

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOBİL TAMPON KİRİŞİNİN VE ENERJİ SÖNÜMLEYİCİSİNİN
ÇARPIŞMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Kıvanç TURAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2018

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOBİL TAMPON KİRİŞİNİN VE ENERJİ SÖNÜMLEYİCİSİNİN
ÇARPIŞMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Kıvanç TURAN

(162080116)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ

TEMMUZ 2018

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162080116 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet Kıvanç TURAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "OTOMOBİL TAMPON KİRİŞİNİN VE ENERJİ SÖNÜMLEYİCİSİNİN PERFORMANSININ İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ**
Bursa Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ
Uludağ Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erdem UZUNSOY
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : **27 Temmuz 2018**

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Mehmet Kıvanç TURAN

İmzası :

X X X X X



Aileme ve arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana bilgisiyle yol gösteren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ'e, ihtiyacım olduğu her an bana destek veren Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ'a, tezi hazırlamamda bana yardımcı olan araştırma görevlisi dostlarım Hüseyin BEYTÜT, Ali Osman GÜNEY, Abdullah DÜZCAN, Mümün YILMAZ, Halim SEVİM'e, yine çalışmamda bana çok yardımcı olan Yasin ÇİNİ'ye ve çok sevgili aileme teşekkür ederim.

Temmuz 2018

Mehmet Kıvanç TURAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	vii
SEMBOLLER	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	17
2. LİTERATÜR ÖZETİ	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1 Tampon Sistemleri	27
3.1.1 Pik (maksimum) çarpışma kuvveti	28
3.1.2 Ortalama çarpışma kuvveti	28
3.1.3 Çarpışma kuvvetinin verimi.....	29
3.1.4 Enerji sönümlenme kapasitesi.....	29
3.1.5 Özgül enerji sönümlenme miktarı.....	29
3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi	29
3.3 Kullanılan Yazılımlar	31
3.3.1 SolidWorks ve Catia	31
3.3.2 HyperWorks paket programı.....	32
3.4 Analiz Dosyalarının Hazırlanması	36
3.4.1 Tasarım.....	36
3.4.2 Eleman yapısının oluşturulması	36
3.4.3 Çarpışma ortamının hazırlanması	44
4. ANALİZ SONUÇLARI	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ.....	98

KISALTMALAR

ABS	: Anti-Lock Brake System
DFG	: Double Functionally Graded
ESP	: Electronic Stability Programme
EWK	: The ESI-Wilkins-Kamoulakos
FGF	: Functionally Graded Foam
GMT	: Glass Mat Thermoplastic
H-UT	: Honeycomb Filled Uniform Thickness
SFG	: Single Functionally Graded
SMC	: Sheet Moulding Composite
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TWF	: Tailor Welded Blanks
UF	: Uniform Foam
GSA	: Gravitational Search Algorithm

SEMBOLLER

E_m	: Özgöl enerji emilimi
E_T	: Sönümlenen toplam enerji
F	: Eksenel yöndeki kuvvet
F_{maks}	: Maksimum çarpışma kuvveti
F_o	: Ortalama çarpışma kuvveti
m	: Parçanın kütlesi
S	: Deformasyon miktarı
η	: Çarpışma kuvvetinin verimi



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Malzemelere ait mekanik özellikler.....	44
Çizelge 4.1 : Enerji sönümleyicilerin ayrıntılı performans verileri.....	91
Çizelge 4.2 : Konik enerji sönümleyicilerin ayrıntılı performans verileri.....	91
Çizelge 4.3 : Kirişlerin ayrıntılı performans verileri.....	92



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Ford Model T	18
Şekil 1.2 : Otomobil güvenlik sistemleri	19
Şekil 3.1 : Standart bir tampon sistemi. Soldan sağa kaplama, tampon kirişi enerji sönümleyici	27
Şekil 3.2 : Tek taraflı duvara sabitlenmiş kiriş	30
Şekil 3.3 : SolidWorks programı arayüzü.....	32
Şekil 3.4 : Catia programı arayüzü	32
Şekil 3.5 : HyperMesh programı arayüzü.....	33
Şekil 3.6 : HyperCrash programı arayüzü	34
Şekil 3.7 : RADIOSS programı arayüzü	35
Şekil 3.8 : HyperView programı ara yüzü	35
Şekil 3.9 : Kare enerji sönümleyici.....	37
Şekil 3.10 : Silindir enerji sönümleyici	37
Şekil 3.11 : Dikdörtgen enerji sönümleyici	38
Şekil 3.12 : Altıgen enerji sönümleyici	38
Şekil 3.13 : Koni 1. model	39
Şekil 3.14 : Koni 2. model	39
Şekil 3.15 : Koni 3. model	40
Şekil 3.16 : Koni 4. model	40
Şekil 3.17 : Koni 5. model	41
Şekil 3.18 : Kiriş ana model	41
Şekil 3.19 : Kiriş model 1	42
Şekil 3.20 : Kiriş model 2	42
Şekil 3.21 : Kiriş model 3	43
Şekil 3.22 : Kiriş model 4	43
Şekil 3.23 : Kiriş model 5	44
Şekil 3.24 : Duvara verilen hız	45
Şekil 3.25 : parçadaki sınır şartları	45
Şekil 4.1 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin kuvvet- deplasman grafiği	46
Şekil 4.2 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	46
Şekil 4.3 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin kuvvet- deplasman grafiği	47
Şekil 4.4 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	47
Şekil 4.5 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin kuvvet- deplasman grafiği	48
Şekil 4.6 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	48

Şekil 4.7 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	49
Şekil 4.8 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	49
Şekil 4.9 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	50
Şekil 4.10 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	50
Şekil 4.11 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin ana modelinin kuvvet-deplasman grafiği	51
Şekil 4.12 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin ana modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	51
Şekil 4.13 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	52
Şekil 4.14 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	52
Şekil 4.15 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	53
Şekil 4.16 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	53
Şekil 4.17 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	54
Şekil 4.18 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	54
Şekil 4.19 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	55
Şekil 4.20 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	55
Şekil 4.21 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	56
Şekil 4.22 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	56
Şekil 4.23 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 6. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	57
Şekil 4.24 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 6. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	57
Şekil 4.25 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	58
Şekil 4.26 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	58
Şekil 4.27 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	59
Şekil 4.28 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	59
Şekil 4.29 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	60
Şekil 4.30 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	60
Şekil 4.31 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	61

Şekil 4.32 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	61
Şekil 4.33 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	62
Şekil 4.34 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	62
Şekil 4.35 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin ana modelinin kuvvet-deplasman grafiği	63
Şekil 4.36 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin ana modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	63
Şekil 4.37 : Al 7075-T6'dan yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.....	64
Şekil 4.38 : Al 7075-T6'dan yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği	64
Şekil 4.39 : Al 7075-T6'dan yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği	65
Şekil 4.40 : Al 7075-T6'dan yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.....	65
Şekil 4.41 : Al 7075-T6'dan yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicinin kuvvet -deplasman grafiği	66
Şekil 4.42 : Al 7075-T6'dan yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.	66
Şekil 4.43 : Al 7075-T6'dan yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.....	67
Şekil 4.44 : Al 7075-T6'dan yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.	67
Şekil 4.45 : AZ31B'den yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.....	68
Şekil 4.46 : AZ31B'den yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	68
Şekil 4.47 : AZ31B'den yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.....	69
Şekil 4.48 : AZ31B'den yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.	69
Şekil 4.49 : AZ31B'den yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicinin kuvvet -deplasman grafiği.....	70
Şekil 4.50 : AZ31B'den yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.	70
Şekil 4.51 : AZ31B'den yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.....	71
Şekil 4.52 : AZ31B'den yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.	71
Şekil 4.53 : DP600'den yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.....	72
Şekil 4.54 : DP600'den yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği	72
Şekil 4.55 : DP600'den yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.....	73
Şekil 4.56 : DP600'den yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.	73

