deneyi, yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapay yaşlandırma yapılan numunelerin çekme deneyi sonucu elastisite modülü ve çekme dayanımında artış görülmüş olup buna karşın kopma uzaması değerlerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Üç nokta eğilme deneyi sonuçlarında ise yaşlandırma işleminin eğilme dayanımı ve eğilmede elastisite modülü değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı görülmüştür. Basma deneylerinde benzer şekilde basma dayanımı ve basmada elastisite modülü değerlerini arttırdığı buna karşın yırtılma deneyinde yırtılma direncinin düştüğü belirlenmiştir. Sertlik ölçüm deneylerinde de ise yapay yaşlandırma yapılan numunelerin sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek yoğunluklu polietilen, Termal yaşlandırma, Çekme deneyi, Üç nokta eğilme deneyi, Basma deneyi, Yırtılma deneyi, Sertlik

Investigation the Effects of Thermal Aging on Mechanical Properties of High Density Polyethylene Materials

Abstract

High-density polyethylene (HDPE) materials appear in many places in our daily lives. The fact that it can be produced in various properties according to the place of use increases the use of these materials. One of the advantages of HDPE materials are high chemical resistance compared to metals. On the other hand, some change in mechanical properties can be observed as a result of thermal effects. Identifying and revealing these properties are also of great importance. In this study, HDPE samples were produced in a plastic injection machine. Thermal aging of the produced samples was carried out in the oven at 90 °C for 96 h. Tensile test, three-point bending test, compression test, tear test and hardness test of materials with and without artificial aging were carried out. As a result of the tensile test of the artificially aged samples, an increase was observed in the modulus of elasticity and tensile strength, but a significant decrease was observed in the elongation at break values. In the three-point bending test results, it was observed that the aging process significantly increased the flexural strength and modulus of elasticity in bending. Similarly, it was determined that the compressive strength and the modulus of elasticity in compression increased in the compression tests, whereas the tearing resistance decreased in the tearing test. In the hardness measurement experiments, an increase was observed in the hardness values of the thermally aged samples.

Keywords: High density polyethylene, Thermal aging, Tensile test, Three point bending test, Compression test, Tear test, Hardness

*Sorumlu Yazar : eakdogan@kmu.edu.tr

<http://dergipark.gov.tr/ejosat>

1. Giriş

HDPE malzemeler ucuzluk, yalıtım, mekanik özellik, kolay şekillendirilebilirlik ve kimyasal açıdan dirençli olduğu için çeşitli amaçlarda kullanılabilen malzemelerdir. Bu özellikleri sebebiyle makine, kimya, fizik, tekstil, endüstri, tıp, biyokimya, biyofizik ve otomotiv gibi alanlarda geniş kullanıma sahiptir (Akdoğan, 2018; Akdoğan ve Bektaş, 2019; Akdoğan, 2020). HDPE malzemeler termoplastik (ısı ile şekil değiştirebilen) polimer grubu içerisinde poliolefin ailesinin bir alt grubu olan polietilen çeşitlerinden biridir. Yapısında bulunan metilen (CH_2) monomerleri birbiri arasında kovalent bağ yaparak etileni (C_2H_4) oluştururlar. Etilen molekülleri; radikal, anyonik, iyon ve kationik polimerizasyon metotları ile polietilen polimerini oluşturur. HDPE malzemelerin üretim yöntemi sırasıyla kimyasal proses olarak polimerizasyon işlemi ardından mekanik ve termal işlem ile istenen parçanın üretilmesi işlemidir. Tekrar tekrar ısı etkisi ve mekanik işlemler ile şekillendirilerek son halini alabilmektedirler. Polimerizasyon sonrası; enjeksiyon ile kalıplama, gaz takviyeli enjeksiyon, ekstrüzyon, şişirme film ekstrüzyon, döndürme kalıplama basınçlı kalıplama ve transfer kalıplama başlıca nihai üretim metotlarından (Saçak, 2008; Akkurt, 2007; Akdoğan, 2019).

Isı karşısında fiziksel özelliklerinde bir miktar değişim gösterebilmekle birlikte tekrar kalıplama ve şekillendirme işlemi yapılabilmektedirler. Dolayısıyla ısıll durumlara göre özelliklerinin araştırılması da önemli bir konudur. Literatürde farklı sürelerde ve ısıll uygulamalarda HDPE malzemelerde termal yaşlandırma çalışmaları mevcuttur.

