

Enjeksiyonla şekillendirilmiş polipropilen kompozit kilitleme halkasında cam elyaf takviyesinin basma esnekliği ve boyut kararlılığına etkisi

Effect of glass fiber reinforcement on compressive flexibility and dimensional stability in injection-molded polypropylene composite locking ring

Muhammed DAĞLI^{1*}, Ahmet DEMİRER¹, Esra YUMAT²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
muhammetdagli@gmail.com, ademirer@subu.edu.tr

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
yumatesra@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 10.07.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 11.02.2025

Düzeltilme Tarihi/Revision: 03.02.2025

doi: 10.5505/pajes.2025.22866
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada boru bağlantı sisteminde sıklıkla kullanılan mekanik birleştirme yönteminin ara parçası olarak görev alan ve sızdırmazlık sağlayan kilitleme halkasının üretimi ele alınmıştır. Kilitleme halkası, doğası gereği nem absorbe etmeyen bir polimerdir. Çalışmada enjeksiyon kalıplama metodu ile üç farklı polimer malzemeden (katkısız saf polipropilen (PP), %20 ve %30 cam elyaf katkılı PP) kilitleme halkası numuneleri üretilmiştir. Kilitleme halkasının kullanıldığı yer itibarı ile üzerine uygulanabilecek statik kuvvet sonrası kırılma hasarı olmaması ve eski haline dönebilme kabiliyeti yani boyutsal kararlılık ve üretilme sonrasında da dengeli minimum ölçüsel sapma istenmektedir. Boyutsal kararlılık için halka esnekliği testi ve buna ek olarak, numunedeki kalıpta çekme ve çarpılma oranları ölçüm ve analiz yoluyla belirlenmiştir. Kilitleme halkası numuneleri 3 boyutlu lazer ölçüm cihazı ve derinlik kumpası ile çarpılma miktarları; Moldex 3D® akış analiz programı ve dijital kumpas yardımı ile de kalıpta çekme (büzülme) miktarları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak cam elyaf oranının artması kalıpta çekmede %0,7-1,29 ve çarpılmalarda 0,1 mm ye kadar azalmaya neden olmuştur. %20 cam elyaf katkılı PP numuneler, hem halka esnekliği testini kırılma hasarı olmadan iç çapının %40'ı kadar esneyerek geçmiştir, hem de çarpılma ve çekme değerleri bakımından en uygun kilitleme halkası olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Saf PP, PP+%20 CE, PP+%30 CE, Moldex 3D®, Boyutsal kararlılık, Halka esnekliği tayini.

Abstract

In this study, the production of a locking ring, which serves as an intermediate component in a mechanical joining method commonly used in pipe connection systems and ensures sealing, is addressed. The locking ring is a polymer that does not absorb moisture by nature. In this study, locking ring samples were produced using the injection molding method from three different polymer materials: pure polypropylene (PP) without additives, and PP with 20% and 30% glass fiber reinforcement. Given the application of the locking ring, it is required to have no fracture damage after the application of static force, the ability to return to its original state (dimensional stability), and minimal dimensional deviation after production. For dimensional stability, ring flexibility tests were conducted, and additionally, the shrinkage and warpage rates in the mold were determined through measurement and analysis. The warpage amounts of the locking ring samples were measured with a 3D laser device and depth caliper, while the shrinkage amounts in the mold were compared using Moldex 3D® flow analysis software and a digital caliper. As a result, increasing the glass fiber ratio resulted in a decrease in mold shrinkage by 0.7-1.29% and warpage by up to 0.1 mm. The samples with 20% glass fiber reinforced PP were identified as the most suitable locking rings, as they passed the ring flexibility test without fracture damage by flexing up to 40% of their inner diameter and had the most favorable warpage and shrinkage values.

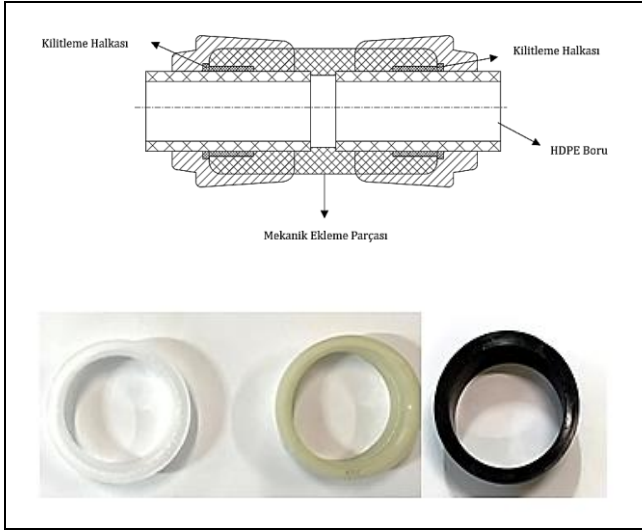
Keywords: Pure PP, PP+%20 CE, PP+%30 CE, Moldex 3D®, Dimensional stability, Determination of ring flexibility.

1 Giriş

Günümüzde bazı mühendislik polimerleri, yüksek dayanım, iyi boyutsal kararlılığı, düşük çekme ve çarpılma gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Bu tercih petrol, su, doğalgaz gibi akışkanların uzun mesafeler boyunca taşınması amaçlı boru hatlarında ve bilhassa destek ve de bağlantı elemanlarında sıkça görülmektedir [1],[2]. Kullanılan bu ara bağlantı elemanları genellikle kaplin benzeri mekanik birleştirme yöntemlerinde bulunmaktadır. Kaplin metodu (Şekil 1) mekanik olarak bağlantısı sağlanan borular, basitçe birbirine iterek güvenli, sızdırmaz bir bağlantı oluşturmak üzere tasarlanmıştır [3]. Çalışma mantığı kaplin adaptörü ile birbirine bağlanacak olan borular eksenlerine dik olarak kesildikten sonra, uçları yaklaşık 15°'lik bir açı ile

konikleştirilir, sonra boru çevrilerek kaplinin iç kısmındaki çıkıntıya kadar itilir. Her iki boruda iyice yerleştirildikten sonra somunlar elle sıkılarak bağlantı tamamlanmış olur. Boru tutucu ile somun arasında akışkanın sızdırmazlığını sağlayan kilitleme halkası bulunmaktadır. Bu kilitleme halkaları, üzerine uygulanan statik ve dinamik kuvvetleri absorbe etme kabiliyeti ve boyutsal kararlılık gibi avantajları sebebiyle tercih edilmektedir. Kilitleme halkası uygulanan kuvvet karşısında boru ile uyumlu bir şekilde esnemeli ve tekrar eski formuna dönmelidir. Bu çalışmamızda, kalıpta çekme oranı düşük, aynı zamanda enjeksiyon ile kalıplama metoduna uyumlu olan saf ve %20 ile %30 cam elyaf takviyeli polipropilen hammaddesi kullanılarak kilitleme halkası imal edilmiştir. Bu konuda yapılmış makale çalışmaları literatürde taranarak aşağıda verilmiştir.