Şekil 4.57 : DP600'den yapılmış kare kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet - deplasman grafiği.....	74
Şekil 4.58 : DP600'den yapılmış kare kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.....	74
Şekil 4.59 : DP600'den yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.....	75
Şekil 4.60 : DP600'den yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.....	75
Şekil 4.61 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	76
Şekil 4.62 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	76
Şekil 4.63 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	77
Şekil 4.64 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	77
Şekil 4.65 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.....	78
Şekil 4.66 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği	78
Şekil 4.67 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği	79
Şekil 4.68 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	79
Şekil 4.69 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.....	80
Şekil 4.70 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 5. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	80
Şekil 4.71 : AZ31B'den yapılmış koninin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği..	81
Şekil 4.72 : AZ31B'den yapılmış koninin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	81
Şekil 4.73 : AZ31B'den yapılmış koninin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği..	82
Şekil 4.74 : AZ31B'den yapılmış koninin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	82
Şekil 4.75 : AZ31B'den yapılmış koninin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği..	83
Şekil 4.76 : AZ31B'den yapılmış koninin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	83
Şekil 4.77 : AZ31B'den yapılmış koninin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği..	84
Şekil 4.78 : AZ31B'den yapılmış koninin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	84
Şekil 4.79 : AZ31B'den yapılmış koninin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği..	85
Şekil 4.80 : AZ31B'den yapılmış koninin 5. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	85
Şekil 4.81 : DP600'den yapılmış koninin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği. .	86
Şekil 4.82 : DP600'den yapılmış koninin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	86
Şekil 4.83 : DP600'den yapılmış koninin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği ..	87
Şekil 4.84 : DP600'den yapılmış koninin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.....	87
Şekil 4.85 : DP600'den yapılmış koninin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği ..	88

Şekil 4.86 : DP600'den yapılmış koninin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.	88
Şekil 4.87 : DP600'den yapılmış koninin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği. ..	89
Şekil 4.88 : DP600'den yapılmış koninin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.	89
Şekil 4.89 : DP600'den yapılmış koninin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği ..	90
Şekil 4.90 : DP600'den yapılmış koninin 5. Modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.	90



OTOMOBİL TAMPON KİRİŞİNİN VE ENERJİ SÖNÜMLEYİCİSİNİN ÇARPIŞMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ÖZET

Ulaşım insanoğlunun temel ihtiyaçlarından biridir. İnsanoğlu, var olduğundan beri gerek su ve besin kaynakları, gerekse çevresel şartlar gibi birçok sebepten dolayı bir yerden başka bir yere gitmektedir. Önceleri bunun için at, eşek gibi diğer canlıları kullanırken, ilerleyen zamanlarda bilgi seviyesinin artmasıyla farklı araçlar geliştirilmiştir. Örnek olarak sal, at arabası verilebilir. Zaman ilerledikçe, vasıtalar çok daha gelişmiş olanlara dönüşmüştür. Özellikle Sanayi Devrimi sonrasında artan üretim hızı, daha çok yük taşımayı ve daha hızlı ulaşımı zorunlu kılmıştır. Otomobil düşüncesinin kökeni çok daha eskiye dayanmasına rağmen, içten yanmalı motorların keşfine kadar otomotiv alanında çok önemli bir gelişme yaşanmamıştır. Bu keşiften sonra otomobil tüm dünyada ilgi odağı olmuştur. Çünkü eski otomobiller daha yavaş ve daha az mesafe giderken, yeni otomobiller hem daha çok mesafe gidebiliyordu hem de daha hızlıydı. Henry Ford'un geliştirdiği Seri Üretim Yöntemi sayesinde çok daha hızlı bir şekilde otomobil üretilmekteydi. Bunun sonucu olarak trafikte olan otomobil sayısı artmıştır. Bunun sonucunda trafik kazalarında önemli artış olmuştur. Bu durum otomobil üreticilerinin güvenlik ekipmanları üzerine çalışmaya yöneltmiştir. Tampon sistemi; tampon, tampon kirişi, enerji sönmüleyiciden oluşan, asli görevi deforme olarak otomobil içindeki yolcuları korumak olan bir güvenlik ekipmanıdır. Özellikle düşük ve orta hızlı kazalarda ön plana çıkmaktadır. Genellikle tampon kirişi ve enerji sönmüleyicinin yapımında çelik, alüminyum gibi metal malzemeler kullanılırken, tampon yapımında plastik, kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu parçaların performansı değerlendirilirken beş ana unsura bakılır. Bunlar ; enerji sönmüleme kapasitesi, maksimum çarpışma kuvveti, ortalama çarpışma kuvveti, özgül enerji sönmüleme miktarı, çarpışma kuvveti verimi. Yaptığımız çalışmada DP600 malzemesi için en yüksek verime sahip enerji yutucu ve tampon modeli, araştırılmıştır. Daha sonra buna alternatif olabilecek Al 7075-T6 ve AZ31B malzemesi için de aynı çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada enerji sönmüleyici olarak dört adet eş kütleli model kullanılmıştır. Bunlar, literatürde en çok kullanılan kare, dikdörtgen, altıgen, silindir kesitli modellerdir. Daha sonra yine kütle sabit tutularak silindir kesitli model üzerinden koniklik açısının etkisi araştırılmıştır. Tampon kirişinde ise bir ana model ve bu ana model üzerinde oynamalar yapılarak beş farklı model oluşturulmuştur. Analizler explicit olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda silindir enerji sönmüleyici en iyi sonucu vermiştir. Konik yapıda düşük açılar daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tampon kirişi için alüminyum malzemede birinci model diğer çelik ve magnezyum malzemede dördüncü modelin en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Enerji sönmüleyici, tampon, tampon kirişi, enerji sönmüleme kapasitesi, maksimum çarpışma kuvveti, çarpışma.

INVESTIGATION OF COLLISION PERFORMANCE OF AUTOMOBILE BUMPER BEAM AND ENERGY ABSORBER

SUMMARY

Transportation is one of the main human needs. Since the beginning of the humanity, human moves one place to another for many reasons such as water, food based environmental conditions. At the beginning, horse and donkey were used for this but as the time passed by, many different transportation systems were developed. Raft, horse cart can be given as an example. As the time progress, vehicles turned into more advanced ones. Especially, after the Industrial Revolution, increased production speed necessitated to carry more products much faster. Although the idea of automobile originated in former times, no noteworthy progress was drawn attention until the internal combustion engine invention. After the invention, automobile become the focus of interest all over the world. Old automobiles were slow and could go less distance whereas the new automobiles are faster and can go much further distance. Due to mass production method developed by Henry Ford, ore automobiles can be manufactured. Therefore, many cars get on the traffic which will results in more traffic accidents. This makes car companies to work on security equipment. The main purpose of bumper system which consists of bumper, bumper beam and energy absorber is to protect the human being inside the car by deforming itself. This happens especially at slow and fast speed accidents. Steel and aluminum are used in the production of bumper beam and energy absorber while plastic and composite materials are used in the production of bumper. In the evaluation procedure of these tools, there are five main elements which are energy absorption capacity, maximum collision force, mean collision force, specific energy absorption amount and collision force efficiency. In this study, the most efficient energy absorber and bumper model is studied for DP600 material. Then, same procedure is applied to Al 7075-T6 and AZ31B materials as an alternative. In this work, four identical models in terms of mass is used for energy absorber. Mostly used ones in literature are square, rectangle, hexagon, cylinder cross-section models. Then, conical angle is investigated over the cylindrical cross-section. In this section, the mass is also constant. In bumper beam, there are main model and five altered models. The analysis was done in explicitly. Cylinder energy absorber gave the best result. In conical shape, the smaller angles gave the better results. In aluminum material, the first model; in steel and magnesium material, fourth model gave the best results for bumper beam.

Keywords: Energy absorber, bumper, bumper beam, energy absorber capacity, maximum collision force, collision.

1. GİRİŞ

Ulaşım insanoğlunun var olduğu andan itibaren uğraştığı bir sorundur. Çünkü insanoğlu sürekli daha uzak yerlere, daha hızlı ve daha çok şey götürerek ulaşmak istemektedir. Bu işlem için önceleri hayvanları (at, eşek gibi) kullanan insanoğlu daha sonra çeşitli araçlar geliştirmiştir.