Li vd. (2021) yaptıkları çalışmada HDPE malzemeye CeO_2 nanopartikülleri ilave ederek termal yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. HDPE malzemeyi 80 °C sıcaklıkta 5, 10, 15, 20 ve 25 gün süreyle tutarak ısıll prosesi tamamlamışlardır. CeO_2 nanopartiküllerinin HDPE'in yaşlanma özelliklerini yavaşlattığı ilaveten sertlik değerlerini ve aşınma direnci değerlerini arttırdığını belirlemişlerdir. Katkısız HDPE'nin artan yaşlandırma sürelerinde sertlik değerlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Zhao vd. (2018) yaptıkları çalışmada HDPE malzemeyi 90 °C sıcaklıkta 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 ve 56 gün süre ile termal yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. Yaşlandırma süresi uzadıkça çekme dayanımının arttığını belirlemişlerdir. 28 gün bekletme süresinde en yüksek kopma uzaması değerinin görüldüğü artan sürelerde düştüğünü buna karşın en yüksek çekme dayanımının da 42 gün bekletme süresinde olduğunu belirlemişlerdir.

Bir diğer çalışmada (Ting vd., 2015) HDPE polimerine kütlece %2, 5, 8 ve 10 oranlarında öğütülmüş soya tozu (SSP) ilavesi yapılmıştır. Numuneleri 60 °C sıcaklıktaki fırında 1, 3, 7, 14 ve 21 gün bekleterek çekme testine tabi tutmuşlardır. Artan SSP oranlarının HDPE'nin mekanik özelliklerini düşürdüğünü bununla birlikte 3 gün ve üstü bekletme sürelerinde katkısız HDPE malzemenin mekanik özelliklerinin belirgin bir şekilde düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Ferhoum vd. (2012) yaptıkları çalışmada HDPE malzemeye 5 °C/min sıcaklık artış hızında, 90 °C sıcaklıkta sırasıyla 48 h, 96 h, 144 h ve 192 h ısıll işlem uygulamışlardır. Yapılan termal yaşlandırma işlemi sonucu malzemenin mekanik özelliklerinin arttığını tespit etmişlerdir. FTIR analizleri sonucu iç yapıda kimyasal olarak herhangi bir değişim görmemişlerdir. X-ışını

kristalografisi analizinde de FTIR analizini destekler şekilde değişim tespit etmemişlerdir.

Kartalis vd. (2001) yaptıkları çalışmada HDPE geri dönüşüm plastik şişelerden elde edilmiş malzemelerin yapay yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. Isıl işlemler 110 °C sıcaklıkta 550, 1100, 2200, 3300, 4400, 6600 ve 8800 saat tutularak gerçekleştirmişlerdir. Artan yaşlandırma süresi ile çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin arttığını buna karşın kopma uzaması değerlerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Bununla birlikte DSC testleri sonucu artan ısıll yaşlandırma süresinde kristal oranının arttığını tespit etmişlerdir.

Blom vd. (1995) yaptıkları çalışmada HDPE ve polipropilen (PP) polimerlerini çift vidalı ekstrüderde karıştırıp farklı oranlarda karışımlar elde etmişlerdir. Yapay yaşlandırma işlemi 75 °C sıcaklıkta 7 gün boyunca gerçekleştirmişlerdir. Yapay yaşlandırma işleminin saf HDPE malzemedeki eğilme durumuna göre elastisite modülü değerlerinde dikkate değer bir değişimin olmadığını tespit etmişlerdir. İlaveten çekme durumuna göre akma sınırı değeri ve uzama oranının bir miktar arttığını buna karşın çekme dayanımı değerinde dikkate değer bir artış göstermediğini gözlemlemişlerdir.

Yapılan yaşlandırma işlemi Ferhoum vd. (2012) yaptıkları çalışmadan yola çıkılarak gerçekleştirilmiştir. En yüksek elastisite modülü ve mekanik özelliklerin 90 °C sıcaklıkta 96 h süre ile tutarak belirledikleri için bu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen malzemelere 90 °C sıcaklıkta 96 h yapay yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ferhoum vd. (2012) yılında yaptıkları çalışmadan farklı olarak çekme deneyine ilaveten üç nokta eğilme deneyi, basma deneyi, yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm deneyleri gerçekleştirilip sonuçları kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler

HDPE polimeri, enjeksiyon ile kalıplamaya uygun olan PETKİM firmasının 5,5 g/10 min (190 °C / 2,16 kg) erime akış hızına sahip, granül şeklinde Petilen I668 ticari ürünü kullanılmıştır. Şekil 1'de HDPE granül hammadde gösterilmiştir.



