

BİR AĞIR TİCARİ ARAÇ AMORTİSÖRÜNDE ZIPLAMA DURDURUCU TAMPONUN YÜKSEK KUVVETLER ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Nuri Can KAYA *

Tuncay ALPAR **

Abdurrahim ARKAN ***

Harun ANAÇ ****

Cem GÜNERİ *****

Alınma: 11.12.2024 ; düzeltme: 07.06.2025 ; kabul: 21.06.2025

Öz: Amortisör, araçlardaki süspansiyon sisteminin bir elemanıdır. Süspansiyon sistemi aracın yaylanmasını sağlar ve sarsıntıları emerek, sürüş konforunu arttırmak ve tekerleklerin zeminle temasını korumak için tasarlanmıştır. Amortisörler hem binek araçlarda hem de ticari araçlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ağır ticari araçlarda kullanılan amortisörlerde yer alan zıplama durdurucu tampon parçasının yük altındaki ömür dayanımı ve mekanik davranışı incelenmiştir. NBR, elastollan, Tecspak ve PA6 malzemeleri bu çalışmada test edilmiştir. Yüksek kuvvetler altında ve belirli sıcaklıklarda Tecspak ve PA6 malzemenin mekanik davranışının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Amortisör, Zıplama Tamponu, NBR, Elastollan, Tecspak, PA6, Sıcaklık, Sönümleme Kuvveti

Mechanical Behavior Analysis Of A Heavy Commercial Vehicles, Shock Absorber Rebound Bumper Under High Forces

Abstract The shock absorber is a component of a vehicle's suspension system. The suspension system is designed to absorb shocks and vibrations, enhance ride comfort and maintain tire contact with the ground. Shock absorbers are used in both passenger and commercial vehicles. This study examined the fatigue life and mechanical behavior of the rebound bumper in shock absorbers used in heavy commercial vehicles under load. The materials tested in this study were NBR, Elastollan, Tecspak, and PA6. It was observed that Tecspak and PA6 exhibited superior mechanical behavior under high forces and specific temperatures.

Keywords: Shock Absorber, Rebound Bumper, NBR, Elastollan, Tecspak, PA6, Temperature, Damping Force

* Maysan Mando Demirtaş Dumlupınar Organize Sanayi Bölgesi, 16245 Osmangazi/Bursa

** Maysan Mando Demirtaş Dumlupınar Organize Sanayi Bölgesi, 16245 Osmangazi/Bursa
Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü, 16059 Nilüfer/Bursa

*** Maysan Mando Demirtaş Dumlupınar Organize Sanayi Bölgesi, 16245 Osmangazi/Bursa

**** Maysan Mando Demirtaş Dumlupınar Organize Sanayi Bölgesi, 16245 Osmangazi/Bursa
Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü, 16059 Nilüfer/Bursa

***** Maysan Mando Demirtaş Dumlupınar Organize Sanayi Bölgesi, 16245 Osmangazi/Bursa
Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü, 16059 Nilüfer/Bursa

İletişim Yazarı: Nuri Can KAYA (nckaya@maysanmando.com)

1. GİRİŞ

Süspansiyon yoldan gelen hareketi uzama ve kısalma hareketleri yaparak sürücüye ulaşmasına engel olurken, amortisörler süspansiyon yaylarına göre ters yönde çalışır. Amortisörler, oluşan tepki kuvvetiyle yaydaki enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek yaylanmayı keser (Gündoğ, 2016).

Amortisör çalışma sistemi olarak iki yönlüdür. Zıplama yönünde hareket ettiğinde amortisörün piston kolu yukarı doğru hareket eder, odadaki akışkan ise pistonun üzerine taşınır. Sıkıştırma hareketi esnasında ise piston aşağı iner ve akışkan sıkışır (Ibis, 2018).

Amortisörün performansını gösteren sönümleme kuvvetidir. Bu kuvvet amortisörün karakteristik özelliğini belirler. Bu karakteristik, kuvvet-hız ve kuvvet-yer değiştirme değerleri ile incelenir. Amortisörler binek, hafif ve ağır ticari araçlarda farklı tiplerdedir. Yapısal olarak ise tek ve çift borulu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çift borulu amortisör ise strut ve teleskobik olarak kendi içinde ayrılmaktadır (Güneri, 2019).

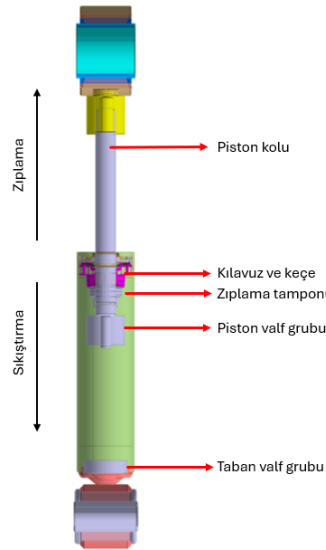
Çift borulu amortisörde, dış katmanda gövde borusu, iç katmanında silindir borusu bulunur. Piston koluna bağlı bir piston valf grubu yer alırken, silindir ile alt kapak arasında sabit duran bir taban valf grubu bulunur (Anaç, 2021). Ayrıca amortisör içerisinde keçe, kılavuz, zıplama tamponu, zıplama tampon yatağı ve segman gibi elemanlar da yer alır.

Zıplama tamponu, darbe sönümleyebilen, elastik ve belirli rijitliğe sahip olan önemli bir amortisör elemanıdır (Han, 2016).

Amortisörün iç yapısı incelendiğinde, geri tepme kuvvetinin zıplama tamponu üzerine etki ettiği görülmektedir. Amortisör çalıştıkça sistemdeki sıcaklık artmakta ve zıplama tamponu yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu nedenlerle, amortisör tasarımında zıplama tamponun malzeme seçimi büyük önem taşımaktadır.

Amortisörün iç kısmında, Şekil 1’de görüldüğü üzere, zıplama tamponu piston koluyla birlikte piston valf grubuyla senkronize şekilde hareket etmektedir. Geri tepme sırasında, zıplama tamponu kılavuz ve keçe grubuna doğru maksimum sıkışma miktarı kadar ilerler. Bu nokta geri tepmenin en yüksek seviyesini temsil eder. Sıkıştırma esnasında ise sıkıştırma tamponu maksimum sıkıştırma düzeyine ulaşana kadar hareketine devam eder. Bu nokta da sıkıştırmanın en yüksek seviyesini ifade eder.

Buradaki hareket neticesinde amortisörün sönümleme kuvveti oluşmaktadır. Sönümleme kuvvetini etkileyen parametreler piston ve taban valf grubu elemanlarıdır.



Şekil 1:
Amortisör kesit

Piston valf grubu (Şekil 2) daha çok geri tepme kuvvetlerini etkiler. Temel olarak piston valf grubu piston (Şekil 3) ve farklı geometrilerdeki pullardan oluşur (Güneri, 2019).



Şekil 2:
Piston valf grubu



Şekil 3:
Piston

Zıplama tamponu amortisörün iç yapısında yer alan önemli bir elemandır. Zıplama tamponu yüksek kuvvetler altında çalışabilmeli ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda deforme olmamalıdır.