20. Yüzyıl'a yaklaşırken teknolojideki gelişim, otomobil alanına da önemli etkiye bulunmuştur. Bu tarihe kadar otomobil üreticilerinin karşılaştığı en önemli sıkıntı, ulaşılabilen maksimum hız ve bir depo yakıt ile gidebildikleri maksimum mesafeydi. Otomobiller, bu iki özellik bakımından diğer ulaşım araçlarının çok gerisinde kalıyordu ve bu durum otomobillere olan ilgiyi azaltıyordu.

Özellikle içten yanmalı motorların geliştirilmesiyle beraber otomobillerin ulaşabildikleri maksimum hız ve bir depo yakıt ile gidebildikleri mesafe kayda değer oranda artmıştır. Bu durum neticesinde otomobillere olan ilgiye önemli bir artış olmuştur.

20. Yüzyıl'ın başlarına kadar otomobiller emek-sanat yöntemi olarak adlandırılan bir yöntem ile üretilmekteydi. Bu yöntemde otomobilin kalitesi, ustanın kabiliyetine bağlıydı. Yani usta ne kadar becerikli ise otomobil o kadar kaliteli olmaktaydı. Standart bir otomobilden bahsetmek imkansızdı. Aynı ustanın aynı atölyede ürettiği otomobillerin bile çeşitli ölçülerinde farklılıklar olmaktaydı. Bunun dışında karşılaşılan en önemli problem ise üretim hızıydı.

Sanayi devriminden sonra dünyada bir üretim patlaması yaşanmıştı. Üreticiler açısından en önemli olgu hız olmuştu. Çünkü üreticiler daha çok üretip daha çok satmak istiyorlardı. Bu açıdan en önemli olan konu hızlı üretimdi. Bu hızlı üretimin otomobil sektörüne de girmesi kaçınılmazdı.

Ford otomobil şirketinin kurucusu olan Henry Ford, otomobil sektöründeki üretim hızını arttırmak için birçok çalışma ve incelemede bulunmuştur. Bu çalışma ve incelemelerin sonunda şöyle bir çözüme varmıştır; Buna göre, otomobil üretim araçları aynı yerde toplanacaktı. Bu alan görev ve sorumluluğu sabit olan çeşitli

bölmelere ayrılacaktı. Bu bölümler yalnızca kendilerine verilen işi yapacaklardı ve eskiden olduğu gibi birden fazla işle ilgilenmeyeceklerdi. Bölümler arasında yarı mamulün geçişi bir bant vasıtasıyla gerçekleşecekti. Bulunan bu üretim yöntemine “Seri Üretim Yöntemi” denilmiştir.

Seri üretim yöntemi ile üretilmiş olan ilk otomobil Ford firmasının “Model T” olarak adlandırdığı modelidir (Şekil 1.1). Bu haber tüm dünyada büyük bir etki yaratmıştır. Dünyanın bütün ilgisi bir anda Ford firmasının gerçekleştirdiği bu yeniliğe yönelmiştir.

20. Yüzyıl’ın başlarında Henry Ford’un geliştirdiği seri üretim yöntemi ile birlikte dünyadaki otomobil üretiminde rekor düzeyde bir artış gerçekleşmiştir. Bu durumun neticesi olarak kaza sayılarında da önemli oranda artış gerçekleşmiştir.



Şekil 1.1 : Ford Model T (Company Timeline).

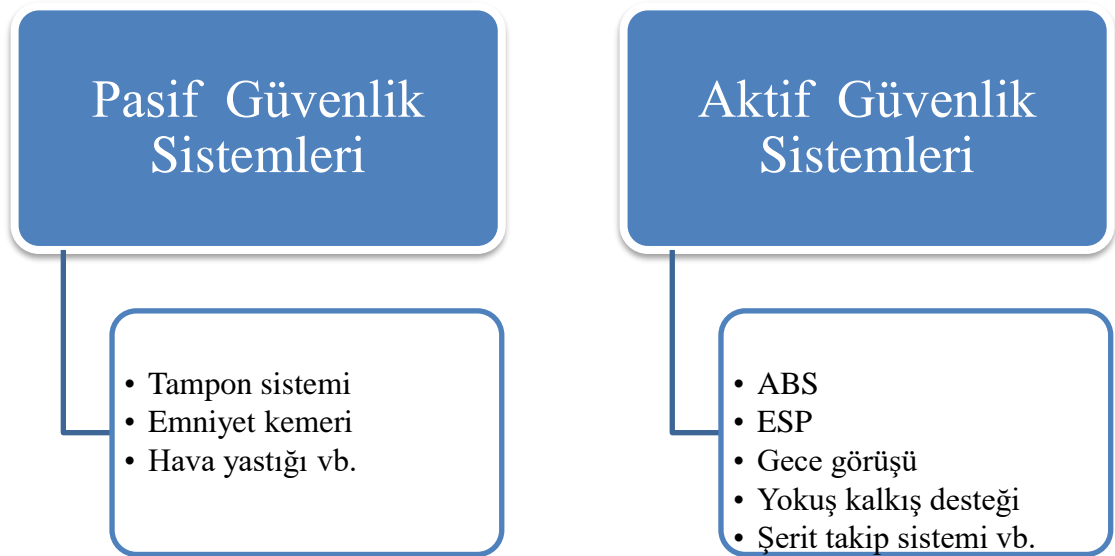
Bu durum otomobil alanında çalışan araştırmacıları çeşitli güvenlik ekipmanları geliştirmeye itmiştir. Bunun sonucu olarak emniyet kemerleri, tamponlar, hava yastıkları, ABS (Anti-Lock Brake System) gibi çeşitli güvenlik ekipmanları geliştirilmiştir(Şekil 1.2).

Günümüzde otomobillerde kullanılan güvenlik ekipmanlarını iki sınıfa ayırabiliriz (Şekil 1.2). Bunlar :

- Aktif güvenlik sistemleri
- Pasif güvenlik sistemleri

Aktif güvenlik sistemleri; otomobillerin kazaya karışma olasılığını azaltmak için geliştirilmiş güvenlik sistemleridir. Buradaki asıl amaç kazanın hiç gerçekleşmemesidir. Örneğin ABS (Anti-Lock Brake System) adından da anlaşılacağı üzere frenleme esnasında fren sisteminin kilitlenmesini engeller. Böylece, frenleme esnasında otomobilin kayarak kontrolden çıkması önlenir. Günümüzde otomobillerde kullanılan aktif güvenlik sistemlerine şunları örnek verebiliriz; ABS, ESP (Electronic Stability Programme), yokuş kalkış desteği, gece görüşü, şerit takip sistemi.

Pasif güvenlik sistemleri; kaza gerçekleşirken otomobil içindeki yolcuları korumakla görevli olan sistemlerdir. Pasif güvenlik sistemleri aktif güvenlik sistemlerine göre daha eski olan sistemlerdir. Pasif güvenlik sistemlerine örnek olarak şunları verebiliriz; emniyet kemeri, hava yastıkları, tampon sistemleri.



Şekil 1.2 : Otomobil güvenlik sistemi.

20. Yüzyıl'ın sonlarına doğru gelindiğinde otomobil endüstrisinin karşılaştığı en ciddi problem karbondioksit emisyonuydu. Çünkü karbondioksit emisyonundaki artış neticesinde sera gazı etkisinde de bir artış oluşmaktadır.

Sera gazı etkisi çağımızın en büyük çevresel problemidir. Sera gazı etkisi, en basit şekilde tanımlanacak olursa; atmosferde bulunan sera gazı miktarının artması sonucunda daha fazla güneş ışınının tutulması ve bu durumun dünyamızın sıcaklığının artmasına sebep olmasıdır.

Karbondioksit emisyonunu azaltmanın en kolay yolu yakıt tüketimini azaltmaktır. Bunun için yapılabilecek dört temel çözüm yolu vardır:

- Motor verimliliğini arttırmak.
- Yakıt performansını geliştirmek.
- Otomobillerin ağırlığını azaltmak.
- Alternatif yakıt sistemleri kullanan otomobiller geliştirmek.