Şekil 1. HDPE granül hammadde (Akdoğan, 2019)

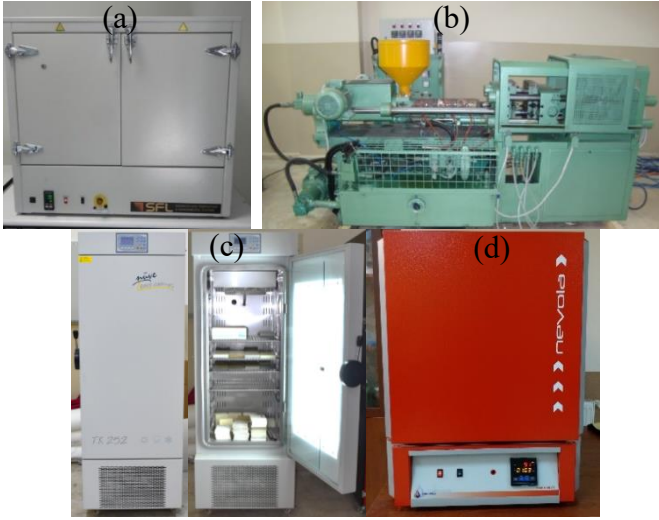
2.2. Numunelerin Hazırlanması

HDPE granüller plastik enjeksiyon makinesinden önce etüvde 60 °C'de 4 saat boyunca kurutulmuştur. Ardından vida çapı 35 mm, L/D oranı 30 ve kalıp kapama gücü 70 ton olan plastik enjeksiyon makinesinde besleme bölgesinden nozul bölgesine doğru 170-180-190-200 °C sıcaklıklarda eritilerek kalıba basım işlemleri gerçekleştirilip, numuneler üretilmiştir. Tüm numuneler yapılan testlerin öncesinde ASTM D618 standardına göre (ASTM Std. D618, 2021) 40 saat boyunca 23 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemde Nüve marka TK252 model şartlandırma ünitesinde bekletilmiştir.

Plastik enjeksiyon makinesinde üretilen numuneler 5 °C/min hızda 90 °C sıcaklığa çıkartılıp bu sıcaklıkta 96 saat boyunca Nevola marka Reis serisi 120/12 model kül fırınında tutulmuştur. Testlerde kullanılacak olan numunelerin kodları Tablo 1’de verilmiştir. Şekil 2’de etüv, plastik enjeksiyon makinesi, şartlandırıcı ünitesi ve fırın gösterilmiştir.

Tablo 1. Isıl işlemsiz ve ısı işlemlili numune kodları

No	Numune	Kod
1	HDPE Isıl İşlemsiz	HDPE
2	HDPE 90 °C 96 Saat	HDPE90_96h



Şekil 2. Üretimde kullanılan makineler a) etüv, b) plastik enjeksiyon makinesi, (c) şartlandırıcı ünitesi (Akdoğan, 2020) ve (d) fırın

2.3. Yapılan Deneyler

Yaşlandırma yapılmış ve yapılmamış numunelerin FTIR analizleri Bruker marka Vertex 70 model cihazda 400-4000 cm⁻¹ dalga boylarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Bruker marka Vertex 70 model cihaz

Çekme deneyleri ASTM D638 (Tip-IV) standardına göre (ASTM Std. D638, 2017) 50±5 mm/min çekme hızında Shimadzu marka AGS-X 100 kN model 100 kN yük hücreli statik çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Numune boyutları Şekil 5(a)’da verilmiştir. 6 adet numune teste tabi tutulmuştur. Deneylerden çekme dayanımı, kopma dayanımı, çekme durumuna göre elastisite modülü, kopma uzaması ve malzemenin tokluk değerleri hesap edilmiştir.