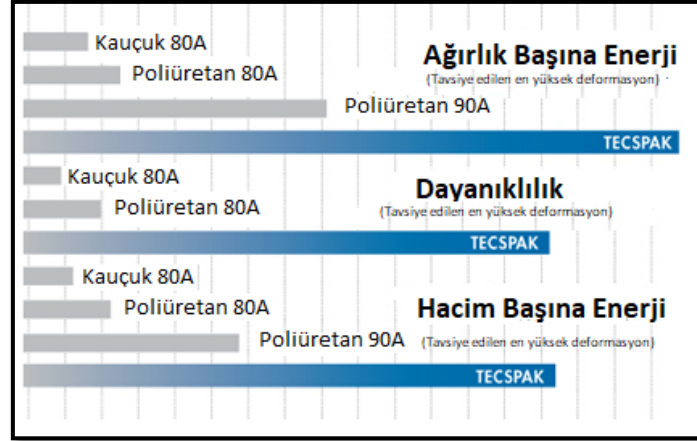
Çalışmada seçilen malzemeler otomotiv sektöründe yaygın kullanılan malzemelerdir. Bu malzemelerin yükselen sıcaklık ve mekanik kuvvetin etkisiyle değişimi incelenmiştir.

Literatür değerlendirildiğinde çalışmadaki malzemeler üzerine farklı sıcaklık ve yük altında çalışmalar olsa da, amortisör özelinde zıplama tamponuyla ilgili yeterli sayıda çalışma bulunamamıştır. Bu çalışmada amortisörde kullanılan farklı malzemelerdeki zıplama tamponlarının yüksek yükler altında mekanik özellikleri test edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada dört farklı zıplama tamponu malzemesi seçilmiştir. NBR (doğal kauçuk), elastollan, MöllerMiler'in malzemesi olan Tecspak (2024) ve PA6 malzemeleri seçilmiştir. Bu malzemelerden PA6 talaşlı imalat ile üretilmiş olup, diğer malzemeler ise tedarikçiden hazır satın alınmıştır. Bu malzemelerden NBR esnek, hafif, kopma dayanımı ve aşınmaya karşı dirençlidir (Bülbül, 2019). Yağ, solvent ve mekanik aşındırıcılara karşı dirençli olması sebebiyle otomotiv sektöründe tercih edilir. (Bülbül ve diğ., 2014). Elastollan, otomotiv sektöründe kullanılan yüksek çekme dayanımı ve uzama gibi üstün özelliklere sahip malzemelerden biridir (Akdoğan ve diğ., 2016). Tecspak malzeme ise darbe emilimi, titreşim yalıtımı bakımından kauçuktan 10 kat, poliüretandan ise 20 kat daha uzun dayanabilen patentli bir malzemedir (Norman G Clark, 2025). Özel bir Ko-poliester elastomerden üretilen, Tecspak yüksek dinamik kuvvetleri sönmlemede son derece uygundur. Yüksek enerji sönmlemesinden dolayı otomotiv sektöründe amortisör uygulamalarında kullanılmaktadır (MöllerMiner Tecspak, 2025). PA6 kolay işlenebilirlik özelliklerinin yanı sıra güçlü mekanik

dayanım, aşınma ve yıpranma direncine sahiptir. Birçok sektörde kullanıldığı gibi otomotiv sektöründe de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Vasiljević ve diğ., 2020). Malzemelere ait mekanik özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Tecspak malzemesine ait önerilen çalışma sıcaklık aralığı verisine ulaşamamıştır. Bu sebepten bu değer verilmemiştir. Ancak tartışmalar kısmında görüleceği üzere, 140°C sıcaklığa ulaşan amortisörde herhangi bir parçalanmaya uğramadan çalışma bildiği gözlemlenmiştir.

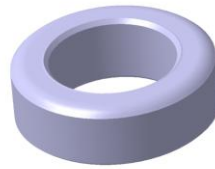


Şekil 4:

Tecspak ve farklı malzemelerin karşılaştırılması (Norman G Clark, 2025)

Tablo 1. Malzemelere ait mekanik özellikler (Marco Rubber&Plastics, 2024; Total Materia, 2024)

Mekanik Özellikler	NBR	Elastollan	Tecspak	PA6
Çekme gerilimi	1.38-24.1 MPa	12-50 MPa	52 MPa	79 MPa
Kopmada çekme gerinimi	%350-600	%500	530%	%130
Sertlik	A 20-95	D 57	D72	D 79
Çalışma sıcaklığı	-20-121°C	-23-66°C	-	100-160°



Şekil 5:

Zıplama tampon

Bu çalışmada belirlenen zıplama tamponu ile üretimi yapılan amortisörün test öncesinde sönümleme kuvveti ölçülmüştür. Amortisörün sönümleme kuvvetindeki farklı hızlar firmalar tarafından araç tipine göre belirlenmektedir (Alpar ve Karakaş, 2023). Maksimum ve minimum kuvvetler, araç testlerinde belirlenen sönümleme kuvvetine göre üretilen amortisörlerin ortalama nominal değerinin

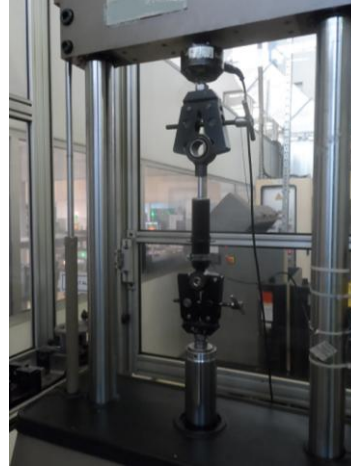
$\pm\%20$ si alınarak hesaplanmaktadır. Bu oran araç için maksimum ve minimum kuvvetleri vermektedir. Hesaplanan bu kuvvetler firmadan firmaya değişmektedir.

Sönümlleme kuvveti ölçümünün ardından, amortisör Şekil 6'da gösterilen test cihazına bağlanmıştır. Test, 1 Hz. frekansında, 15 kN sıkıştırma ve 10 kN geri tepme kuvvetleri uygulanarak gerçekleştirilmiş ve amortisör 10.000 çevrim boyunca test edilmiştir. Test sırasında 15 kN yük,

Amortisör kapanma hareketi sırasında sıkıştırma tamponuna; 10 kN yük ise açılma hareketinde zıplama tamponuna uygulanmıştır.

Sıkıştırma tamponu, amortisörün dış kısmında yer aldığından, ısı ve yağ gibi etkenlere maruz kalmadığı için ömrü açısından herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Buna karşılık zıplama tamponu, amortisörün iç yapısında bulunduğundan yüksek sıcaklık ve yağla doğrudan temas etmektedir (Şekil 1). Test uygulaması sırasında sıcaklık, oda sıcaklığında başlayıp test sonunda okunan değerdir. Bu değerler, ana sanayi araç test koşullarına göre belirlenmiş ve referans alınmıştır.

Test tamamlandıktan sonra sönümlleme kuvveti tekrar ölçülmüş ve bu ölçüm sonucunda kuvvet-hız ile kuvvet-yer değiştirme grafiklerine ulaşılmıştır. Son aşamada amortisör kesilerek, başta zıplama tamponu olmak üzere iç yapısındaki tüm bileşenlerin durumu incelenmiştir.