Bu dört madde üzerine de günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır. Bu dört madde içerisinde bize en hızlı çözümü verebilecek olan otomobillerin ağırlığını azaltmaktır. Gerek ağır malzemelerin yerine hafif malzemelerin kullanımı, gerekse çeşitli optimizasyon çalışmaları ile bu azaltma işlemi gerçekleştirilebilir. Günümüzde bu yönde birçok başarılı çalışma bulunmaktadır.

Bu tezin amacı, otomobillerin önemli koruyucu ekipmanlarından olan enerji sönümleyici ve tampon kirişinin çarpışma performansının analizini gerçekleştirmek ve çeşitli optimizasyonlar ile performansını iyileştirmektir. Bu amaçla, malzeme olarak otomobil endüstrisinde yoğun olarak kullanılan DP600 çeliği tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra Al 7075-T6 alüminyum alaşımı ile AZ31B magnezyum alaşımı da çelik malzemeye hafif alaşımlardan alternatif oluşturabilmek maksadıyla analiz çalışmalarında kullanılmıştır. Tampon kirişi için toplam altı model kullanılmıştır. Enerji sönümleyici için ise toplam dokuz model kullanılmıştır. Tasarımlar Catia ve SolidWorks programlarıyla yapılmıştır. Sonlu elemanlar yapısı HyperMesh programı ile oluşturulmuştur. Çarpışma ortamının tasarımı için HyperCrash programı kullanılmıştır. Çözücü olarak RADIOSS programı tercih edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Her yıl trafik kazaları sonucu bir milyondan fazla insan yaşamını yitirmektedir. Araç sayısının artmasıyla trafik kazalarında her yıl artış olmaktadır. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre, 2016 yılında Türkiye’de 185 bin 128 adet ölümlü yaralanmalı trafik kazası olmuş ve 7 bin 300 kişi yaşamını yitirmiştir (TÜİK, 2017). Araç kazaları sadece can kaybına değil, aynı zamanda ciddi maddi kayba da neden olmaktadır.

Ölümler ve yaralanmalarla sonuçlanan trafik kazalarının büyük kısmı önden araç çarpışmalarından meydana gelmektedir. Araç çarpışma performansı her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Ayrıca sıkı güvenlik normları ve rekabet, otomotiv üreticilerinin bu konuya daha fazla önem vermesini sağlamıştır. Son yıllarda mevcut tasarımları iyileştirme ve yeni tasarımları daha iyi bir şekilde geliştirmek için birçok araştırma yapılmıştır (Shinde, 2014).

Kaza sayısı hiçbir zaman sıfıra indirgenemeyeceğinden, araç güvenliğinin artırılması elzemdir. Özellikle önden çarpışmalarda darbeyi ilk sönmüleyen tampon, tampon kirişi ve enerji sönmüleyicinin çarpışma performansının artırılması önemlidir.

Literatürde tampon sistemlerini oluşturan parçalar üzerine yapılan çalışmaları genel olarak şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- Malzeme çalışmaları
- Optimizasyon çalışmaları
- Şekil çalışmaları
- Üretim yöntemleri çalışmaları
- Birleştirme yöntemleri çalışmaları

Literatürde enerji sönmüleyici tasarlanırken genelde kare, silindir, dikdörtgen gibi şekiller tercih edilirken, Wang ve Zhou (2017) yaptıkları çalışmada origamik enerji sönmüleyicinin performansını incelemiştir.

Li ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada daralan yapıdaki silindir tüpün sanki statik yüklemeye altındaki enerji sönmüleme kapasitesini deneysel ve nümerik yöntemlerle

incelemiştir. Yapılan çalışmada malzeme olarak 6061-T6 alüminyum malzeme kullanılmıştır ve daralan yapıdaki silindir tüplerin genişleyen yapıdakilere göre daha çok enerji sönümlendiği görülmüştür. Daralma oranı ve tüp kalınlığı arttıkça enerji sönümleme verimliliği artmıştır. Kuvvet-deplasman grafiğinin, burç koni açısı ve tüp uzunluğundan çok fazla etkilendiği görülmüştür.

Hosseinzadeh ve diğ. (2005) GMT (Glass Mat Thermoplastic) malzemeden yapılmış ön tampon kirişlerinin çarpışma performansını incelemiştir. GMT dışında mukayese amaçlı çelik, alüminyum ve SMC (Sheet Moulding Composite) malzemeleri de kullanılmıştır.

Zarei ve diğ. (2008) termoplastik kompozit malzemeden yapılmış enerji sönümleyicilerin performansını incelemiştir. Numunelere dinamik çarpışma testi uygulanmıştır. Deneysel çalışmanın yanında LS-DYNA programı ile analizler de yapılmıştır. Daha sonra parçalara optimizasyon çalışması uygulanmıştır. Çalışmada ayrıca kıyaslama amaçlı alüminyum malzeme de kullanılmıştır. Buna göre optimum kompozit enerji sönümleyicinin, optimum alüminyum enerji sönümleyicilere göre % 17 daha çok enerji sönümlerken % 26 daha hafif olduğu belirlenmiştir.

Kim ve diğ. (2014) alüminyum/ karbon fiber takviyeli kompozit malzemeden yapılmış hibrit kare kesitli tampon kirişin çarpışma performansını incelemiştir. Deneysel çalışma, düşük hızda eksenel yükleme şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Qureshi ve Bertocchi (2012) yaptıkları çalışmada, yüzeyi sinüsoidal desenli ince cidarlı kirişlerin çarpışma performansını incelemiştir. Çalışma kapsamında altı farklı yüzey desenli model oluşturulmuştur ve toplam 43 örnek incelenmiştir. Çarpışma ortamının tasarımı için HyperCrash yazılımı kullanılmış olup çözücü olarak ise RADIOSS programı tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi sonuçları SLD tipli modellerin verdiği görülmüştür.

Li ve diğ. (2018) tarafından AZ31B ve A6063 alaşımlarına ait ince duvarlı dairesel borular üzerinde, uzunluk/çap oranı ve çarpma hızının enerji sönümleme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Magnezyum alaşımının enerjisi, kırılarak sönümlendiği görülürken, alüminyum alaşımının enerjilikatlanma sırasında plastik deformasyona uğrayarak sönümlendiği görülmüştür.

Marzbanrad ve diğ. (2009) düşük hızda gerçekleşen kazalarda tampon sisteminin performansını incelemiştir. Çalışmada çelik, alüminyum, magnezyum gibi metal

malzemeler ve GMT, SMC gibi kompozit malzemeler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında düşük elastik modüle sahip malzemelerin kullanımının düşük rijitliğe, yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımının iyi çarpışma davranışına sebep olduğu görülmüştür. Tampon kalınlığındaki artış rijitliğin ve çarpışma kuvvetinin artmasına sebep olmaktadır. Yolcu varlığı çarpışma performansını olumsuz etkilemektedir. Çünkü yolcu varlığı tampondaki gerilmeyi ve çarpışma kuvvetini arttırmaktadır.

Gronostajski ve diğ. (2018) magnezyum alaşımı ve çeliğin enerji sönümleme kapasitelerini karşılaştırmışlardır. Magnezyum alaşımının, alüminyum köpük kullanılarak enerji sönümleme kapasitesinin artırılabilceğini belirlemişlerdir.

Tanlak ve Sonmez (2014) ince cidarlı enerji sönümleyici tüplerin yüksek hızlı çarpışmalarda optimum şekil tasarımı üzerine çalışmıştır. Çarpışma şartları EURONCAP protokolüne benzer şekilde oluşturulmuştur. Tasarım değişkenleri olarak kesit yüzeyi, kalınlık ve boyuna uzunluk seçilmiştir. Analiz sonucunda optimum tasarımın taleplere bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

Parrish ve diğ. (2012) araç üzerinde bulunan çelik parçaları magnezyum parçalarla değiştirerek aracın çarpışma performansını incelemişlerdir. Çarpışma performansını belirleyen faktörlerin korunması durumunda, çelik parçalar yerine magnezyum parçalar kullanılarak ağırlığın %50'ye kadar azaltılabileceği gözlemlenmiştir.