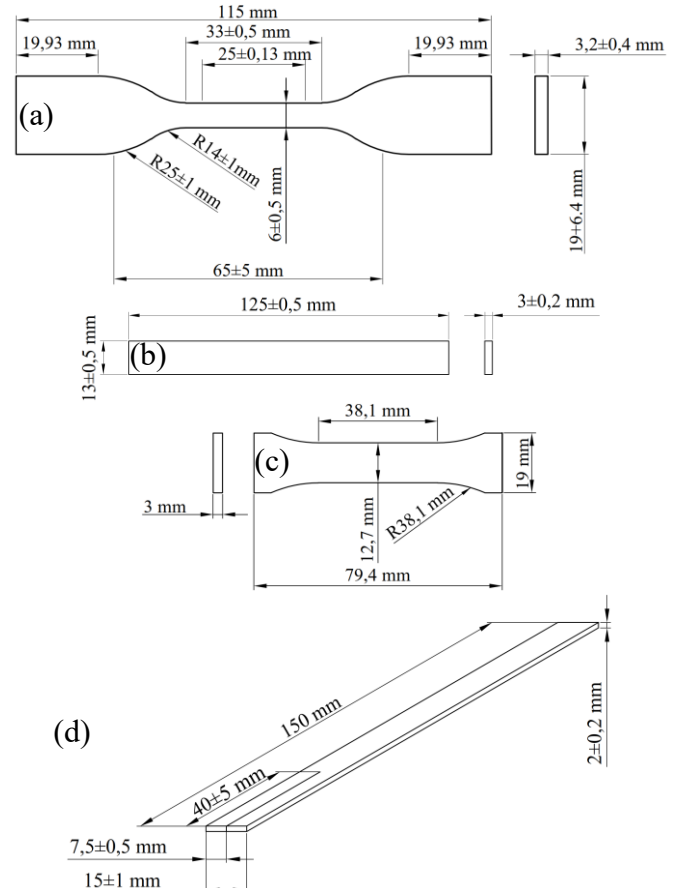
Üç noktadan eğme deneyleri ASTM D790 standardına göre (ASTM Std. D790, 2017) 1,4564 mm/min ilerleme hızında Shimadzu marka AGS-X 100 kN model 100 kN yük hücreli statik çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları Şekil 5(b)’te verilmiş olup 6 adet numune teste tabi

tutulmuştur. Deneylerden eğilme dayanımı ve eğilme durumuna göre elastisite modülü değerleri hesap edilmiştir. Eğilme dayanımı değerleri standartta belirtilen eğilme durumuna göre %5 şekil değişimindeki değerleri alınmıştır.

Basma deneyleri ASTM D695 standardına göre (ASTM Std. D695, 2016) 3,2 mm kalınlık altı numune boyutlarında (Şekil 5(c)); 1,3 mm/min ilerleme hızında Shimadzu marka AGS-X 100 kN model 100 kN yük hücreli statik çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Her reçete için 6 adet numune teste tabi tutulmuştur. Basma deneyi sonrası basma dayanımı, basmada akma sınırı ve basma durumuna göre elastisite modülü değerleri hesap edilmiştir. Basma dayanımı değerlerinde %10 şekil değişimindeki değerler dikkate alınmıştır.



Şekil 4. Shimadzu AGS-X 100 kN universal çekme-basma test cihazı (Akdoğan, 2020)



Şekil 5. Numune boyutları; a) çekme deneyi, b) üç nokta eğilme deneyi, c) basma deneyi ve d) yırtılma deneyi (Akdoğan, 2020)

Yırtılma dayanımı deneyi ASTM D624 (Tip-T) standardına göre (ASTM Std. D624, 2020) her bir numune serisi için 6 numuneden gerçekleştirilmiştir. Testler, Shimadzu marka AGS-X 100 kN model 100 kN yük hücreli statik çekme-basma test cihazında 50 ± 5 mm/min çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları Şekil 5(d)'te verilmiştir. Yırtılma testlerinden malzemelerin yırtılma dayanımları hesap edilmiştir.

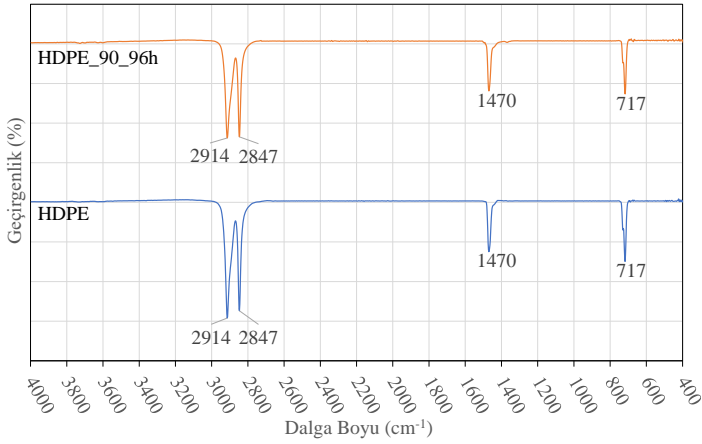
Sertlik ölçümleri ASTM D2240 standardına göre (ASTM Std. D2240, 2021) X.F Shore-D sertlik ölçüm cihazında (Şekil 6) 6 farklı numune üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. X.F Shore-D sertlik ölçüm cihazı (Akdoğan, 2020)

3. Bulgular

Yapay yaşlandırma yapılmış ve yapılmamış HDPE numunelerinin FTIR analizlerinde farklılık görülmemiş olup hemen hemen aynı pik noktaları vermiş olduğu görülmüştür (Şekil 7). İç yapısında kimyasal açıdan bir değişiklik olmadığı görülmüştür. HDPE metilen poli-alken sınıfından CH_2 gruplarının n molekül sayısında birbirine bağlanmasıyla oluşmaktadır. CH_2 moleküllerinde 2914 cm^{-1} bandında C-H gerilme ve asimetrik bağlanma, 2847 cm^{-1} bandında gerilme ve simetrik bağlanma, 1470 cm^{-1} bandında C-H eğilme, 717 cm^{-1} bandında C-H eğilme durumlarının olduğu belirlenmiştir (Akdoğan, 2019).