Şekil 6:

Zıplama tampon dayanıklılık testi

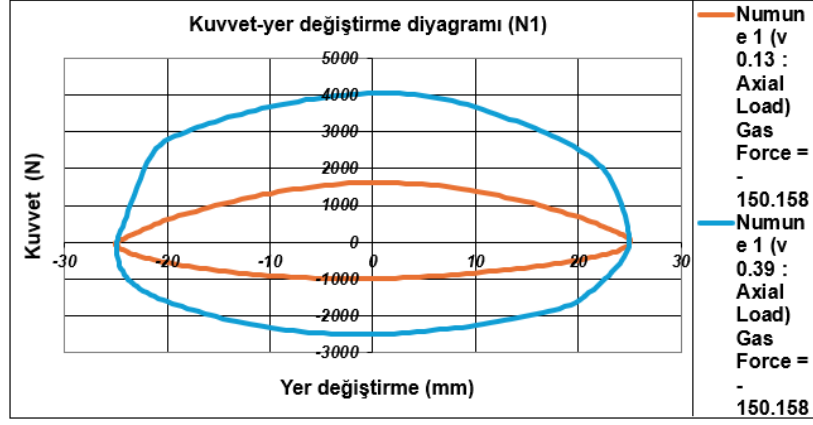
3. BULGULAR

Çalışmada seçilen malzemelerin (NBR, elastollan, Tecspak ve PA6) çevrim testi tamamlamasından önceki ve sonraki durumları bu bölümde ortaya konulmuştur. Test öncesi ve sonrası sönümlleme kuvvet değerleri, kuvvet-hız ve kuvvet-yer değiştirme grafikleriyle karşılaştırma yapılarak çalışma tamamlanmıştır.

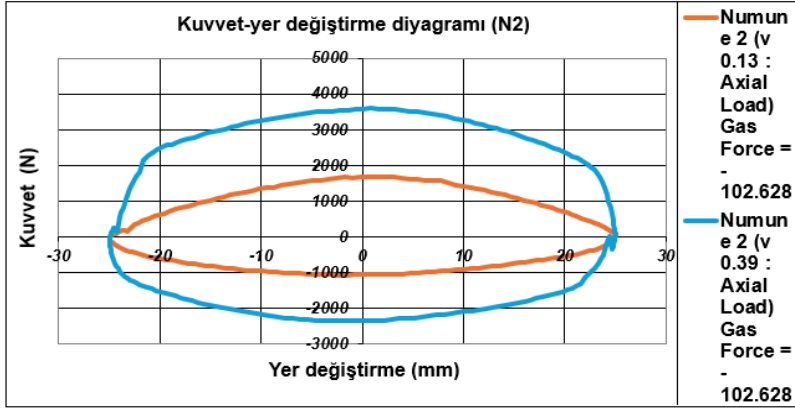
3.1. NBR

Tablo 2. Test öncesi NBR sönümlleme kuvvet değerleri

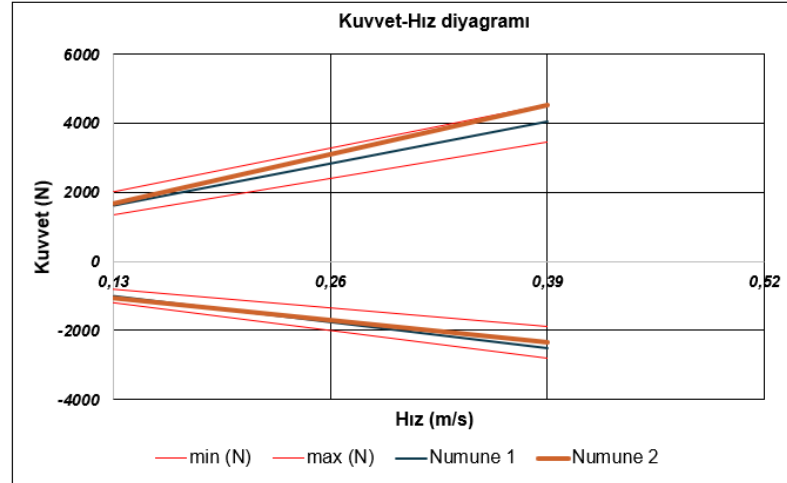
Konum	V (M/S)	Min (N)	Nom (N)	Maks (N)	Numune-1 (N)	Numune 1 fark.	Numune-2 (N)	Numune 2 fark.
Geri Tepme	0,13	1350	1684	2025	1627	-3%	1683	0%
	0,39	3450	4049	4560	4054	0%	4538	12%
Sıkıştırma	0,13	-796	-995	-1194	-993	0%	-1065	7%
	0,39	-1869	-2336	-2803	-2498	7%	-2348	1%



a



b



c

Şekil 7:

- a. Numune 1 kuvvet-yer değiştirme grafiği b. Numune 2 kuvvet-yer değiştirme grafiği
c. Numune 1 ve numune 2 kuvvet hız grafiği

NBR tamponlu amortisör için test sonrasında sönümlleme kuvveti ve malzeme iç yapısı incelenmiştir. Tamponun deforme olduğu Şekil 8b de sıcaklık ve yüksek kuvvetler etkisiyle parçalandığı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık etkisiyle kopan tampon parçacıkları piston deliklerini tıkamış ve aşırı kuvvete sebep olmuştur. Bu durumun piston valf grubunu tutan somun dişlerini deforme ettiği tespit edilmiştir. Piston valf grubu dağıldığı için test sonrası sönümlleme kuvveti gözlemlenememiştir.



Şekil 8:

NBR malzeme zıplama tampon görselleri

a. Test öncesi zıplama tamponu b. Test sonrası zıplama tamponu



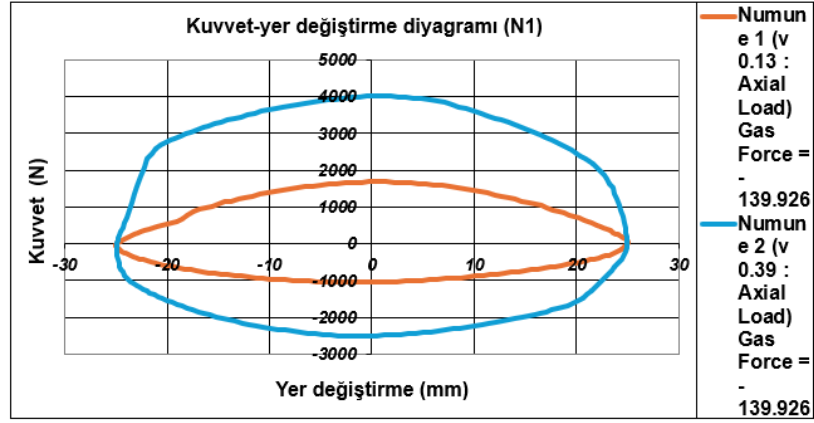
Şekil 9:

Test sonrası piston

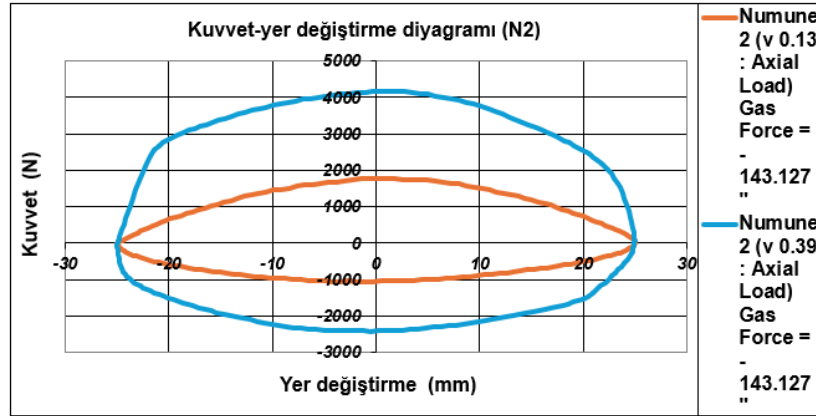
3.2. Elastollan

Tablo 3. Test öncesi elastollan sönümlleme kuvvet değerleri

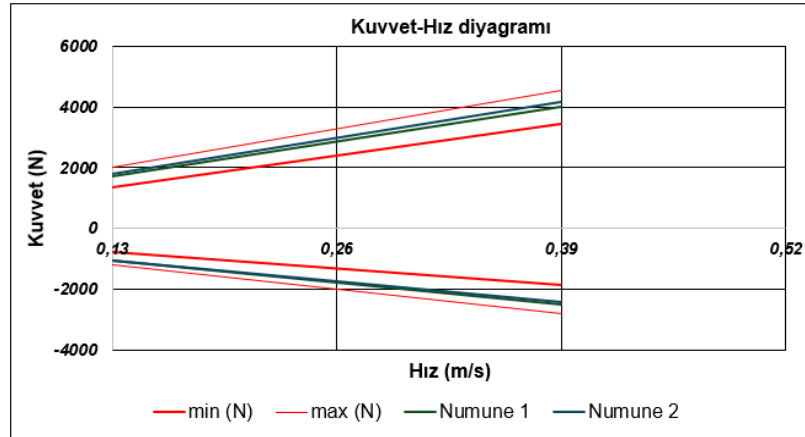
Konum	V (M/S)	Min (N)	Nom (N)	Maks (N)	Numune 1 (N)	Numune 1 fark.	Numune 2 (N)	Numune 2 fark.
Geri Tepme	0,13	1350	1684	2025	1696	1%	1787	6%
	0,39	3450	4049	4560	4018	-1%	4161	3%
Sıkıştırma	0,13	-796	-995	-1194	-1049	5%	-1059	6%
	0,39	-1869	-2336	-2803,2	-2508	7%	-2417	3%



a



b



c

Şekil 10:

Test öncesi elastollan ölçüm sonuçları

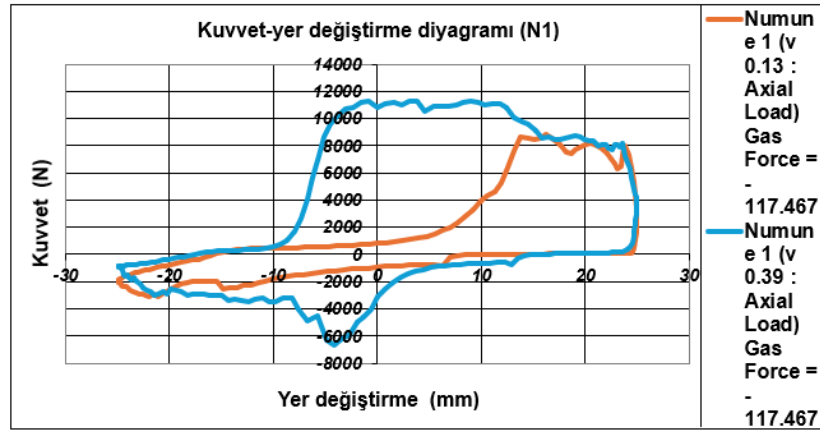
- a. Numune 1 kuvvet-yer değiştirme grafiği b. Numune 2 kuvvet-yer değiştirme grafiği
c. Numune 1 ve numune 2 kuvvet hız grafiği

Elastollan tamponlu amortisör için test sonrasında sönümleme kuvveti ve malzeme iç yapısı incelenmiştir. Tamponun deforme olduğu, sıcaklık ve yüksek kuvvetler etkisiyle parçalandığı

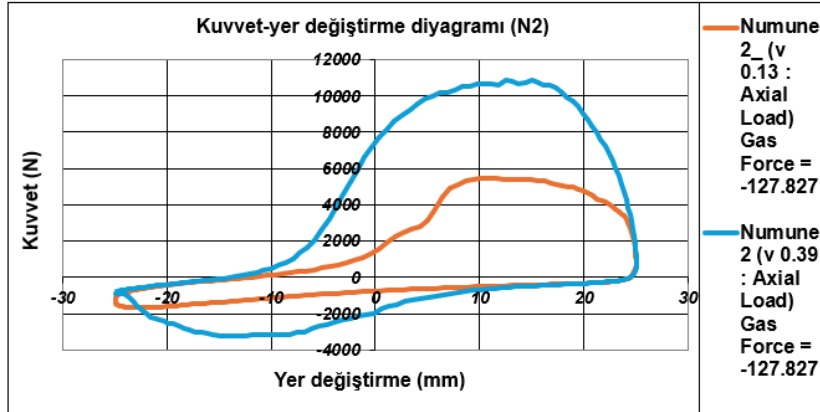
gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık etkisiyle kopan tampon parçacıklarının pistonun üzerini kapladığı görülmektedir (Şekil 12b). Bu üründe sönümleme kuvveti (Şekil 11b) parçacıkların piston deliklerini tıkaması ve sönümleme kuvvetini artırması sebebiyle test sonrası için uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Maksimum değerlerin üzerine çıkmıştır.

Tablo 4. Test sonrası elastollan sönümleme kuvvet değerleri

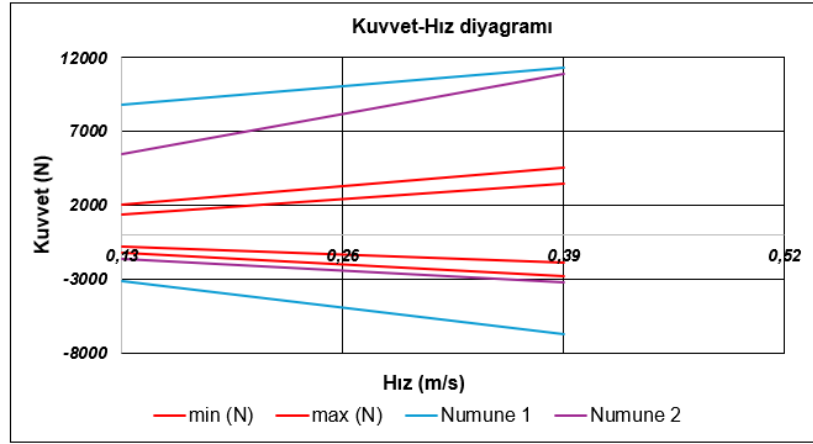
Konum	V (M/S)	Min (N)	Nom (N)	Maks (N)	Numune 1 (N)	Numune 1 fark.	Numune 2 (N)	Numune 2 fark.
Geri Tepme	0,13	1350	1684	2025	8811	423%	4057	141%
	0,39	3450	4049	4560	11285	179%	10900	169%
Sıkıştırma	0,13	-796	-995	-1194	-3135	215%	-1662	67%
	0,39	-1869	-2336	-2803	-6690	186%	-3226	38%



a



b



c

Şekil 4:

Test sonrası elastollan ölçüm sonuçları

- a. Numune 1 kuvvet-yer değiştirme grafiği b. Numune 2 kuvvet-yer değiştirme grafiği
c. Numune 1 ve numune 2 kuvvet hız grafiği



a



b

Şekil 5:

Elastollan malzeme zıplama tamponu görselleri

- a. Test öncesi zıplama tamponu b. Test sonrası zıplama tampon



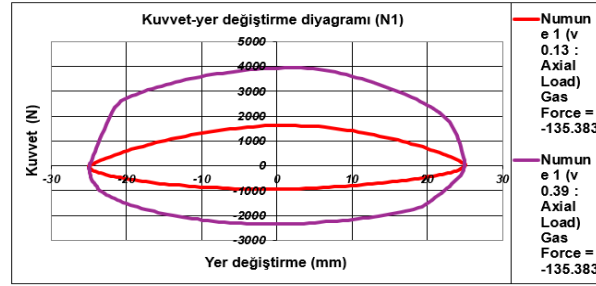
Şekil 13:

Test sonrası piston

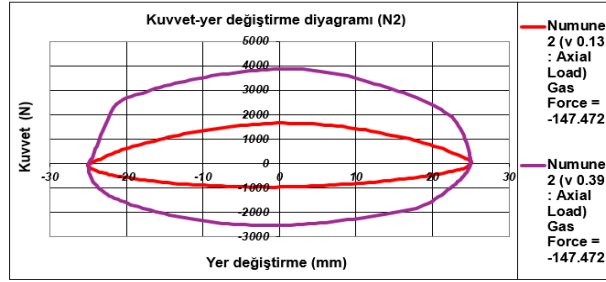
3.3. Tecspak

Tablo 5. Test öncesi Tecspak sönümleme kuvvet değerleri

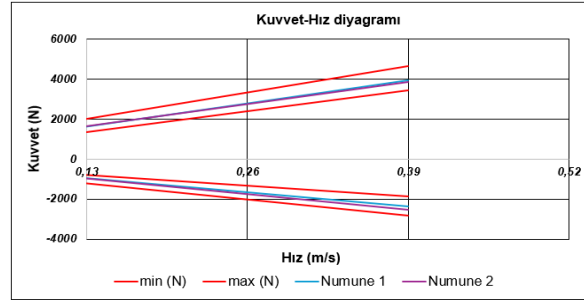
Konum	V (M/S)	Min (N)	Nom (N)	Maks (N)	Numune 1 (N)	Numune 1 fark.	Numune 2 (N)	Numune 2 fark.
Geri Tepme	0,13	1350	1684	2025	1633	-3%	1656	-2%
	0,39	3450	4049	4560	3947	-3%	3874	-4%
Sıkıştırma	0,13	-796	-995	-1194	-938	-6%	-962	-3%
	0,39	-1869	-2336	-2803	-2352	1%	-2532	8%



a



b



c

Şekil 14:

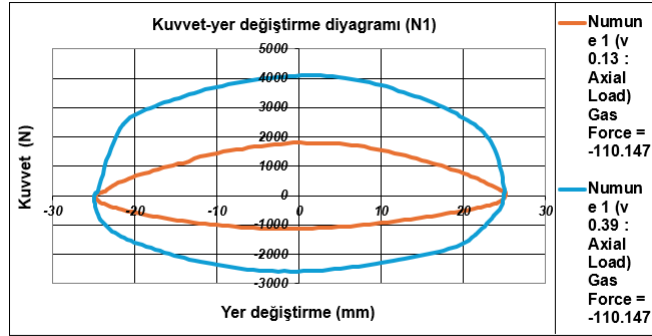
Test öncesi Tecspak ölçüm sonuçları

- a. Numune 1 kuvvet-yer değiştirme grafiği b. Numune 2 kuvvet-yer değiştirme grafiği
c. Numune 1 ve numune 2 kuvvet hız grafiği

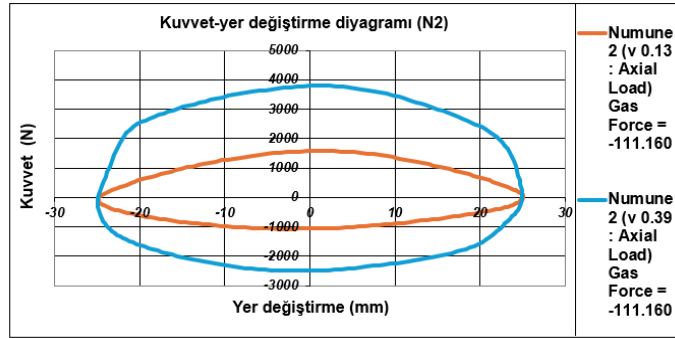
Tecspak tamponlu amortisör için test sonrasında sönümleme kuvveti (Şekil 15) ve malzeme iç yapısı incelenmiştir. Tamponda plastik deformasyon oluşumu gözlenmiştir (Şekil 16a ve 17a). Sıcaklık ve yüksek kuvvetlerde ise parçalanma gözlenmemiştir. Piston üzerinde ve deliklerinde herhangi bir tampon partikülü tespit edilmemiştir. Bu ürünün test sonrasındaki sönümleme kuvvet değerleri uygundur.

Tablo 6. Test sonrası Tecspak sönümlleme kuvvet değerleri

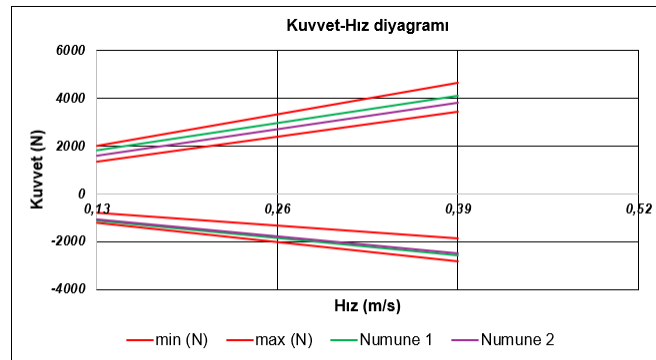
Konum	V (M/S)	Min (N)	Nom (N)	Maks (N)	Numune 1 (N)	Numune 1 fark.	Numune 2 (N)	Numune 2 fark.
Geri Tepme	0,13	1350	1684	2025	1813	8%	1584	-6%
	0,39	3450	4049	4560	4098	1%	3798	-6%
Sıkıştırma	0,13	-796	-995	-1194	-1129	13%	-1077	8%
	0,39	-1869	-2336	-2803	-2584	11%	-2496	7%



a



b



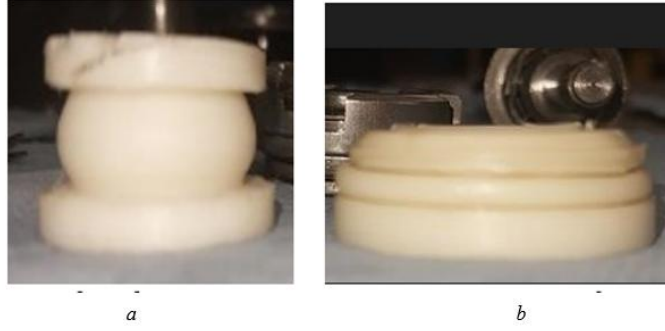
c

Şekil 6:

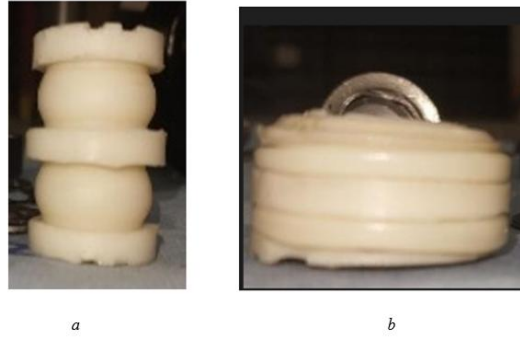
Test sonrası Tecspack ölçüm sonuçları

a. Numune 1 kuvvet yer değiştirme grafiği b. Numune 2 kuvvet yer değiştirme grafiği

c. Numune 1 ve numune 2 kuvvet hız grafiği



Şekil 7:
Numune 1 Tecspak zıplama tamponu görseli
a. Test öncesi zıplama tamponu b. Test sonrası zıplama tamponu

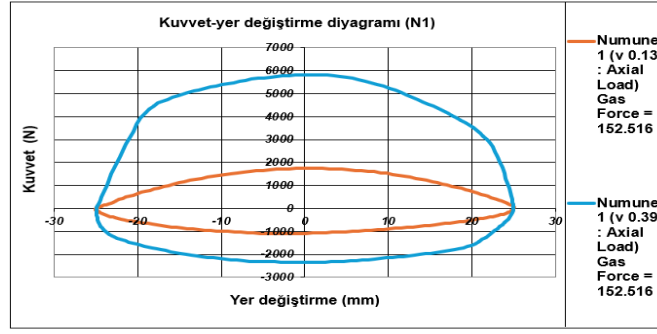


Şekil 8:
Numune 2 Tecspak zıplama tamponu görseli
a. Test öncesi zıplama tamponu b. Test sonrası zıplama tamponu

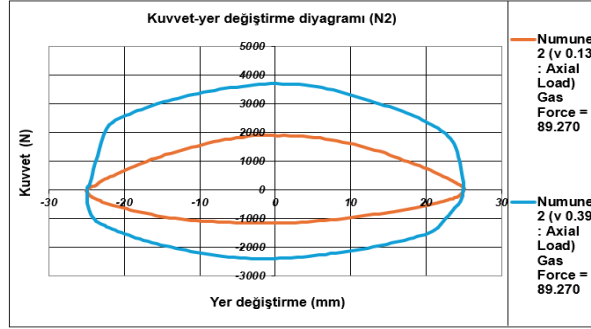
3.4. PA6

Tablo 7. Test öncesi PA6 sönümlleme kuvvet değerleri

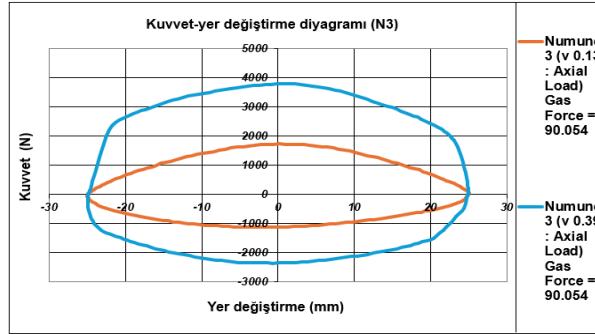
Konum	V (M/S)	Min (N)	Nom (N)	Maks (N)	Numune 1 (N)	Numune 1 fark.	Numune 2 (N)	Numune 2 fark.	Numune 3 (N)	Numune 3 fark.
Geri Tepme	0,13	1350	1684	2025	1756	4%	1921	14%	1739	3%
	0,39	3450	4049	4560	5823	44%	3714	-8%	3802	-6%
Sıkıştırma	0,13	-796	-995	-1194	-1082	9%	-1148	15%	-985	-1%
	0,39	-1869	-2336	-2803	-2356	1%	-2394	2%	-2210	-5%



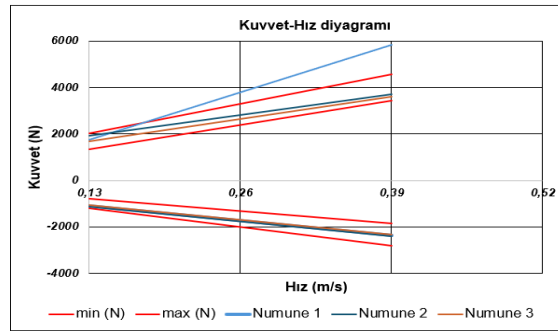
a



b



c



d

Şekil 18:

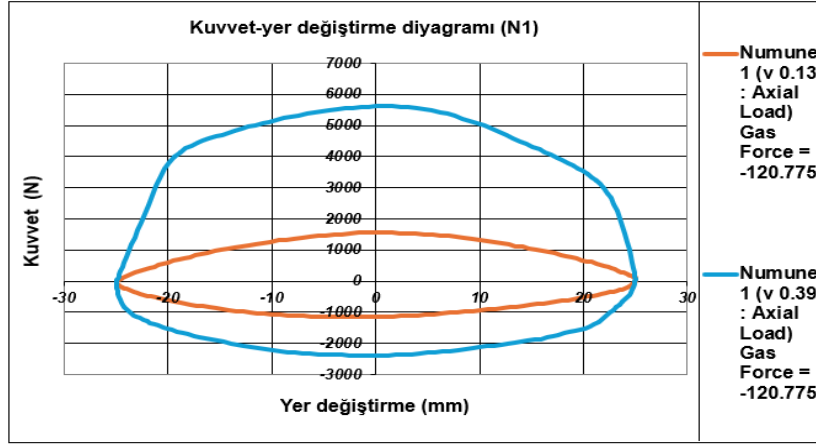
Test öncesi PA ölçüm sonuçları

a. Numune 1 kuvvet yer değiştirme grafiği b. Numune 2 kuvvet yer değiştirme grafiği c. Numune 1 kuvvet yer değiştirme grafiği d. Numune 1 ve numune 2 kuvvet hız grafiği

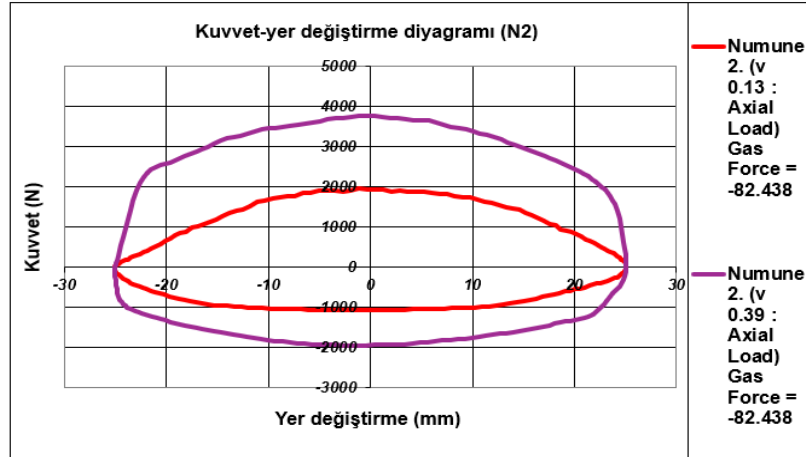
PA6 tamponlu amortisör için test sonrasında sönümleme kuvveti ve malzeme iç yapısı incelenmiştir. Tamponda plastik deformasyon oluşumu gözlenmiştir (Şekil 20). Sıcaklık ve yüksek kuvvetlerde parçalanma ise gözlenmemiştir. Piston üzerinde ve deliklerinde herhangi bir tampon partikülü tespit edilmemiştir. Bu ürünün test sonrasındaki sönümleme kuvvet değerleri uygundur.