Steglich ve diğ. (2015) farklı oyuk dikdörtgen magnezyum alaşımlarının çarpışma performanslarını, hem deneysel hem de nümerik olarak çalışmış ve yapısal farklılıkların enerji sönümleme kapasitesini büyük ölçüde etkileyebileceğini söylemişlerdir.

Zhu ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada DFG (Double Functionally Graded) , SFG (Single Functionally Graded) ve H-UT (Honeycomb Filled Uniform Thickness) tüplerin performansını incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda DFG'nin enerji sönümleme kapasitesi bakımından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Xiao ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada FGF (Functionally Graded Foam) ile doldurulmuş tampon kiriş sistemini incelemiştir. Nümerik çalışmalar LS-DYNA programı vasıtasıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında FGF ile doldurulmuş tampon kirişlerinin UF (Uniform Foam) ile doldurulmuş tampon kirişleri ile performansı kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda FGF ile doldurulmuş tampon kirişlerinin UF ile

doldurulmuş kirişlere göre aynı ağırlıkta daha yüksek enerji sönümleyebildiği görülmüştür. Çalışmanın son kısmında parçalara optimizasyon işlemi uygulanmış olup bu işlem sonucunda FGF ile doldurulmuş tampon kirişinin aynı çarpışma değerlerine %14,4 daha hafif olarak ulaştığı görülmüştür.

Hussain ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada, eksenel yükleme altında tetikleyici yapısının çarpışma performansına etkisini incelemiştir. Numune şekli olarak silindirik, malzeme olarak cam fiber takviyeli kompozit malzeme tercih edilmiştir. Çalışmada, numunelerin bir tanesinde hiçbir tetikleyici yapı olmamak üzere dört farklı numune kullanılmıştır. Çarpışma hızı olarak 16 km/saat tercih edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda en düşük özgül enerji emilimine sahip numunenin, üzerinde tetikleyici yapı olmayan numune olduğu görülmüştür. En yüksek verime ise B tipi numunede ulaşılmıştır. Analiz sonuçlarına göre B tipi numunenin %35,45 daha fazla özgül enerji emilimine sahip olduğu görülmüştür.

İnce ve diğ. (2011) çelik ve alüminyumun çarpışma davranışını nümerik ve deneysel olarak araştırmıştır. Daha sonra çelik ve alüminyum malzemeden hibrit bir model oluşturulmuş, o modelin performansı incelenmiştir. Bu model üzerinde optimizasyon çalışması yapılarak ağırlıkta %17,5 tasarruf sağlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda yüksek verimliliğe sahip hibrit bir enerji sönümleyici elde edebilmek için özel kaynak teknikleri üzerine çalışılması gerektiğine kanaat getirilmiştir. Çünkü kaynak bölgesinin mukavemeti parçadan daha düşük olmaktadır. Bu sayede parçanın gerçek enerji sönümleme kapasitesi görülebilecektir.

Qureshi ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada, yüzeyi sinüsoidal desenli kirişlerin eğik yükleme altındaki performansını incelemiştir. Çalışmada çentik ve sürekli olmak üzere iki tip tetikleyici kullanılmıştır. Çalışma sonucunda SLD modellenli çentik tetikleyicili kiriş ve SLD modellenli sürekli tetikleyicili kiriş referans kirişe göre daha iyi sonuç vermiştir.

Simon ve Beggs (2010) yaptıkları çalışmada çift fazlı çelik malzemeden yapılmış tampon kirişi ile alüminyum malzemeden yapılmış tampon kirişinin performansını kıyaslamıştır.

Shahbeyk ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada kutu kesitli kirişlerde nokta kaynağı hatası, flanş bölgesi sac metal kalınlığı, köpük duvar temas bölgesinde yapışkan

varlığı, köpükle doldurmanın eğilme yüklemelerine etkisi, boş ve köpükle doldurulmuş kirişleri çökme mekanizmasını incelemiştir.

Zarei ve Kröger (2007) yaptıkları çalışmada içi boş, içi alüminyum köpük ile doldurulmuş, içi bal peteği yapılı alüminyum malzeme ile doldurulmuş kare kesitli tüplerin çarpışma performansını incelemiştir. Çarpışmanın daha iyi anlaşılabilmesi için aynı çarpışma LS-DYNA programı ile de gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada en iyi sonucu içi alüminyum köpük ile doldurulmuş olan alüminyum tüp vermiştir. Deneysel ve nümerik sonuçlar büyük oranda örtüşmüştür. Daha sonra optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Buna göre üzerinde optimum içi alüminyum köpük ile doldurulmuş alüminyum tüp optimum içi boş alüminyum tüple aynı enerjiyi %19 daha hafifken söndürebilmektedir.

Choiron ve diğ. (2016) çift katmanlı ve üzerinde delikler olan enerji sönmüleyicinin deformasyon davranışı ve enerji sönmüleme kapasitesini araştırmıştır. Çalışmada dairesel kesitli enerji sönmüleyici kullanılmıştır. Enerji sönmüleyici alüminyum malzemeden yapılmış olup çarpışma hızı olarak 16 km/saat hız tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında altı adet model geliştirilmiştir. Bu modellerin üzerinde iki veya dört adet delik bulunmaktadır. Deliklerin konumu ilk kısmın 1/2'si, 1/4'ü, 3/4'ü olarak değişmektedir. Çalışma kapsamında en iyi sonucu dört delikli ve delik konumları 3/4 olan model vermiştir.

Ciubotariu (2014) yaptığı çalışmada ince cidarlı TWB (Tailor Welded Blanks) yapılı enerji sönmüleyicinin çöküş davranışını incelemiştir. Çalışma kapsamında dikdörtgen kesitli enerji sönmüleyici kullanılmıştır. Yapılan çalışmada en iyi sonucu flanşsız olan enerji sönmüleyiciler vermiştir. Kaynak hattının çökmeyici geciktiren bir engel oluşturduğu görülmüştür. Kaynak hattı tüm enerji sönmüleyicilerde benzer etkiye sahiptir. Yani çarpışma modunun değişimi iki yapının birbirinin üzerine çöküşü şeklinde gerçekleşmektedir.

Kim ve diğ. (2008) düşük hızlı kazalarda ön ve arka tampon kirişinde toplam çarpma hasarını incelemiştir. EWK (The ESI-Wilkins-Kamoulakos) hasar modeli analiz en güvenilir sonucu vermiştir.

Nursherida ve diğ. (2011) kompozit ve çelik tampon kirişlerin önden çarpma durumunu incelemiştir. Yapılan çalışmada karbon/epoksi yapılı kompozit tampon

kirişli %67,2 ağırlık tasarrufu sağlarken, 5,638 kJ/kg ile iyi bir özgül enerji emilimini gerçekleştirdiği görülmüştür.

Zhou ve diğ. (2014) alüminyum malzemeden yeni bir tampon sistemi üretimi üzerine çalışmıştır. Çalışma kapsamında tampon sistemi parçalarına topolojik optimizasyon uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yüksek çarpışma performansına sahip alüminyum tampon sistemi geliştirilmiştir.

Qian ve Xiaoyu (2012) 6061 alüminyum alaşımından tampon kirişli üzerine optimizasyon çalışması yapmıştır.

Yıldız ve Karagöz (2017) yaptıkları çalışmada şekil verme geçmişinin çarpışma performansına etkisini incelemiştir. Çalışmada ince cidarlı tüp bir enerji sönümleyici kullanılmıştır. Bu parçaya daha sonra optimizasyon çalışması uygulanmıştır. İki ana unsur olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda, şekil verme geçmişinin çarpışma performansı üzerinde ciddi etkisi olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra en iyi optimizasyon sonucunun hibrit GSA (Gravitational Search Algorithm) ile elde edildiği görülmüştür.