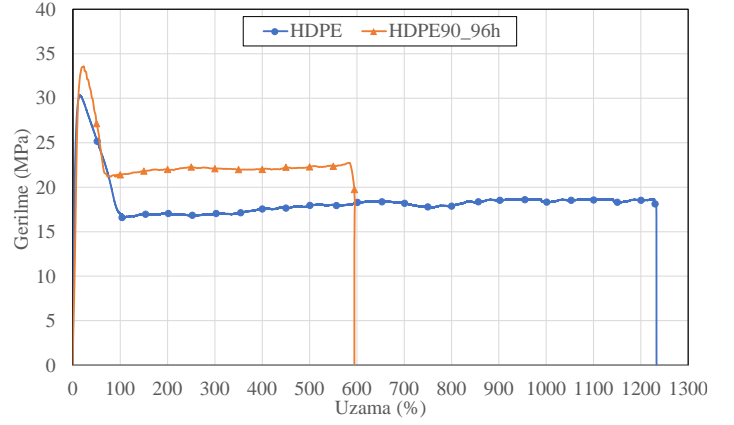


Şekil 7. HDPE ve HDPE90_96h malzemelerin FTIR analizi

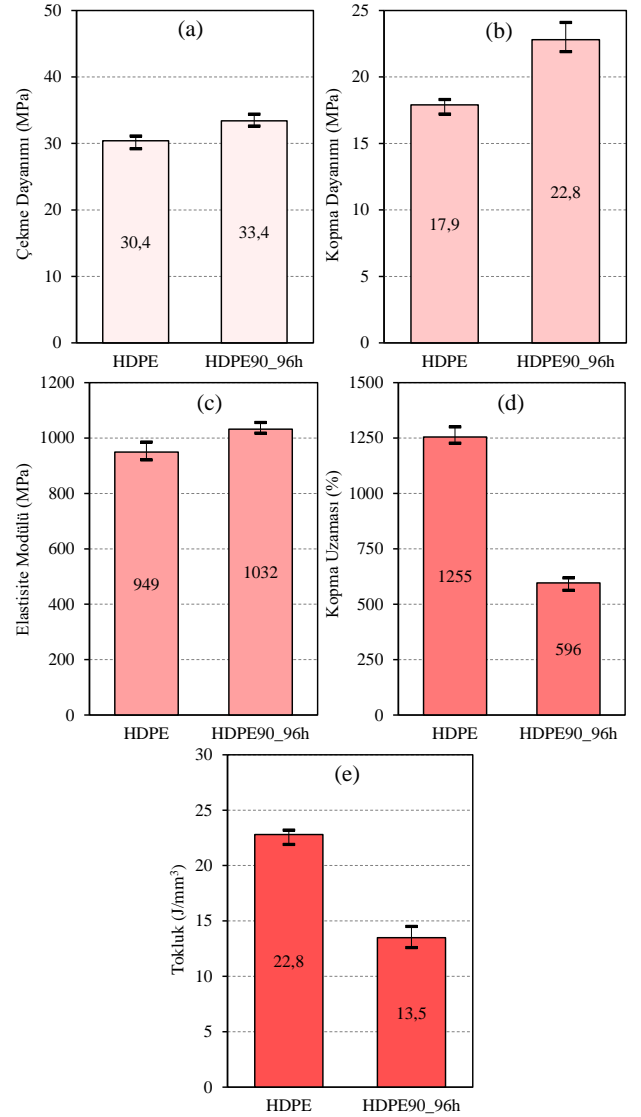
Çekme deneyleri sonucu oluşturulan gerilme-uzama grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Deney sonucu hesaplanan sayısal değerler Tablo 2'de verilmiştir. Çekme deneyi sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 9'da verilmiştir.