*Yazışılan yazar/Corresponding author



(a): Saf PP. (b): PP+%20CE. (c): PP+%30CE.

Şekil 1. Kaplin metodu ve kilitleme halkası görselleri.

Figure 1. Coupling method and locking ring visuals.

Çakır ve arkadaşları, farklı enjeksiyon şartları (enjeksiyon sıcaklığı (170-210 °C), enjeksiyon basıncı (4-8 bar), çevrim süresi (20-40 sn) ve katkı maddesi yüksek ve düşük yoğunluklu polietilen malzemelere ayrı ayrı içerisine sırasıyla %10, %20, ..., %50 oranlarında %10 adımlarla karıştırılmıştır. Üretilen düşük yoğunluklu polietilen plastik malzemelerin hacimsel çekme miktarlarını belirlemişlerdir. Enjeksiyon basıncı ve kalıplama süresinin artması ile çekmenin azaldığı, katkı maddesi ve enjeksiyon sıcaklığının artırılması ile çekmenin arttığı tespit edilmiştir [4]. Güllü ve arkadaşlarının yapmış olduğu başka bir bilimsel çalışmada ise, ağırlıkça %15 ve %30 oranlarında cam elyaf katkılı polipropilen kullanılarak enjeksiyonla kalıplama metodu ile üretilen PMK (Polimer Matrisli Kompozit) malzemelerin elyaf oranlarının mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak cam elyaf oranı %15'den, %30'a arttırıldığında çekme dayanım değeri %30.92; darbe mukavemeti 19.81 ve %ε birim şekil değiştirme miktarlarının ise %35.58 oranında artış gösterdiğini tespit etmişlerdir [5].

Ryu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise, %10-15 ve 20 oranında cam elyaf takviyeli PP (polipropilen) polimer kompozitleri enjeksiyon kalıplama ile elde etmiş ve katkı maddesinin çekme oranına etkisini incelenmişler. Cam elyaf takviye oranı arttıkça sırasıyla kalıpta çekme miktarı doğru orantılı olarak 0.6 – 0.4 ve 0.3 oranında azalmaktadır [6].

Reyes ve Sharma yaptıkları çalışmada, %50-50 eşit dokunmuş ve %80-20 eş olmayan oransal dokunmuş cam elyaf takviyeli PP arasında farklı darbe yükleri uygulamışlar ve ayrıca hasar öncesi ve sonrası eğme testleri uygulanmış ve %80-20 oransal dokunmuş kompozit plakanın eğilme dayanımında düşme %15 daha az olmuştur [7].

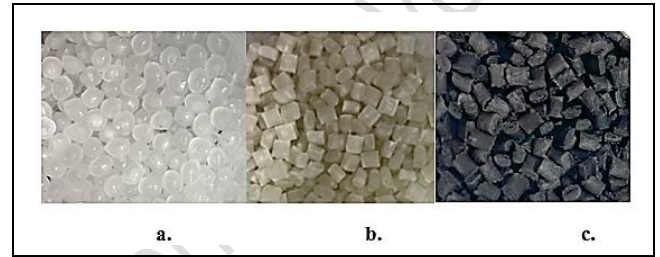
Çalışmada petrol, su ve doğalgaz alt yapı çalışmalarında sızdırmazlık parçası olarak kullanılan kilitleme halkasının çalışması esnasında basılmaya maruz kaldığında en az %30 esneyebilen ve mekanik özellikleri yüksek malzemeden üretilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda katkısız-sade ve cam elyaf katkılı PP (Polipropilen) polimer numunelerin üretilmesi ve bu standardı sağlaması amaçlanmaktadır. Deneysel çalışmada katkısız-sade Saf PP, %20 ve %30 cam elyaf katkılı üç farklı malzemeden numuneler üretilmiştir. Numune

basım öncesinde parça tasarımı ve kalıp tasarımları tamamlanmıştır.

2 Malzeme ve yöntem

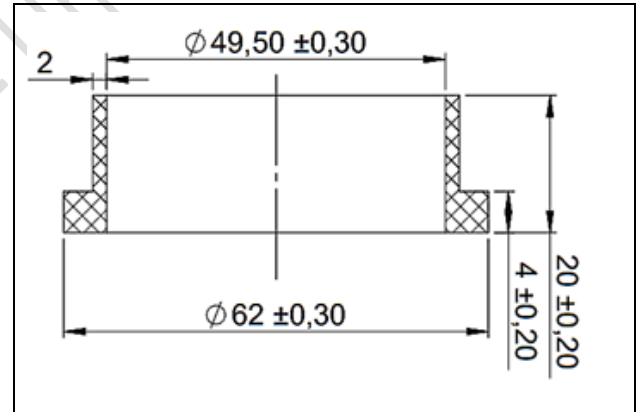
2.1 Malzemeler

Deneylerde kullanılan polimer malzemeler Tisan mühendislik plastikleri firmasından temin edilmiş ve teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de verilen kalıpta çekme oranları, sertlikleri, çekme dayanımı ve yoğunlukları üretici firmanın verdiği, proses sıcaklıkları ise tavsiye ettiği alt ve üst limitlerdir. Granül halde temin edilen hammaddelerin görselleri de Şekil 2'de verilmiştir. Tedarik edilen firma kaynaklı hammaddelerin renkleri tedarikten kaynaklı farklılık göstermektedir. Kilitleme halkası deney numunesinin istenen teknik ölçüleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. (a): SAF PP. (b): PP+%20CE. (c): PP+%30CE.

Figure 2. (a): PURE PP. (b): PP+20%CE. (c): PP+30%CE.



Şekil 3. Deney numunesinin teknik ölçüleri.

Figure 3. Technical dimensions of the test sample.

PP malzemenin su emme oranı çok düşüktür ve 24 saat suda bekletildiğinde su emme oranı %0.01'den azdır. Dolayısıyla kalıplanmadan önce kurutulmasına gerek duyulmamış ve su emme testi uygulanmamıştır. Testi yapılan PP kilitleme halkası yeraltında toprak zemin içinde çalışacak olup UV ışınına maruz olmayıp, sıcak-soğuk aralığı ortam sıcaklığının yaklaşık 10°C olduğu şartlarda çalışacaktır. PP malzeme performansına etki edecek bir faktörde iç basınç testini geçmesidir. İlerleyen çalışmalarımızda bununla ilgilide çalışmalar yapılacaktır.

2.2 Yöntem

PP numunelerin enjeksiyon kalıplamadaki deney parametreleri Tablo 2'de, verilmiştir. Enjeksiyon makinası ve teknik özellikleri de Tablo 3'te verilmiştir. Kilitleme halkası kalıbı normal yolluklu ve 4 gözlü kalıp olarak tasarlanmıştır (Şekil 4).

Tablo 1. PP ve Cam elyaf kompozitlerin teknik özellikleri.

Table 1. Technical specifications of PP and Glass fiber composites.