Yıldız ve Demirci (2015) yaptıkları çalışmada, enerji sönümleyicilerin çarpışma performansını incelemiştir. Çalışma kapsamında biri mevcut model olmak üzere altı model kullanılmıştır. Çalışma sonucunda çokgen enerji sönümleyicilerin silindirik enerji sönümleyicilerden daha iyi performans verdiği görülmüştür. Ana gövdedeki et kalınlığı artışının enerji sönümleme kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir. Yapı üzerine eklenen oluk ve deliklerin maksimum çarpışma kuvvetini azalttığı görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

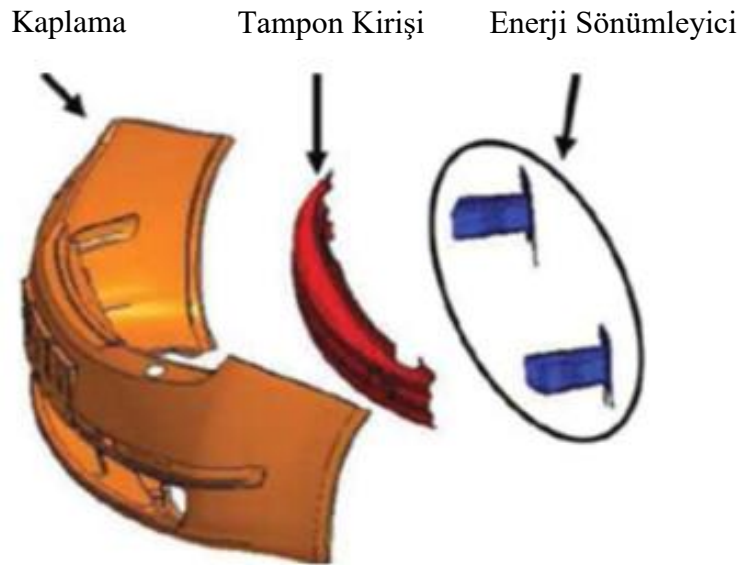
3.1 Tampon Sistemleri

Tamponlar otomobilin ön ve arka tarafına yerleştirilmiş, görevi otomobili korumak olan otomobil parçalarıdır. Geniş deformasyon alanlarının yardımıyla kaza esnasında ortaya çıkan etkileri azaltırlar, tamponların tasarım ve şekillendirilmesi de kaza esnasında ortaya çıkan bu kuvvetleri emmesi ve deforme olması göz önüne alınarak yapılır (Kleisner ve Zemčık 2009). Tamponlar genellikle çelik, alüminyum, kauçuk ya da plastikten yapılır (Prabhakaran ve diğ . 2012).

Tampon sistemini oluşturan başlıca parçalar şunlardır (Şekil 3.1):

- Kaplama
- Tampon kirişi
- Enerji sönmleyici (Kleisner ve Zemčık, 2009).

Kaplama tamponun dış kısmıdır. Çok yüksek bir enerji emilimi gerçekleştirmez, daha çok görseelliği ön plandadır.



Şekil 3.1 : Standart bir tampon sistemi. Soldan sağa kaplama, tampon kirişi enerji sönmleyici (Kleisner ve Zemčık, 2009).

Tampon kirişi, kaplamanın iç kısmında bulunan, asli görevleri kaplamaya destek olmak, enerji sönümleyici ile kaplamayı birbirine bağlamak ve kaza esnasında ortaya çıkan enerjiyi deforme olarak sönümlemek olan bir otomobil parçasıdır.

Enerji sönümleyiciler, tampon kirişi ile şase arasında bulunan, görevi kaza esnasında ortaya çıkan kinetik enerjiyi sönümleyerek şaseye gitmesini engellemek olan pasif güvenlik ekipmanıdır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan tampon sistemleri şunlardır:

- Metal dış tampon
- Plastik kaplı ve kiriş takviyeli
- Plastik kaplı, kiriş takviyeli ve mekanik enerji sönümleyicili
- Plastik kaplı, kiriş takviyeli ve köpük ya da petek enerji sönümleyici takviyeli
- Plastik kaplı, kiriş takviyeli, köpüklü ve mekanik enerji sönümleyicili (Vandanapu ve Pandu, 2015).

Tampon sistemini oluşturan parçaların performansını değerlendirmek için kullanılan belli başlı ölçütler vardır. Bunların başında pik(maksimum) çarpışma kuvveti, enerji sönümleme kapasitesi, özgül enerji sönümleme miktarı, ortalama çarpışma kuvveti, çarpışma kuvvet verimi gelmektedir (Karagöz, 2016).

3.1.1 Pik (maksimum) çarpışma kuvveti

Çarpışma esnasında parçada çarpışma yönünde tepki kuvvetleri oluşur. Pik kuvvet adından da anlaşılacağı üzere bu kuvvetlerin en büyüğüdür.

Pik çarpışma kuvveti; tampon sistemi ve onlar gibi enerji sönümleyici ekipmanlar tasarlanırken dikkate alınması gereken önemli hususlardan biridir. Tasarımcılar mümkün oldukça bu kuvveti düşük tutmaya çalışırlar. Çünkü bu kuvvetin çok büyük olması tepkinin şaşıye aktarılmasına sebep olmaktadır ve bu istenmeyen bir durumdur (Karagöz, 2016).

3.1.2 Ortalama çarpışma kuvveti

Ortalama çarpışma kuvveti; enerji sönümleyicinin sönümlendiği enerji miktarının, enerji sönümleme süresince yaptığı deplasmana oranıdır (Karagöz, 2016).

Birçok enerji sönümleyici boyunun tamamında değil yalnızca belli bir deplasman mesafesinde enerji sönümler, bu sebeple hesaplamaya o kısım dahil edilir.

$$F_O = E_T / S_S - S_b \quad (3.1)$$

3.1.3 Çarpışma kuvvetinin verimi

Çarpışma kuvveti verimi, çarpışma analizleri için en önemli parametrelerden biridir. Çünkü verimin yüksek olması demek; istenilen sonuç elde edilmiş demektir.

Çarpışma kuvveti verimi; ortalama çarpışma kuvvetinin pik çarpışma kuvvetine bölünmesi ile ölçülür. Yani ortalama çarpışma kuvveti ne kadar yüksek olursa o kadar yüksek verimli bir çarpışma sonucu elde edilir (Karagöz, 2016).

$$\eta = F_O / F_{maks} \quad (3.2)$$

3.1.4 Enerji sönümlenme kapasitesi

Enerji sönümlenme kapasitesi; parçanın çarpışma boyunca sönümleyebildiği toplam enerji miktarıdır. Çarpışma analizi değerlendirilirken ilk olarak bakılan değerdir ve mümkün olan en yüksek değerde olması istenir (Karagöz, 2016).

$$E_T = \int_{S_b}^{S_s} F dS \quad (3.3)$$

3.1.5 Özgül enerji sönümlenme miktarı

Özgül enerji sönümlenme miktarı enerji sönümlenme kapasitesiyle ilişkili bir değerdir. Toplam sönümlenen enerjinin parçanın ağırlığına bölünmesiyle elde edilir. Tek başına çok bir anlamı olmayan bu değer optimizasyon açısından çok önemlidir. Çünkü özgül enerji sönümlenmesi yüksek olan malzemeler üzerinden yapılacak birkaç optimizasyon çalışması ile yüksek enerji sönümlenme kapasiteleri elde edilebilir.

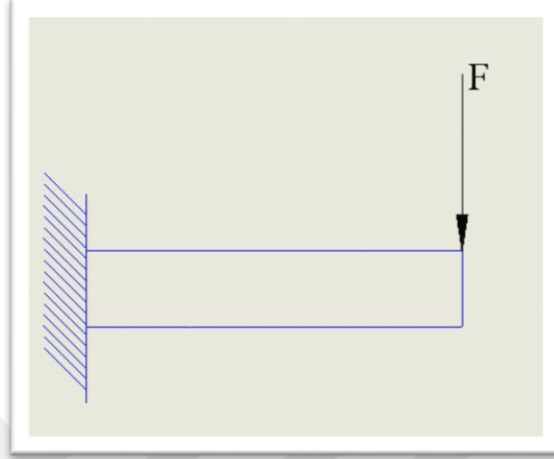
$$E_m = E_T / m \quad (3.4)$$

Yapılan bu çalışmada performans verilerini elde etmek için; sonlu eleman yöntemlerini kullanan Hyperworks yazılımı tercih edilmiştir.