Tablo 2. Çekme deneyi sonuçları

Kod	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Tokluk (J/mm^3)
HDPE	$30,4 \pm 0,7$	$17,9 \pm 0,5$	949 ± 27	1255 ± 34	$22,8 \pm 0,6$
HDPE90_96h	$33,4 \pm 0,7$	$22,8 \pm 0,8$	1032 ± 14	596 ± 20	$13,5 \pm 0,7$



Şekil 8. HDPE ve HDPE90_96h malzemelerin çekme deneyi sonucunda oluşan Gerilme (MPa) - Uzama grafikleri (%)



Şekil 9. Çekme deneyi sonuçları a) çekme dayanımı, b) kopma dayanımı, c) çekme durumunda elastisite modülü, d) kopma uzaması ve e) tokluk sonuçları kıyaslaması

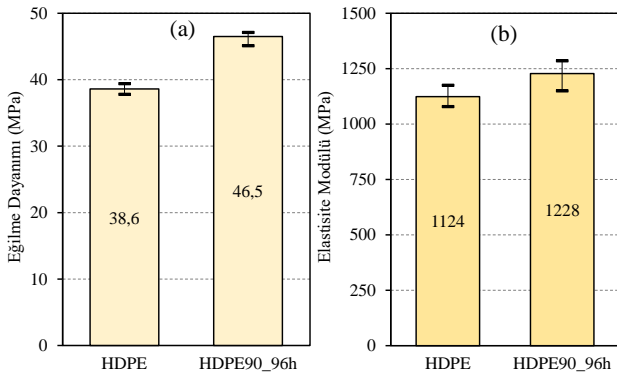
Yapılmış olan termal işlemin çekme dayanımı ve kopma dayanımı değerlerinde sırasıyla %10 ve %27'lik bir artışa sebep olurken kopma uzaması değerlerinde dikkate değer bir şekilde %53'lük bir düşüşe sebep olduğu belirlenmiştir. Çekme durumuna göre elastisite modülü değerlerinin %9 arttığı buna karşın tokluk değerinin ise kopma uzaması değerleriyle uyum

içerisinde olarak %41 oranında belirgin bir şekilde düştüğü tespit edilmiştir.

Eğilme deneyi sonuçlarından eğilme dayanımı ve eğilme durumuna göre elastisite modülü değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Eğilme deneyi sonuçlarının grafiksel olarak kıyaslaması Şekil 10'da verilmiştir. Yapılan yaşlandırma işlemi eğilme dayanımı ve eğilme durumuna göre elastisite modülü değerlerinin sırasıyla %20 ve %9 oranlarında arttığı belirlenmiştir.

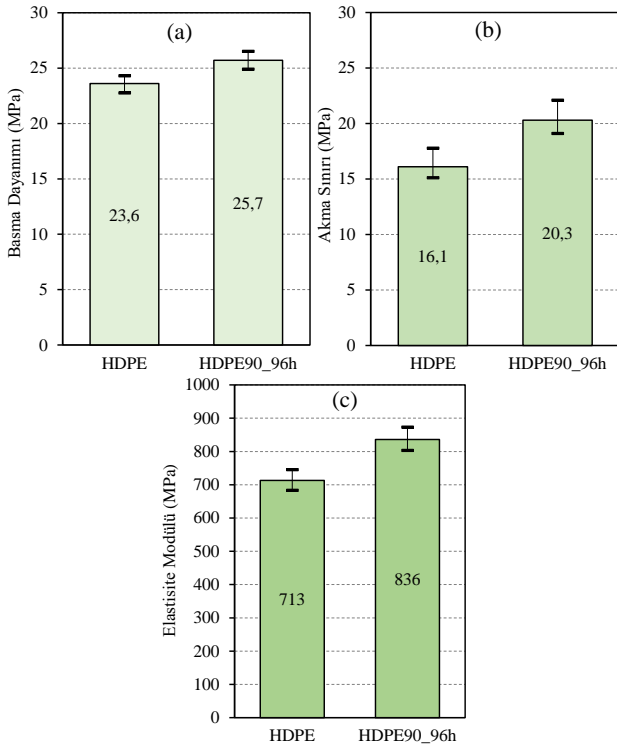
Tablo 3. Eğilme deneyi sonuçları

Kod	Eğilme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
HDPE	38,6±0,7	1124±36
HDPE90_96h	46,5±0,8	1228±53



Şekil 10. Eğilme deneyi sonuçları (a) eğilme dayanımı ve (b) eğilme durumunda elastisite modülü kıyaslaması

Yapılan yaşlandırma işleminin basma dayanımı, basma durumuna göre akma sınırı ve elastisite modülü değerlerini sırasıyla %9, %26 ve %17 oranlarında arttırdığı görülmüştür (Şekil 11). Basma deneyi sayısal sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 11. Basma deneyi sonuçları (a) basma dayanımı ve (b) basma durumunda elastisite modülü kıyaslaması