Tablo 8. Test sonrası PA6 sönümleme kuvvet değerleri

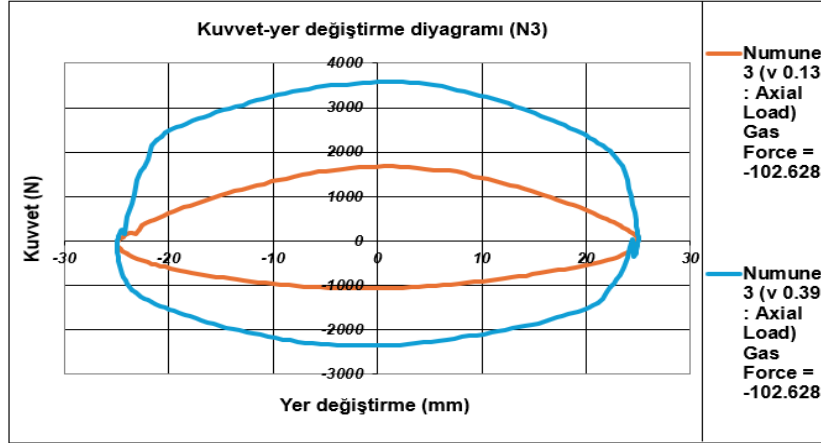
Konum	V (M/S)	Min (N)	Nom (N)	Maks (N)	Numune 1 (N)	Numune 1 fark.	Numune 2 (N)	Numune 2 fark.	Numune 3 (N)	Numune 3 fark.
Geri Tepme	0,13	1350	1684	2025	1575	-6%	1970	17%	1683	0%
	0,39	3450	4049	4560	5620	39%	3784	-7%	3597	-11%
Sıkıştırma	0,13	-796	-995	-1194	-1160	17%	-1065	7%	-1065	7%
	0,39	-1869	-2336	-2803	-2400	3%	-2000	-14%	-2348	1%



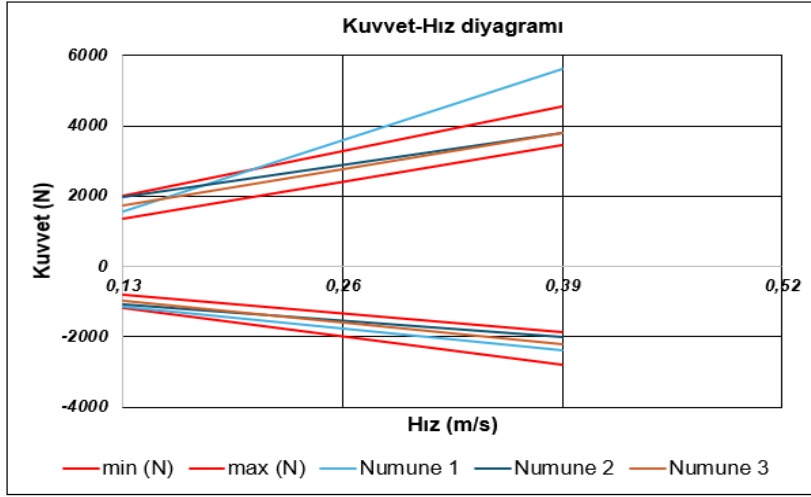
a



b



c

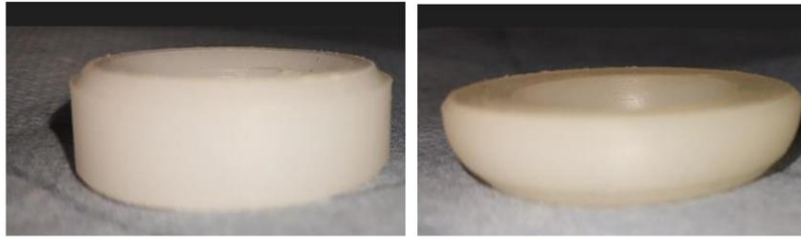


d

Şekil 19:

Test sonrası PA ölçüm sonuçları

- a. Numune 1 kuvvet yer değiştirme grafiği b. Numune 2 kuvvet yer değiştirme grafiği c. Numune 1 kuvvet yer değiştirme grafiği d. Numune 1 ve numune 2 kuvvet hız grafiği



a

b

Şekil 20:

PA6 zıplama tamponu görseli

- a. Test öncesi zıplama tamponu b. Test sonrası zıplama tamponu

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada dört farklı malzemede zıplama tamponu parçasının 1 Hz. frekansta 10 kN geri tepme kuvvetinde 10000 çevrim uygulanmış ve malzemelerin test sonrası durumu bulgularla karşılaştırılmıştır. Testte çevrim sonrası malzemelerin durumu Tablo 9’de verilmiştir.

Bu malzemelerden, NBR, 100°C-140°C sıcaklığa dayanmadığı ve kuvvetin etkisiyle malzemenin tamamının eridiği görülmüştür, piston üzerindeki delikleri kapatarak sönümleme kuvvetini artırmıştır. Sönümleme kuvveti artışından kaynaklı piston valf grubundaki somun dişlerine dik gelen kuvveti artırarak somunun çözülmesine sebep olmaktadır.

Elastollan, 100°C-140°C sıcaklığa dayanmadığı ve kuvvetin etkisiyle malzemenin bir kısmının eridiği görülmüştür. Erimeyen kaynaklı piston valf grubunu tıkayarak sönümleme kuvvetini bozduğu gözlemlenmiştir.

Tecspak ve PA6 100°C-140°C sıcaklığa ve mekanik kuvvetler etkisinde bile parçalanma gözlenmemiştir. Sadece kuvvetlere dayalı plastik deformasyon olmuştur. Bu deformasyon malzeme özellikleri incelendiğinde beklenen bir deformasyondur.

PA6 numune 1’de 0,39 m/s hızında geri tepme kuvvetinin maksimum değerinden fazla çıkması da üretimden kaynaklanmaktadır. Özellikle üretim aşamasında amortisör somununa fazla tork uygulanması, kuvvet değerini etkileyebilmektedir. Ancak bu durum, kuvvet-yer değiştirme grafiğini bozmadığı için ilave numune testleri yapılmış ve sonuçların değişmediği doğrulanmıştır. Dolayısıyla 0,39 m/s’deki kuvvet artışı, PA6 malzemesinden kaynaklanan bir kuvvet artışına işaret etmemektedir, üretim prosesinde yaşanan bir ayar parametresinden kaynaklıdır.