3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Mühendislik uygulamalarında karşılaştığımız birçok problem esasında basit olarak nitelendirebileceğimiz, klasik çözüm yöntemleri ile çözebileceğimiz türde problemlerdir. Örneğin bir ucu duvara sabitlenmiş, diğer ucundan F büyüklüğünde

kuvvet uygulanan basit bir kiriş yapısını düşünelim (Şekil 3.2). Böyle bir problemin çözümünde klasik yöntemler bizim açımızdan yeterli olacaktır. Çünkü çözümle bulduğumuz değer büyük oranda gerçekteki değerle örtüşecektir. Fakat daha karmaşık yapılarda, dinamik yüklemelerin devreye girdiği problemlerde klasik yöntemler bizim için yetersiz kalmaktadır.



Şekil 3.2 : Tek taraflı duvara sabitlenmiş kiriş.

Klasik yöntemlerle çözülemeyen yada çözülse dahi doğruluğundan tam olarak emin olunamayan durumlarda sonlu elemanlar yöntemine başvurulmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminin tarihi 1950'lere dayanmaktadır. İlk olarak havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan bu yöntem, günümüzde otomotivden enerjiye, inşaattan denizcilığe kadar birçok sektörde kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemini kısaca bir tümevarım yöntemi olarak tanımlanabilir. Yani parçayı bir bütün olarak çözmek yerine, onu belli sayıda yapısı belli elemanlara ayırıp, bu elemanların her biri için belli çözümler yapılır ve bu çözümlerin birleştirilmesiyle genel çözüm elde edilir.

Sonlu eleman yöntemlerinin aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Yapının belirlenen yapı ve sayıda elemana ayrılması
- Fiziksel modelin matematiksel modele çevrilmesi
- Elemanlar için çözümün gerçekleştirilmesi
- Düğüm noktaları aracılığıyla birleştirilerek genel sonuca ulaşılması

Sonlu elemanlar yöntemi hemen hemen bütün mühendislik problemlerinde kullanılabilir. Bu yönüyle büyük bir avantaja sahiptir, fakat sonucun doğruluğu

tamamıyla modelin oluşturulma aşamasına bağlıdır. Şayet model doğru oluşturulmazsa, bulunan değer ile gerçek değer arasında çok büyük fark olabilir.

3.3 Kullanılan Yazılımlar

Bu çalışmada analiz programı olarak HyperWorks, tasarım programı olarak Solidworks ve Catia yazılımları kullanılmıştır.

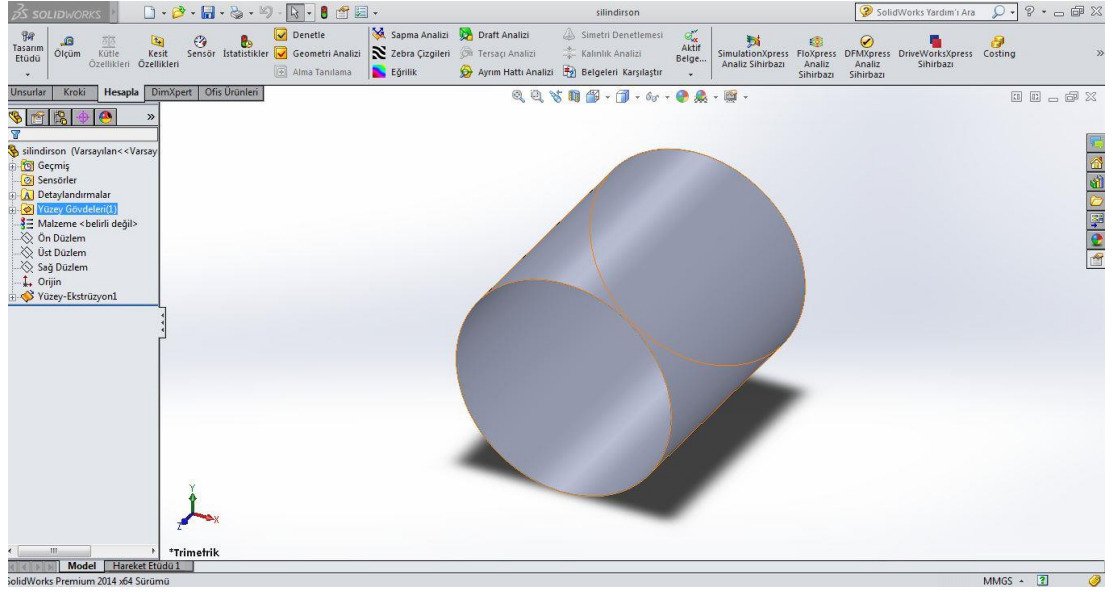
3.3.1 SolidWorks ve Catia

SolidWorks ve Catia; günümüz endüstrinde en çok kullanılan tasarım programları arasındadırlar. Endüstride ilk kullanılan tasarım programları teknoloji yetersizliğinden dolayı iki boyutluydu, yalnızca teknik resim çizebiliyorlardı. Teknolojinin gelişmesiyle beraber üç boyutlu tasarım programları devreye girmiştir. SolidWorks gerek katı model oluşturma modülünün, gerekse gelişmiş montaj modülü sayesinde daha çok makine imalat sektöründe tercih edilmektedir (Şekil 3.3). Catia, yüzey modülünün getirmiş olduğu avantaj sayesinde, özellikle kalıp ve sac metal sektöründe kullanılmaktadır (Şekil 3.4).

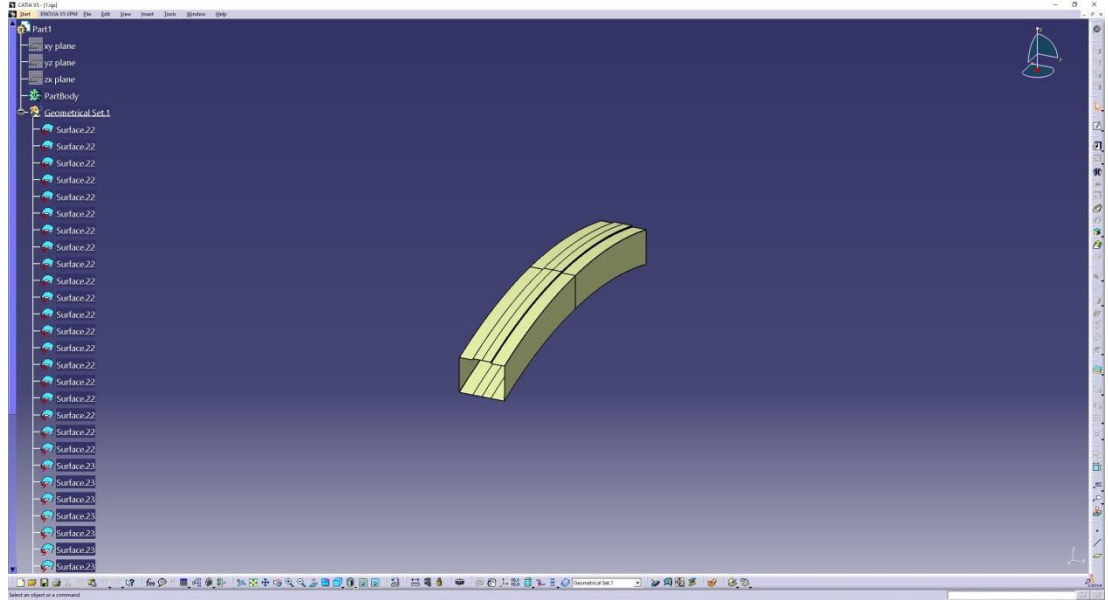
Bu programlarla 3 boyutlu tasarımdan iki boyutlu teknik resime geçiş yapılabilmektedir. Teknik resime geçilebilmesi birçok avantajı yanında getirmektedir. Örneğin parçanın çeşitli yönlerinden kesitler alınabilmektedir. Bu sayede parçanın önden, soldan ya da üstten görünüşünde görünmeyen delik ve benzeri yapıları bu kesitler sayesinde görülebilir. Antet kısmı oluşturulabilir. Bu sayede teknik resim için gerekli olan malzeme listesi oluşturabilir. Üretim için gerekli olan semboller (Örneğin tolerans, talaşlı üretim yöntemi gibi) burada yerleştirilebilir.