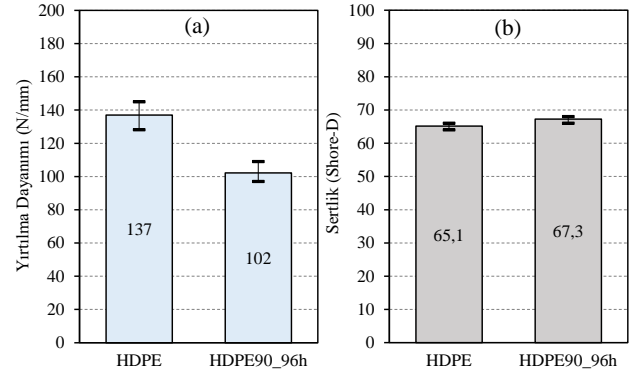
Tablo 4. Basma deneyi sonuçları

Kod	Basma Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
HDPE	23,6±0,6	16,1±0,9	713±25
HDPE90_96h	25,7±0,7	20,3±1,1	836±28

Yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. HDPE polimerine yapılan yaşlandırma işlemi yırtılma dayanımı değerlerini yaklaşık %25 düşürürken (Şekil 12(a)) sertlik değerlerini yaklaşık %3 oranında arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 12(b)).

Tablo 5. Yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm sonuçları

Kod	Yırtılma Dayanımı (N/mm)	Sertlik (Shore D)
HDPE	137±8	65,1±1
HDPE90_96h	102±6	67,3±1



Şekil 12. (a) Yırtılma deneyi ve (b) sertlik ölçümü kıyaslaması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Yapılmış olan mevcut çalışma uygulanan ısıl işlemin HDPE'nin mekanik özelliklerine olumlu etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Blom vd. (1995) yaptıkları çalışmada 75 °C sıcaklıkta 7 gün süre ile yaşlandırma işlemi sonucunda çekme ve eğilme durumuna göre elastisite modülü değerlerini değiştirmedikleri fakat mevcut yapılan çalışmada bir miktar arttırdığı bunun yanında basma durumuna göre elastisite modülü değerlerini arttırdığı görülmüştür. Yaşlandırma işleminin kopma uzaması değerini arttırdığını belirlemişlerdir fakat mevcut çalışmada dikkate değer bir şekilde düştüğü görülmüştür. Çekme dayanımı değerlerinin değişmediğini belirtmişlerdir fakat mevcut yapılan çalışmada arttığı gözlemlenmiştir.

Kartalis vd. (2001) yaptıkları çalışmada 110 °C sıcaklıkta artan yaşlandırma sürelerinde çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerini arttırdığı buna karşın kopma uzaması değerlerinde düştüğünü belirlemişlerdir. Mevcut yapılan çalışmada da benzer şekilde olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada Ferhoum vd. (2012) yılında yaptıkları çalışmadan farklı olarak çekme deneyine ilaveten üç nokta eğilme deneyi, basma deneyi, yırtılma deneyi ve sertlik ölçüm deneyleri gerçekleştirilip sonuçları kıyaslanmıştır. Yapılan deneyler sonucu mekanik özelliklerinin arttığı görülmüştür. FTIR analizlerinde iç

yapıda bir değişimin görülmediği mevcut çalışmada da gözlemlenmiştir.

Ting vd. (2015) yaptıkları çalışmada 60 °C sıcaklıkta artan yaşlandırma sürelerinde çekme dayanımı değerlerini dikkate değer düşürdüğünü buna karşın mevcut yapılan çalışmada arttığı görülmüştür. Kopma uzaması değerlerinin mevcut yapılan çalışma ile uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. FTIR analizleri ile kimyasal değişim olmadığı durumu yapılan mevcut çalışmada da ortaya koyulmuştur.

Zhao vd. (2018) yaptıkları çalışmada HDPE malzemenin 90 °C sıcaklıkta 28 günde bekletildiğinde kopma uzamasının en yüksek olduğunu belirtmişlerdir fakat mevcut çalışmada uygulanan ısı işlem kopma uzaması değerlerini dikkate değer düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Li vd. (2021) yaptıkları çalışmada 80 °C sıcaklıkta 5 gün ve artan yaşlandırma sürelerinde katkısız HDPE malzemenin sertliğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir fakat mevcut çalışmada 4 günlük yaşlandırma süresi ile sertlik değerlerinin düşmediği tersine bir miktar arttığı görülmüştür.