Malzeme Adı (Ticari adı)	Yoğunluğu (g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Tavsiye edilen Proses Sıcaklık (°C)	Tahmini Kalıpta Çekme Oranı (%)	Sertlik (Shore D)
SAF PP (Tisoplen)	0.90-0.94	30-35	210-240	1.00-3.00	50
PP+%20CE (Tisoplen)	1.03-1.07	70-80	210-240	0.30-1.00	60
PP+%30CE (Tisoplen)	1.09-1.13	80-90	210-240	0.01-1.00	70

Tablo 2. Enjeksiyon deney parametreleri.

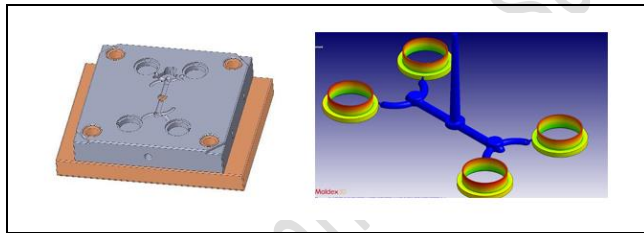
Table 2. Injection experiment parameters.

Plastik Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (±2°C)	Enjeksiyon Basıncı (bar)	Ütüleme Basıncı (bar)	Ütüleme Süresi (s)	Çevrim Süresi (s)
SAF PP	200					
PP +%20CE	220	40	70	60	10	25
PP +%30CE	220					

Tablo 3. Enjeksiyon makinesi teknik özellikleri.

Table 3. Injection machine technical specifications.

Plastik Enjeksiyon Makinesi Markası	Krauss Maffei	
	Kapama Kuvveti	60 Ton
Basma Kapasitesi	60 g	
Enjeksiyon Basıncı	165 MPa	



Şekil 4. Enjeksiyon kalıbı ve Moldex 3D® dolum analiz görseli.

Figure 4. Injection mold and Moldex 3D® filling analysis visual.

Kalıp tasarımı öncesi enjeksiyon giriş noktalarının tayini, enjeksiyon basıncı ve sıcaklığı, ütüleme basıncı ve süresi soğutma kanal çapları, tasarımı vs. gibi parametrelerin tasarım aşamasında belirlenmesi ve doğrulanması amacıyla Moldex3D® programı kullanılmıştır. Moldex3D® programıyla dolum analizi gerçekleştirilmiştir. Dolum analiz sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Daha sonra kalıp imalatı yapıp, simülasyon programında elde edilen parametrelerde numunelerin enjeksiyonla basın işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kalıp soğutma kanalları, kalıp sıcaklığı ve süresi gibi parametreler sabit tutulmuş olup cam elyaf oranının esnemeye etkisi birinci derece önemli olduğu için ele alınmıştır.

2.3 Halka esnekliği tayini (Basma testi)

Halka esnekliği testi bir tür basma testi olup alt yapıda kullanılan boru ve ekleme parçalarının esnekliğini belirlemek

için (araç geçişleri vb.) yapılan bir testtir. Çalışmada halka esnekliği testi TS EN ISO 13968 standardına göre her bir farklı parametrede üretilen numunelerden 6'şar adet alınarak gerçekleştirilmiştir. Basma kuvveti sonunda ürün çapının %30'u kadar esnemeye kırılmadan dayanabilmesi gerekmektedir. Basma cihazının teknik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. Uygulanan kuvvet sonrası kırılma ve tamamen çökme olmaması ve eski haline dönebilme kabiliyeti (boyutsal kararlılık) tespit edilmektedir. Deney numuneleri test öncesi 23 °C laboratuvar koşullarında ve 24 saat bekletilerek kondisyonlanmıştır. Deney parçası üst ve alt plaka ile temas edecek şekilde basma cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 5).


Bunun için parça çap farkının olduğu faturalı kısma uygun hazırlanan aparata oturtulmuştur. Testte en az dış çapının %30'unu aşarak kırılma hasarı oluşuncaya kadar sıkıştırma-basma işlemi standartta belirtilen 5mm/dk sabit hızda gerçekleştirilmiştir [8]. Bu esnada uygulanan kuvvet ve meydana gelen deformasyon grafiksel olarak kaydedilmiştir. Basma kuvvetine karşılık % kısalma değerleri grafiğe aktarılmıştır.

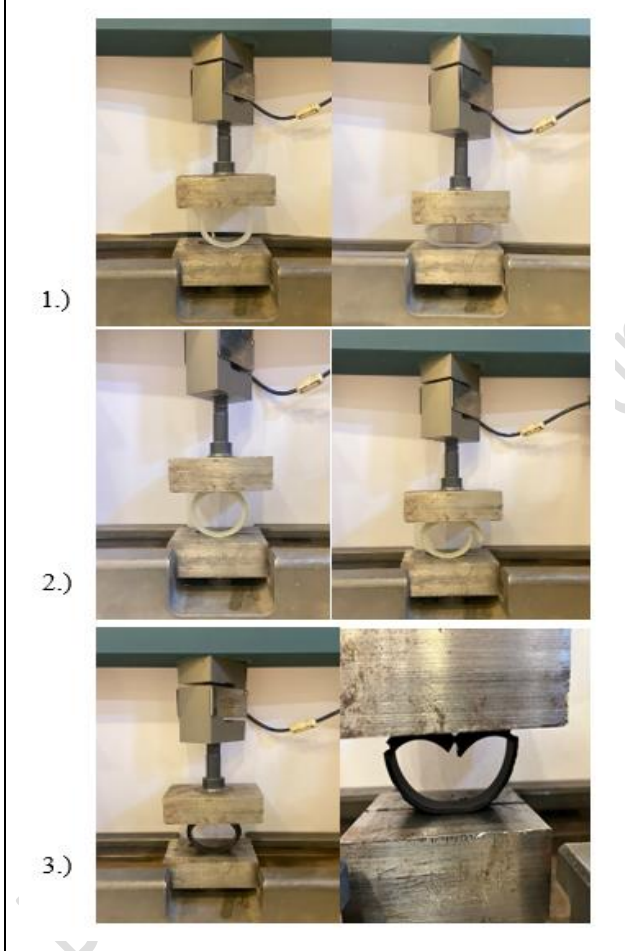
2.4 Sertlik testi

Sertlik tayini için Shore D sertlik test cihazı kullanılmıştır. Numuneler üzerinden alınan parçalar YAMER marka (SAS-D model) analog sertlik ölçme cihazı ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Basma cihazı ve teknik özellikleri.

Table 4. Pressing device and technical specifications.

	Cihaz Marka/Model	TINIUS OLSEN
	Basma kapasitesi(kN)	2000 kN PLC Kontrollü
	Basma hızı (mm/dak.)	5 ± 1



Şekil 5. Halka esnekliği testi öncesi ve sonrası numune görselleri.

Figure 5. Sample images before and after the ring flexibility test.