Malzemelerin sönümleme kuvvetleri, kuvvet hız ve kuvvet yer değiştirme grafiğine bakıldığında NBR malzemesinin test öncesi ölçümleri uygun iken (Şekil 7), test sonrası ölçüm alınamamıştır. Elastollan malzemesinde test öncesine (Şekil 10) göre anormal bir kuvvet hız artışı olmakta birlikte kuvvet yer değiştirme grafiği bozuktur (Şekil 11). Grafiğin istenilen şekli patatese benzer olmalıdır (patates eğrisi, yabancı literatürde potato curve). Tecspak ve PA6 malzemelerin test öncesi ve sonrası kuvvet-hız ve kuvvet yer değiştirme grafiğinde herhangi bir anormallik görülmemiştir. (Şekil 14, Şekil 15, Şekil 18 ve Şekil 19)

Tablo 9. Test sonrası malzemelerin durumu

Malzeme	Durumu	Parça öncesi ve sonrası boylar		Deformasyon %	DF etkisi
		Öncesi	Sonrası		
NBR	Erime/Parçalanma	9	0	-	Tolerans dışı
Elastollan	Erime/Parçalanma	8	0	-	Tolerans dışı
Tecspak	Plastik def.	30	15	50%	Tolerans içi
	Plastik def.	15	8	53%	Tolerans içi
PA6	Plastik def.	9	5	56%	Tolerans içi

Bu çalışmada amortisörde kullanılan zıplama durdurucu tamponun yüksek kuvvetler altında mekanik davranışı incelenmiştir. Belirlenen dört farklı malzeme NBR, elastollan, Tecspak ve PA6 yüksek mekanik kuvvetler altında çalışarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Zıplama durdurucu tamponunun malzemesinin amortisörün çalışmasına nasıl etki ettiği ortaya konulmuştur. Malzemelerin (NBR, elastollan, Tecspak, PA6) sonuçları incelendiğinde yüksek kuvvetler ve yüksek sıcaklıklara ulaşan araç amortisörlerinde (kamyon, ağır ticari, inşaat sektörü vb.) Tecspak ve PA6 malzemeleri zıplama tamponu olarak kullanılabilir iken daha az kuvvet ve sıcaklığa ulaşan araç amortisörlerinde (hafif binek, hafif ticari, motosiklet vb.) ise NBR ve elastollan kullanılabilir.

Araştırma ile elde edilen deneyim ve birikimler hem malzeme hem de parça geometrisi değiştirilerek yapılacak araştırmalarda kaynak olarak kullanılabilir. Çalışma literatürde araştırma eksikliği bulunan amortisörlerde kullanılan zıplama tamponu malzemesinin malzeme seçimine katkı sağlayacak ve ileride yapılabilecek benzer çalışmalara ışık tutacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Nuri Can KAYA çalışmanın yürütülmesi, literatür taraması, veri toplama, makalenin yazımı ve düzenlenmesi, Tuncay ALPAR veri toplama ve makale düzenlenmesi, Harun ANAÇ ve Cem GÜNERİ bu çalışmanın yürütmesinde ve geliştirmesine, Abdurrahim ARKAN ise bu çalışmanın laboratuvar ortamında testlerin yapılmasına katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Akdoğan, E., Tarakçılar, A. R., Topcu, M., Yurtseven, R. (2016). The Effects of Aluminium Hydroxide and Magnesium Hydroxide on the Mechanical Properties of Thermoplastic Polyurethane Materials, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(8), 376-380. doi: 10.5505/pajes.2015.24572
2. Alpar, T. ve Karataş, H. C. (2023) Elektrikli araç amortisöründe gaz basıncı ve yağ miktarı parametrelerinin sönümlleme kuvvetine olan etkisi. *Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Kongresi*
3. Anaç, H. (2021). Çift borulu pasif bir teleskobik amortisörde silindir konfor kanallarının amortisör karakteristiğine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Doktora Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
4. Bülbül, Ş. (2019). Doğal atık malzemelerle yeni NBR bazlı bileşiklerin hazırlanması ve karakterizasyonu, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 42-49. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.563572>
5. Bülbül, Ş., Yasar, M., & Akcakale, N. (2014). Effect of changing of filling materials in NR-SBR type elastomer based rubber materials on mechanical properties, *Polymer Korea*, 38(5), 644-670. <https://doi.org/10.7317/pk.2014.38.5.664>
6. Gündoğ, M. (2016). Binek araçlarda kullanılan çift borulu amortisörlerin teknik açıdan incelenmesi, matematik modelin oluşturulması ve uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
7. Güneri, C. (2019). Valf grubu tasarım parametrelerindeki değişikliklerin araçlarda kullanılan amortisörlerin çalışma performansına olan etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
8. Han, C. (2016) Development of Rebound Bumper Using Thermoplastic Elastomer in Suspension System of Vehicle, *SAE Technical Paper 2016-01-0518*, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0518>
9. Ibis, O. T. (2018). Optimization of a mathematical model for the stiffness calculation of a cradle for front suspension axle, *Master Thesis*, Politecnico di Torino.
10. Marco Rubber&Plastics, (2024). Buna-N (NBR) vs Polyurethane for O-Rings and Seals. Erişim adresi: <https://www.marcorubber.com/Buna-N-vs-Polyurethane/material-type/14v19>

(Erişim tarihi: 11.11.2024)

11. MöllerMiner, (2024). Rebound bumpers. Erişim adresi: <https://www.moellermineer.com/en/products/damping-systems-for-automotive-technology> (Erişim tarihi: 11.11.2024)
12. MöllerMiner Tecspak, (2025). Erişim adresi: www.moellermineer.com/fileadmin/moellermineer/pdf/broschueren/en/moellermineer-tecspak-en.pdf (Erişim tarihi: 07.05.2025)
13. Norman G Clark, (2025). Tecspak General Bumpers, Erişim adresi: <https://www.ngclark.com.au/brands/miner-elastomer/tecspak-general-bumpers/> (Erişim tarihi: 06.05.2025)
14. Total Materia, (2024). Elastollan C 59 D 53. Erişim adresi: <https://portal.totalmateria.com/tr/search/quick/materials/5126946/mechanical> (Erişim tarihi: 11.11.2024)
15. Total Materia, (2024). NBR. Erişim adresi: <https://portal.totalmateria.com/tr/search/quick/materials/5089278/physical> (Erişim tarihi: 11.11.2024)
16. Total Materia, (2024). TECAMID 6 natural. Erişim adresi: <https://portal.totalmateria.com/tr/search/quick/materials/5061992/physical> (Erişim tarihi: 11.11.2024)
17. Vasiljević, J., Demšar, A., Leskovšek, M., Simončič, B., Čelan Korošin, N., Jerman, I., Šobak, M., Žitko, G., Van de Velde, N., & Čolović, M. (2020). Characterization of polyamide 6/multilayer graphene nanoplatelet composite textile filaments obtained via in situ polymerization and melt spinning, *Polymers*, 12(8), 1787. <https://doi.org/10.3390/polym12081787>