4. Sonuç

Bu çalışmada HDPE polimeri 90 °C sıcaklıkta 96 saat boyunca kül fırınında bekletilmiştir. Isıl işlem görmüş ve görmemiş numunelerin mekanik deneyleri yapılmış olup sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Yapılan ısı işlemi HDPE malzemenin çekme dayanımı, kopma dayanımı, çekme durumunda elastisite modülü değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı buna karşın kopma uzaması ve tokluk değerlerini dikkate değer bir şekilde düşürdüğü tespit edilmiştir.
- Isıl işlem eğilme dayanımını belirgin bir şekilde arttırırken eğilmede elastisite modülü değerlerini de arttırdığı görülmüştür.
- Benzer şekilde basma deneylerinde basma dayanımı, basma durumunda akma sınırı ve elastisite modülü değerlerinin de ısı işlem ile arttığı gözlemlenmiştir.
- Isıl işlemin yırtılma direncini düşürdüğü buna karşın sertlik değerlerini arttırdığı belirlenmiştir.

5. Teşekkür

Yazarlar yapılan çalışmada Pamukkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarları ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarları kullanıldığı için her iki kuruma da teşekkürlerini sunar.

Kaynakça

- Akdoğan, E. (2019) *Polimer esaslı kompozit malzemelere farklı dolgu maddelerinin ilavesinin mekanik ve ısıl özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi* (Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli). Erişim adresi <http://acikerisim.pau.edu.tr:8080/xmlui/handle/11499/26338>
- Akdoğan, E. (2020). The effects of high density polyethylene addition to low density polyethylene polymer on mechanical, impact and physical properties, *European Journal of Technique*, 10(1), 25-37. doi: 10.36222/ejt.646693

- Akdoğan, E. and Bektaş, N.B. (2018). The effects of nanoclay on mechanical properties of high density polyethylene and polypropylene materials, *Acta Physica Polonica A*, 134(1), 717-721. doi: 10.12693/APhysPolA.134.297
- Akdoğan, E. and Bektaş, N.B. (2019). The effects of intumescent flame retardant and nanoclay on mechanical and thermal expansion properties of high density polyethylene composites, *Acta Physica Polonica A*, 135(4), 717-721. doi : 10.12693/APhysPolA.135.717
- ASTM D618. (2021). *Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*, American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0618-13
- ASTM D624. (2020). *Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers*, American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0624-00R20
- ASTM D638. (2017). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0638-14
- ASTM D695. (2016). *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*, American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0695-15
- ASTM D790. (2017). *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D0790-10
- ASTM D2240. (2021). *Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness*. American Society for Testing and Materials. doi: 10.1520/D2240-15R21
- Blom, H. P., Teh, J. W., & Rudin, A. (1995). iPP/HDPE blends: Interactions at lower HDPE contents. *Journal of Applied Polymer Science*, 58(6), 995–1006. doi: 10.1002/app.1995.070580605
- Ferhoum, R., Aberkane, M., Ouali, M. O. and Hachour, K. (2012). *The thermal ageing effect on viscoplastic behaviour of high density polyethylene (HDPE)*. Paper Presented at 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Nantes, France, 2-4 July 2012. doi: 10.1115/ESDA2012-82548
- Kartalis, C. N., Papaspyrides, C. D., Pfaendner, R., Hoffmann, K., & Herbst, H. (2001). Recycled and restabilized HDPE bottle crates: Retention of critical properties after heat aging. *Polymer Engineering and Science*, 41(5), 771–781. doi: 10.1002/pen.10774
- Li, S., Dong, C., Yuan, C., Liu, S., & Bai, X. (2021). Effects of CeO₂ nano-particles on anti-aging performance of HDPE polymer during friction. *Wear*, 477, 203832. doi: 10.1016/j.wear.2021.203832
- M. Saçak, (2008). *Polimer Kimyası*, Ankara, Türkiye, Gazi Kitabevi.
- S. Akkurt, (2007). *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, İstanbul, Birsen Yayınevi.
- Ting, S. S., Achmad, N. K., Ismail, H., Santiago, R., & Zulkepli, N. N. (2015). Thermal degradation of high-density polyethylene/soya spent powder blends. *Journal of Polymer Engineering*, 35(5), 437–442. doi: 10.1515/polyeng-2014-0095
- Zhao, B., Zhang, S., Sun, C., Guo, J., Yu, Y. X., & Xu, T. (2018). Aging behaviour and properties evaluation of high-density polyethylene (HDPE) in heating-oxygen environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 369(1). doi: 10.1088/1757-899X/369/1/012021