Aynı şartlarda basılan numunelerin her birinden 6'şar adet numune alınarak ISO 868 (ASTM D 2240) standardına uygun olarak ölçülmüş ve ortalama değerleri dikkate alınmıştır. Ürün üzerinden alınan numune görselleri ve sertlik cihazı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Test numuneleri ve Shore D Sertlik ölçüm cihazı görselleri.

Figure 6. Test samples and Shore D Hardness measuring device images.

2.5 Kalıpta çekme (büzülme) ve çarpılma testleri

Polimer malzemeler kalıplanma sonrasında soğuyarak katılaştıklarında kalıptaki ölçülerinden hacimce büzülerek bir miktar küçülürler. Bu durum kalıpta çekme olarak adlandırılır. Bu çekme miktarı diğer ifadeyle büzülme miktarı genelde oransal olarak ifade edilir. Amorf yapı polimerlerde bu oran ortalama % 0.5; yarı kristal polimerlerde ise %1.5 civarındadır [9]. Demire ve Güney'in enjeksiyonla basılan ABS kompozit malzemeye farklı oranlarda katkı maddeleri katarak mekanik özelliklerini ve çekme oranlarını incelemiş ve katkı oranı artmasıyla çekmelerde azalma tespit etmişlerdir [10].

Çalışmada kalıpta çekme (büzülme) oranı, hem teorik olarak deney numunesi üzerinden ölçüm alınarak, hem de bilgisayar destekli Moldex3D® akış analiz programında simüle edilerek belirlenmiştir. Böylece deneysel ve teorik yöntemlerin uyumluluğu gözlemlenmiştir. Deney numunesinin kullanım yerine bağlı olarak, işlevselliği açısından iç çaptaki ölçüsel değişimler daha fazla önem arz etmektedir. Bu nedenle değerlendirmede bu iç çap dikkate alınmıştır. Deneysel çalışma kapsamında her bir deney numunesinden 6'şar adet alınarak, üretim esnasında ve oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra 0.01 mm hassasiyetinde dijital kumpas ile iç çap çekme miktarı ölçülmüştür. Numunelerde kademeli (Dk) ve düz bölgedeki (Dd) iç çap çekme değerleri cidar kalınlığı farklılığından dolayı, iç çap ölçüleri iki eksen de (X ve Y) ayrı ayrı alınmıştır. Kalıp gözü iç çap ölçüsü (Dka) 50.25 mm referans alınarak çekme değerleri numune üzerindeki ortalama iç çap üzerinden hesaplanarak ortalamaları değerlendirmeye alınmıştır. % Çekme değerleri Şekil 7'de gösterildiği üzere ölçümler yapılmıştır. Ölçüm alınan bölgeler, yolluk girişinin bulunduğu eksen "X" ve buna dik olan "Y" eksenidir (Şekil 7). X ve Y eksenleri iç çap ölçümleri ile kalıp gözü iç çap ölçüsü arasındaki fark % iç çap çekme formülü (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 6). İki ölçü arasındaki fark yuvarlaklıktan sapma (ovallik-çarpılma) olarak tabloya (Tablo 7) aktarılmıştır.

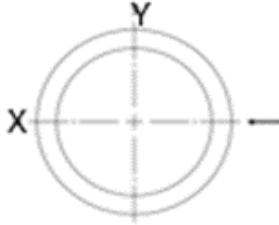
Tablo 5. 3D lazer tarama cihazının teknik özellikleri.

Table 5. Technical specifications of the 3D laser scanning device.

3 Boyutlu Lazer Tarama Cihazının Teknik Özellikleri	3 Boyutlu Lazer Tarama Cihazının Teknik Özellikleri	
	Markası	HEXAGON ABSOLUTE ARM
Özellikleri	RS7 Lazer Tarayıcı, 7 Eksenli 0.001 mm hassasiyet	

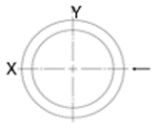
Tablo 6. Ölçüm aleti ile tespit edilen % iç çap kalıpta çekme (büzülme) değerleri tablosu.

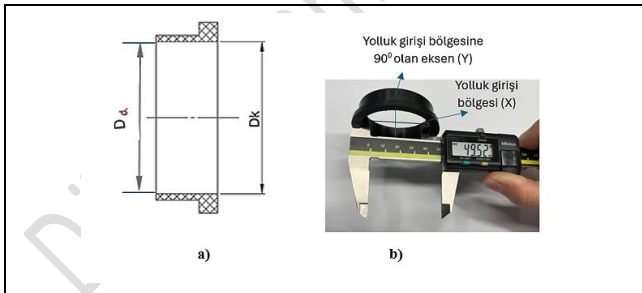
Table 6. Table of %inner diameter mold shrinkage values determined by the measuring tool.

	Kademeli bölge çapı (Et kalınlığı fazla kısım) (D _k)		İç çap çekme oranı (D _k)		Düz bölge çapı (D _a)		İç çap çekme oranı (D _a)	
	X (mm)	Y (mm)	X (%)	Y (%)	X (mm)	Y (mm)	X (%)	Y (%)
Saf PP	49.50	49.20	1.49	2.09	49.70	49.60	1.09	1.29
PP+%20CE	49.70	49.60	1.09	1.29	49.90	49.80	0.70	0.90
PP+%30CE	49.80	49.70	0.90	1.09	50.05	50.00	0.40	0.50

Tablo 7. Ölçüm aleti ile tespit edilen ovallık değerleri.

Table 7. Ovality values determined by the measuring device.

	Kademeli bölge çapı (et kalınlığı fazla) (D _k)		Dairesellikten sapma oranı (Ovallik) (mm)	Düz bölge çapı		Dairesellikten sapma oranı (Ovallik) (mm)
	X (mm)	Y (mm)		X (mm)	Y (mm)	
Saf PP	49.50	49.20	0.30	49.70	49.60	0.15
PP+%20CE	49.70	49.60	0.10	49.90	49.80	0.10
PP+%30CE	49.80	49.70	0.10	50.05	50.00	0.05



Şekil 7(a): Kalıptan alınan ölçüm bölgesi. (b): Numune üzerinden iç çap ölçüsü alınan bölgelerin görseli.

Figure 7. (a): Measurement area taken from the mold. (b): Visual of the areas where inner diameter measurements were taken on the sample.

Numunelerin % kalıpta çekme oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

D_{ka}: 50.25 mm (Kalıp gözü iç çap ölçüsü)

D_i: Kalıplama sonrası numune iç çap ölçüsü (mm)

$$\% \text{ Kalıpta Çekme Oranı} = (D_{ka} - D_i) \cdot 100 / D_{ka} \quad (1)$$

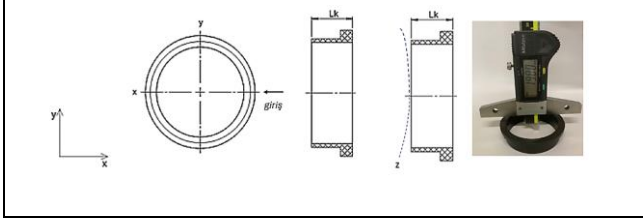
2.6 Lazer cihazı ile çarpılmanın ölçülmesi

Tablo 5'te teknik özellikleri verilen "Lazer tarayıcı" ile kalıplanmış deney numuneleri ile tasarlanan nihai parçanın CAD datası üzerinden çarpılma olan bölgeler kontrol edilmiştir. Kullanılan 3 boyutlu lazer tarama cihazının teknik özellikleri Tablo 5'te verilmiştir.

2.7 Dijital derinlik kumpası ile çarpılma miktarının belirlenmesi

Deneyisel çalışma kapsamında numunelerde, kalıplama sonrasında Şekil 8'de görüldüğü gibi X ve Y ekseninde çekme ve çarpılma ve Z ekseninde Şekil 8'deki gibi bir çarpılma meydana getirmiştir. Z yönündeki boyutsal çarpılma değerleri 0.01 mm dijital derinlik kumpası kullanılarak düz bir zeminde (pleyt üzerinde) ölçülmüştür. Numunenin boyutsal çarpılma miktarları yolluk giriş bölgesi (X) ve yolluk bölgesine 90° olan

(Y) eksenlerine göre kontrol edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 3'te belirtilen numunenin yüksekliğinden ($L_k=20$ mm) çıkartılarak aradaki çarpılma farkı belirlenmiştir. Numunelerde görülen çarpılmalar iki yönlü X ve Y eksenlerine çevrilerek Z eksenine boyunca ölçülmüştür. Bu çarpılma farklılığı parça et kalınlığı farkı ve giriş yerinin konumundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. Boyutsal değişim (çarpılma) verilerinin elde edildiği bölge görselleri.

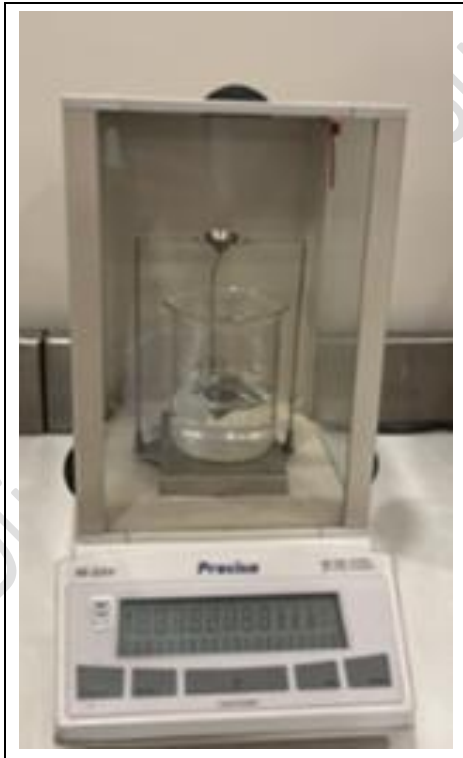
Figure 8. Images of the region where dimensional change (distortion) data were obtained.

Zx: Numunenin Z eksenine-yolluk tarafındaki toplam çarpılma miktarı, 20-Zx (mm) (2)

Zy: Numunenin Z eksenine-yolluğa 90° olan bölgenin toplam çarpılma miktarı, 20-Zy (mm) (3)

2.8 Yoğunluk testi

Deney numunelerinin yoğunluğunu belirlemek amacıyla DIN EN ISO 1183-1 Standardı referans alınmıştır. Enjeksiyon ile kalıplanmış malzemelerden her bir deneme için 6'şar adet numune kesilmiştir. Tartma işlemi için 0.0001 hassasiyetindeki PRECISA XB 220A terazisi kullanılmıştır (Şekil 9). Deney sırasında sıvı faz olarak daha düşük yoğunlukta (23 °C'de 0.788 g/cm³) olan alkolle testler gerçekleştirilmiştir.



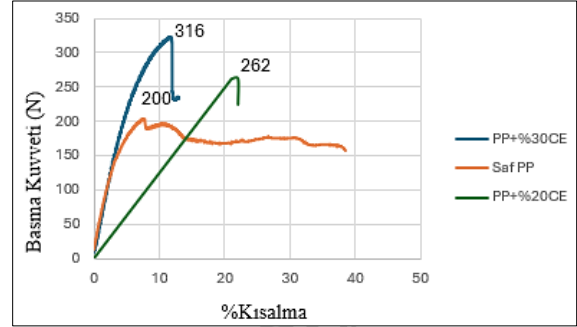
Şekil 9. Hassas terazi (0.0001mm) görseli.

Figure 9. Precision scale (0.0001mm) visual.

3 Araştırma bulguları ve tartışma

3.1 Halka esnekliği test sonuçları

Farklı oranlarda cam elyaf katkılı polipropilen kompozit malzeme kullanılarak elde edilen deney numunelerinin boyutsal stabilitelelerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen halka esnekliği test sonuç grafiği Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. PP, PP+%20CE, PP+%30CE numunelerin halka esnekliği test grafiği görseli.

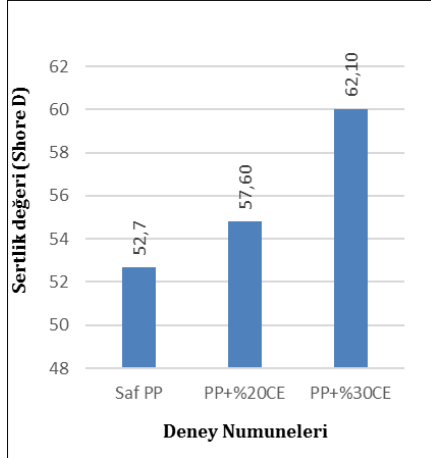
Figure 10. Ring elasticity test graph visual of PP, PP+%20CE, PP+%30CE samples.

Elde edilen grafik verilerinde de görüldüğü üzere, PP içerisindeki cam elyaf takviye oranı arttıkça, basma kuvveti değerleri de sırasıyla %31 ve %58 oranında artış göstermiştir. Bu değere karşılık numunelerdeki % kısalma oranı da yaklaşık olarak sırasıyla %42.10 ve %71.05 oranında azalma göstermiştir. Polimer içerisindeki cam elyaf oranı arttıkça, molekül zincirleri içerisindeki boşluklar azalmakta malzeme daha rijit hale gelmektedir. Bu sebeple de boyutsal olarak esneme (kısalma) değerleri azalmaktadır. Saf PP ile elde edilen deney numuneleri halka esneklik tayini denemesinin %30 çap sınırını aşmış, kırılma veya çatlama olmadan testi tamamlamıştır (Şekil 5). PP+%20CE deney numuneleri ise çap oranının %40'ına (20.6 mm) kadar esnemiş ve daha sonra kırılma hasarına uğramıştır. PP+%30CE deney numunelerinde ise, dış çap oranının %20'sine (10.3 mm) gelince kırılma hasarı oluşmuş ve %30 dış çap esneme sınır değerini aşmamıştır. Şayet %30 oranındaki cam elyaf kullanılması mekanik olarak gerekli görülürse PP malzemeye elastomerik katkıların katılması uygulanabilir [1].

Saka ve Ortakçının 2022 yılında yapmış olduğu çalışma referans alınarak, halka esnekliği TS EN ISO 13968 standardında belirtilen %30'luk deformasyon yükü altında kilitleme halkası deney numunelerine çatlama, kırılma ve deformasyon kontrolü yapılmıştır [11]. Evirgen ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir başka bilimsel çalışmada ise, ağır taşıtların sebebiyle yol üst yapısının bozulmasından kaynaklı meydana gelen ondülasyon probleminin çözümü için, yol dolgu malzemesi olarak cam ve polipropilen tipi elyaflar agrega karışımının içerisinde eklenerek modifikasyonun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deney aşamasında 169 numune hazırlanmış, 120 adedine %0.1-%0.8 oran aralığında cam ve PP elyaf eklenmiştir. Diğer numunelere ise, %0.6 ila %0.8 oranında cam elyaf ve PP elyaf eklenmiştir. Deney numunelerine drenaj, statik ve dinamik sürtünme, çekme ve nem duyarlılığı testi uygulanmıştır. Test sonuçlarına kıyasla, cam ve polipropilen elyaf oranı arttıkça numunelerin mekanik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir (çekme mukavemet oranı %75 oranında artış göstermiştir) [12].

3.2 Sertlik test sonuçları

Deney numunelerinin sertlik test verileri Şekil 11'de görülmektedir. Cam elyaf katkı oranı arttıkça doğru orantılı olarak Shore D sertlik verileri de artmaktadır [13]. PP+%20CE ile elde edilen deney numunesinin sertlik değeri saf polipropilene kıyasla yaklaşık olarak %9.29, PP+%30CE numunelerinde ise %17.83 oranında artış göstermektedir. Malzemenin molekül ağırlığı artış gösterdikçe doğru orantılı olarak, sertlik değerleri de artmaktadır. Cam elyafı kuvvetlendirme plastiğin mekanik özelliklerini arttırmaktadır [14].



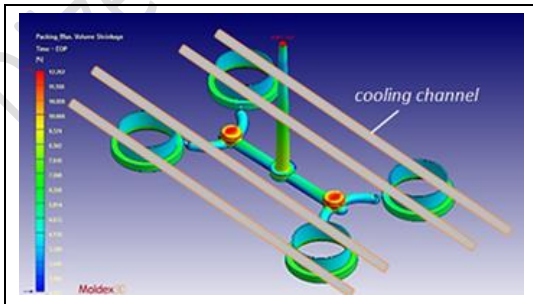
Şekil 11. Numunelerin sertlik verileri grafiği.

Figure 11. Hardness data graph of the samples.

3.3 Akış analiz programı ile hacimsel çekme (büzülme) değerlerinin incelenmesi

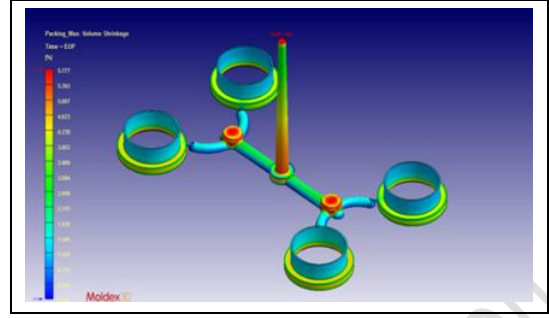
Moldex 3D® akış analiz programı kullanılarak deneysel çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin hacimsel çekme (büzülme) değerleri incelenmiştir. Bu simülasyon programı dolun ve ütüleme sonrasında, mevcut anda parça kalınlığı boyunca maksimum hacimsel büzülme gösterir. Çalışma kapsamında parça üzerinde incelenen kısım iç çap olduğu için iç çaptaki değerler dikkate alınmıştır.

Analiz sonuçlarına bakıldığında üç malzemede de et kalınlığının fazla olduğu yolluk ve bu bölgeye yakın kısımlarda hacimsel çekmenin en yüksek, ayrıca iç çaptaki hacimsel çekmelerin de fazla olduğu görülmüştür. Saf PP malzemede hacimsel çekmelerin CE katkılı malzemelere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 12 'de simülasyon sonuçları verilmiştir. %20 ve %30 CE katkısında hacimsel çekme değerleri simülasyon programında birbirine yakın çıkmıştır. Bu nedenle de grafik olarak %30 CE numunesi analiz sonuçları verilmiştir.



(a): Saf PP numunesi hacimsel çekme

(a): Pure PP sample volumetric shrinkage values.



(b): PP+%30CE numunesi hacimsel çekme.

(b): Volumetric tensile values of PP+%30CE sample.

Şekil 12. Akış analizi ortalama hacimsel çekme değerleri görseli.

Figure 12. Visual of flow analysis average volumetric shrinkage values.

Ek olarak, Şekil 12'de de görüldüğü üzere, yolluk giriş bölgesi iç çap çekme verileri karşıt bölgesine kıyasla daha düşük gelmektedir. Kalıpta kullanılan doğrusal soğutma kanalları da ayrıca gösterilmiştir. Üstte olan bu kanallar alt kalıp yarısında da bulunmaktadır.

3.4 Dijital kumpas ölçümü ile elde edilen kalıpta çekme (büzülme) test sonuçları

Şekil 13'te de görüldüğü üzere düz bölge ile kademeli bölge arasında çap ölçüm farkı oluşmasından kaynaklı her iki bölge içinde ayrı ayrı ölçüm alınmıştır. Her denemeden 6'şar adet numune ölçüme tabi tutulmuş ve ortalama değerleri Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 13. Dijital kumpas ile iç çap ölçümü alınan bölge görselleri.

Figure 13. Images of the area where the inner diameter was measured with a digital caliper.

Tablo 6 incelendiğinde kademeli kısım yani et kalınlığı fazla olan bölgedeki (Dk) çekme oranlarının düz bölgeye oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Kademeli olan kalın cidarlı kısım kalıpta daha geç soğumakta ve yolluk giriş noktasının da kalın cidarda olması soğuma süresini uzatmaktadır. Y eksenli boyunca yani girişin 90° mesafedeki çekme oranı daha fazla olmaktadır. Cam elyaf oranının katılması ve artışıyla tüm çekme oranlarında ciddi düşme gözlemlenmiştir. Kademeli bölgede çekme Y ekseninde %2.09'dan %1.09'a gerilemiştir. Düz bölgede ise çekme oranları Y ekseninde %1.29'dan %0.5'e gerilediği gözlemlenmiştir (Tablo 6).

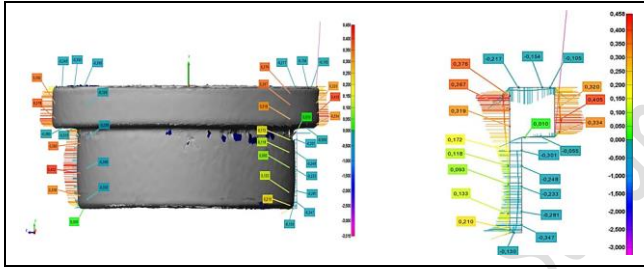
Numunelerdeki % iç çap çekme değerleri cam elyaf takviye oranı arttıkça sırasıyla hem kademeli (%33.5 ve %44.69) hem düz bölgede (%32.77 ve %62.18) doğru orantılı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, cam elyaf takviyesi numunesinin içeriğinde polimer oranının azaltılarak yerine katkı maddesinin

konulmasından kaynaklı olup ergimeyen cam elyaflarda çekme oluşmayacaktır. Elde edilen sonuçlar Moldex3D akış analiz programı ile uyum göstermektedir (Şekil 12). Yolluk giriş bölgesi en son soğuyan bölge olması sebebiyle karşısındaki ve yanındaki bölgeleri kendine çekmekte ve dolayısıyla dengesiz hacimsel küçülme (çekme) oluşmaktadır [15].

Tablo 6'daki değerler alınarak dairesellikten sapma (ovallık), Tablo 7'de incelenmiştir. Dairesellikten sapma yani ovallık değerleri çekme değerleri ile doğru orantılı olarak, cam elyaf takviye oranı arttıkça azalmaktadır. Kademeli bölgedeki ovallık incelendiğinde PP+%30CE numunedeki ovallık, Saf PP'ye kıyasla %66.66 oranında azaldığı görülmektedir. Düz bölgedeki dairesellikten sapma değerinde ise, cam elyaf takviye oranı arttıkça, %33.3 oranında azalma gözlemlenmiştir.

3.5 3D Lazer ölçüm cihazı ile çarpılma değerlerinin incelenmesi

DeneySEL çalışma kapsamında üç farklı polimer malzeme kullanılarak elde edilen numuneler üç boyutlu lazer ölçüm cihazında taranmış ve üç boyutlu CAD datası ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına ait görseller Şekil 14'te verilmiştir. Bu görseller incelendiğinde, ürünün iç çap ölçüsündeki değişim oranı deneySEL çalışma kapsamında elde edilen tüm numunelerde kademeli bölgenin yani et kalınlığının değiştiği arttığı bölgenin, düz bölgeye oranla daha fazla büzülme görülmektedir. Boyutsal çarpımda da ürünün et kalınlığının fazla olduğu bölgeye doğru yönelim sergilediği görülmüştür.



Şekil 14. 3D lazer tarayıcı ölçüm cihazı ile elde edilen çarpılma görseli.

Figure 14. Distortion image obtained with 3D laser scanner measurement device.

3.6 Dijital derinlik kumpası ile elde edilen çarpılma test sonuçları

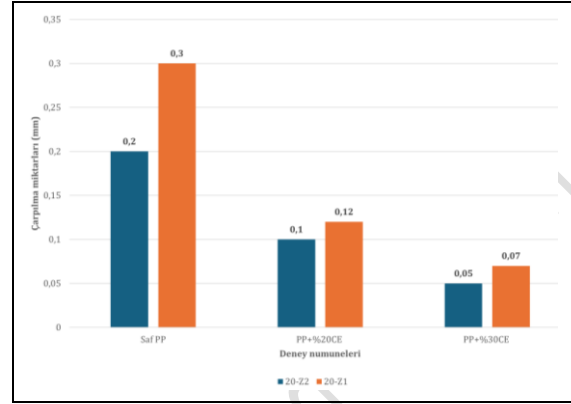
Şekil 15'te görüldüğü üzere derinlik kumpası kullanılarak belirlenen Zx ve Zy eksenlerindeki kalıpta çarpılma değerleri verilmiştir. Bu değerlere kıyasla, cam elyaf takviye oranı arttıkça, X ve Y düzleminde çarpılma miktarları sırasıyla, Zx'de %50 ile %76.66; Zy'de ise %60 ile %75 oranında azalma göstermektedir. Enjeksiyon giriş noktasının X ekseninde bulunmasından kaynaklı olarak, X eksenindeki çarpılma miktarı Y eksenine kıyasla daha fazla olmaktadır.

Bu durum halka şeklindeki parçada X düzlemindeki girişin karşı tarafında daha hızlı soğuma gerçekleşmektedir. Y ekseninde ise sıcaklık dağılımı daha eşit bir dağılım göstermektedir. Bu sebeple X eksenine boyunca çekme ve çarpılma daha fazla gerçekleşmektedir [16].

3.7 Yoğunluk testi sonuçları

Deney numunelerinin yoğunluk ve ağırlık değerleri Şekil 16'da verilmiştir. Polimer malzemedeki cam elyaf katkı oranı arttıkça, doğru orantılı olarak yoğunluk ve ağırlık değerlerinde artış

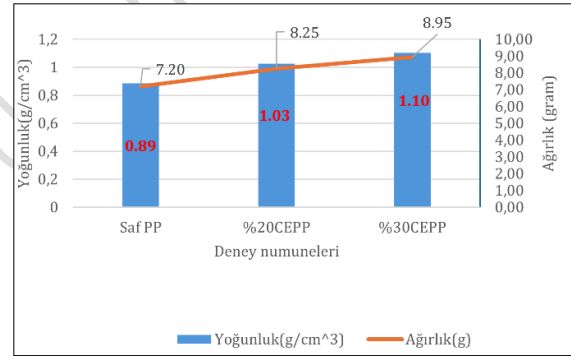
görülmektedir. PP+30CE Numunelerin yoğunluğu, Saf PP numunelerine kıyasla %24.63 oranında artış göstermiştir. Yoğunluk artışının mekanik değerlerde olumlu etki edeceği literatürde belirtilmektedir [17].



*: Parça yüksekliği 20 mm dir.

Şekil 15. Derinlik kumpası kullanılarak hesaplanan kalıpta çarpılma miktarları tablosu görseli.

Figure 15. Visual of the table of distortion amounts in the mold calculated using the depth caliper.



Şekil 16. Deney numunelerinin yoğunluk ve ağırlık verileri.

Figure 16. Density and weight data of the test samples.

4 Sonuçlar

Yapılan deneySEL çalışmada katkısız Saf PP, PP+%20 ve PP+%30 cam elyaf katkılı üç farklı polimer malzemeden kilitleme halkası numuneleri üretilmiştir. Numunelere halka esneklik testi, sertlik ve yoğunluk testi, boyutsal ölçümler ve akış analiz testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneySEL sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Cam elyaf oranı artışıyla basma kuvvetinde %20 CE katkılı numunelerde %31; %30 CE numunelerde ise %58 oranında artış tespit edilmiştir.
- Cam elyaf oranı arttıkça polimer malzemedeki çekme (büzülme) ve çarpılma değerleri azalmakta, sertlik değerleri ise artış görülmektedir.
- Cam elyaf oranındaki artışla birlikte yoğunluk ve ürün ağırlığında da artış gözlemlenmiştir.
- Kademeli bölgede cidar kalınlığının fazla olması çekme ve çarpımda önemli rol oynamıştır. Bunun sebebi, bu bölgenin diğer bölgelere oranla daha geç soğumasıdır. Bu durumda çarpılma ve dairesellikten sapmaya neden olmaktadır.
- Kilitleme halkasının kullanılan yerine bağlı olarak, iç çap ölçüsünün toleranslar içerisinde olması ve dairesellikten sapmasının düşük olması

gerekmektedir. Deneysel çalışmada özellikle iç çap çekme oranları ve dairesellikten sapma detaylı olarak incelenmiştir.

- Numunelerdeki %iç çaptaki hacimsel çekme değerlerine bakıldığında; cam elyaf takviye oranının artması ile birlikte sırasıyla kademeli bölgede (%33.5 ve %44.69) düz bölgede (%32.77 ve %62.18) azalma gözlemlenmiştir.
- Dijital derinlik kumpası ile yapılan numune ölçümlerinde enjeksiyon giriş noktasının X ekseninde bulunmasından kaynaklı olarak, X eksenindeki çarpılma miktarı Y eksenine kıyasla %31.25 oranında daha fazla olmaktadır.
- Halka esnekliği testi TS EN ISO 13968 standardında belirtilen %30'luk deformasyon yükü altında kilitleme halkası deney numunelerine çatlama, kırılma ve deformasyon kontrolü yapılmıştır. Halka esnekliği tayini ile yapılan basma testi sonucunda saf PP düşük kuvvetle tamamen esnemiş fakat yeterli dayanımı gösterememiştir.
- PP+%20CE numuneler standartta istenen sınır şart %30 esneme oranını aşarak iç çap oranının %40'ına (20.6mm) kadar esnemiştir. İstenen standardı karşılamıştır. PP+%30CE numuneler ise fazlaca gevreklik göstermiş ve esneme testini geçemeyerek sonunda kırılma hasarı oluşmuştur.

5 Conclusions

In the experimental study, locking ring samples were produced from three different polymer materials: pure PP without additives, PP+20% and PP+30% glass fiber added. Ring flexibility test, hardness and density test, dimensional measurements and flow analysis tests were performed on the samples. As a result of the experiments, the following results were obtained:

- With the increase in the glass fiber content, a 31% increase in compressive force was observed in samples with 20% GF content, while a 58% increase was detected in samples with 30% GF content.
- As the glass fiber ratio increases, the tensile and distortion values of the polymer material decrease and the hardness values increase.
- With the increase in glass fiber ratio, an increase in density and product weight was also observed.
- The high wall thickness in the stepped region played an important role in shrinkage and distortion. The reason for this is that this region cools down later than other regions. This situation causes distortion and deviation from circularity.
- Depending on the place of use of the locking ring, it is inner diameter must be within tolerances and its deviation from circularity must be low. In the experimental study, especially internal diameter drawing ratios and deviation from circularity were examined in detail.
- When looking at the volumetric shrinkage values of %inner diameter in the samples; With the increase of glass fiber reinforcement ratio, a gradual decrease (33.5% and 44.69%) in the flat region (32.77% and 62.18%) was observed.
- In sample measurements made with a digital depth caliper, the amount of distortion in the X axis is

31.25% more than the Y axis due to the injection entry point being located on the X axis.

- Ring flexibility test, specified in TS EN ISO 13968 standard cracking, breakage and deformation were checked on the locking ring test samples under a 30% deformation load. As a result of the compression test performed to determine ring elasticity, pure PP was fully flexible with low force, but could not show sufficient strength.
- PP+20%GF samples exceeded the 30% stretching limit required in the standard and stretched up to 40% of the inner diameter ratio (20.6mm). It met the required standard. PP+30%GF samples showed excessive brittleness and failed the stretching test, resulting in fracture damage.

6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Yazar 1 fikrin oluşması, kaynak ve malzeme temini, veri toplama gibi başlıklarda; Yazar 2 tasarımın yapılması, makalenin yazım ve eleştirel incelemesi kısımlarında; Yazar 3 ise literatür tarama ve analizlerin gerçekleştirilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

8 Kaynaklar

- [1] Savaşçı Ö.T, Uyanık N, Kovalı G. *Plastics and Plastic Technology with Basic Lines*. 3. baskı, İstanbul, Türkiye, PAGEV Publications, 2008.
- [2] Beaumont J.P, Nagel R, Sherman R. *Successful Injection Molding*. 1st ed. USA, Hanser/Gardner Publications Inc, 2002.
- [3] Erbil A.E. Statik Sızdırmazlık Elemanlarının Performans Karakteristiklerinin Deneysel Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [4] Çakır Y, Özdemir A, Gültaş A. "Investigation of injection parameters affecting shrinkage amount in plastic products". *Journal of Technology*, 1(2), 19-29,2001.
- [5] Güllü A, Özdemir E, Demir H. "Enjeksiyon parametrelerinin cam elyaf takviyeli polipropilen (PP) ve naylon 6 (PA6) kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması". *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 11-19, 2001.
- [6] Ryu Y, Sohn J, Kweon B, Cha S. "Shrinkage optimization in talc- and glass-fiber reinforced polypropylene composites". *Materials*, 12(1), 764, 2019.
- [7] Reyes G, Sharma U. "Modeling and damage repair of woven thermoplastic composites subjected to low velocity impact". *Composite Structures*, 92(1), 523-531, 2010.
- [8] "TS EN ISO 13968". 2008.
- [9] Demirel A. "Polimer Teknolojisi ve Kalıplama Prosesi". Lisansüstü Ders Notları, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2024.
- [10] Demirel A, Güneş H. *Enjeksiyonla Şekillendirilmiş ABS Kompozit Malzemenin Birleşme İzi Özelliklerinin İncelenmesi*. Sakarya, Türkiye, Current Academic Studies In Engineering Sciences, 2018.
- [11] Kandaş H. "Farklı Ön Gerilme Yüklerinde Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışı". Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2018.

- [12] Evirgen B, Çetin A, Karşlıoğlu A, Tuncan A. "An evaluation of the usability of glass and polypropylene fibers in SMA mixtures". Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(3), 318-328, 2021.
- [13] Çakır Y, Özdemir A, Güldaş A. "Plastik ürünlerde çekme miktarına etki eden enjeksiyon parametrelerinin incelenmesi". Teknoloji, 1(2), 19-29, 2001.
- [14] İyer N, Ramani K. "A study of localized shrinkage in injection molding with high thermal conductivity molds". *Journal of Injection Moulding Technology*, 6(2), 73-90, 2002.
- [15] Akman M. "Polimer Çarpışma Kutularının Darbe Yükleme Altındaki Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi". Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2022.
- [16] Saka F, Ortakçı T. "Koruge boruların zemin yükleri altında tasarımları ve boru yataklamasının tasarıma etkisi". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1075-1092, 2022.
- [17] Demirel A. "Enjeksiyon Kalıplarında Sıcak Yolluk Sistemlerinin Kalıplama Prosesine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi". Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2022.

Düzenlenmemiş Sürüm - Uncorrected Version