Bu programlar ile tasarım dışında çeşitli analiz ve simülasyon işlemleri de yapılabilmektedir. Örneğin SolidWorks programı ile stres analizi yada akışkanın modelin içinden nasıl aktığının analizi yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra costing seçeneği ile maliyet analizi yapılabilmektedir (Şekil 3.3). Catia'da da buna benzer birçok analiz gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 3.4).

Catia'nın SolidWorks'e göre en büyük avantajı tasarım dosyalarını üretim için komut dosyası haline getirebilmesidir. Bu sayede ek bir program kullanılmasına gerek kalmaz.



Şekil 3.3 : SolidWorks programı arayüzü.



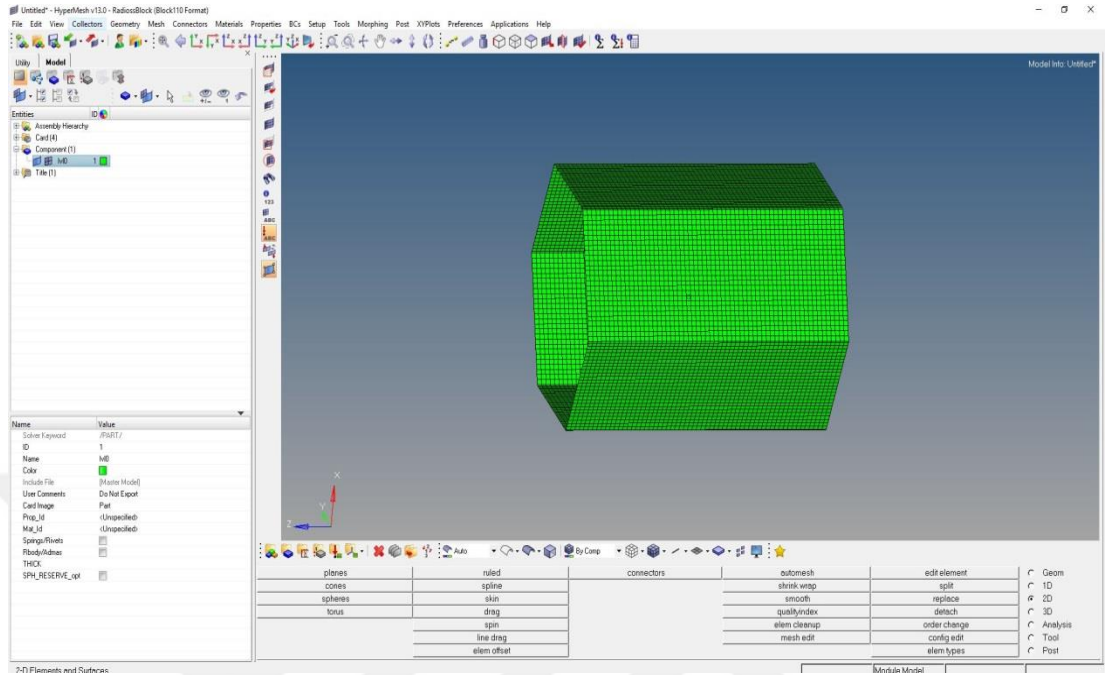
Şekil 3.4 : Catia programı arayüzü.

3.3.2 HyperWorks paket programı

HyperWorks; Altair firmasının geliştirdiği, günümüz analiz paket program pazarının en önemli oyuncularından biridir. Bu paket programın içerisinde HyperMesh, HyperCrash, HyperView, HyperMath, RADIOSS, OptiStruct gibi birçok değerli programlar bulunmaktadır.

HyperMesh; tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu parçalarda, mesh yapı ve düzeninin oluşturulduğu çok kullanışlı bir programdır (Şekil 3.5). Kullanıcı dostu arayüzü sayesinde birçok işlem kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanı

sıra mesh yapı ve düzeni dışındaki birçok işlemi de gerçekleştirmeye olanak sağlamaktadır (Şekil 3.5).



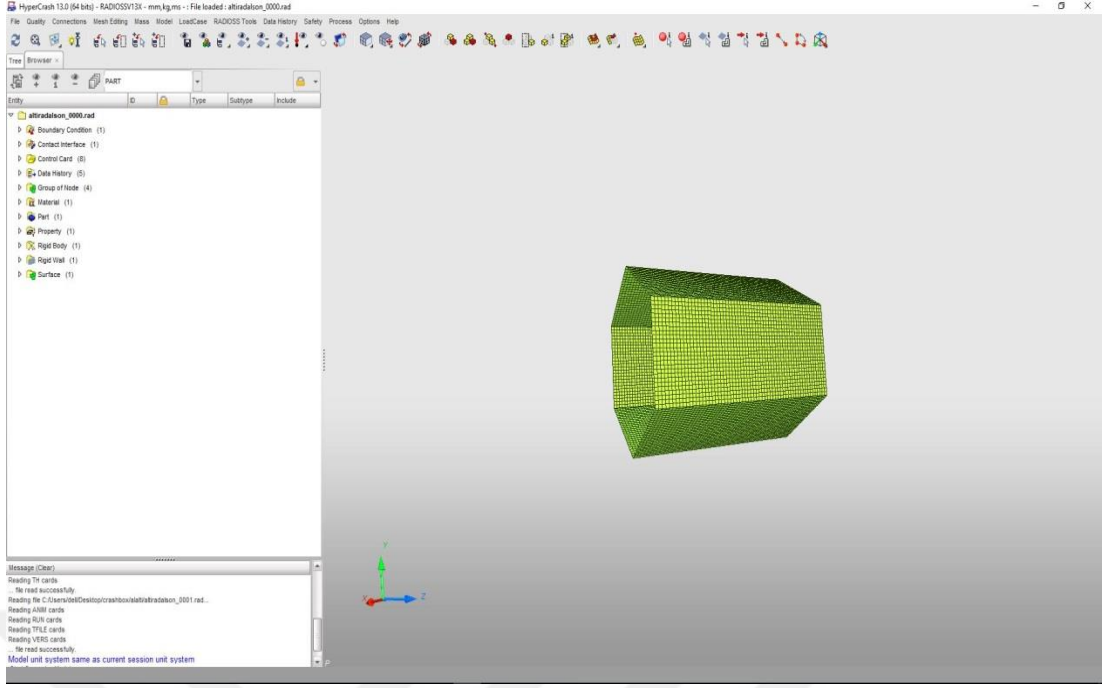
Şekil 3.5 : HyperMesh programı arayüzü.

HyperCrash; çarpışma ortamının oluşturulduğu programdır (Şekil 3.6). Çarpışma için uygulanacak kuvvet ya da hızdan sınır şartlarına, temas yüzeyinden çarpışmanın yapılacağı rijit kütleyle, malzeme özelliklerine, çözüm yönteminden çarpışma şart ve sonuçlarına kadar birçok özellik bu program yardımıyla oluşturulmaktadır. Burada oluşturulan bazı özellikler, HyperMesh ile de oluşturulabilmektedir (Örneğin malzeme özellikleri).

HyperCrash programında bir çarpışma ortamı oluşturulurken dikkat edilmesi gereken en önemli husus çözümlene yönteminin doğru oluşturulmasıdır. Şayet çözüm yöntemi doğru oluşturulmazsa, girilen tüm veriler doğru olsa dahi sonuç gerçek değere yakınsamayacaktır. Bunun için uygulanacak sınır şartları, temas yüzeyi, çözüm araçları gibi özelliklerin özenle girilmesi gerekmektedir

Bunun dışında istenen sonuçları (maksimum kuvvet, hız değişimi, kinetik enerji değişimi deplasman, von misses, emilen enerji miktarı gibi) doğru olarak elde edebilmek için kontrol kartlarının oluşturulmasına ve düzenlenmesine özen gösterilmelidir (Şekil 3.6).

Programın sonunda kontrol aracı ile analiz dosyası içinde hata olup olmadığı kontrol edilir.



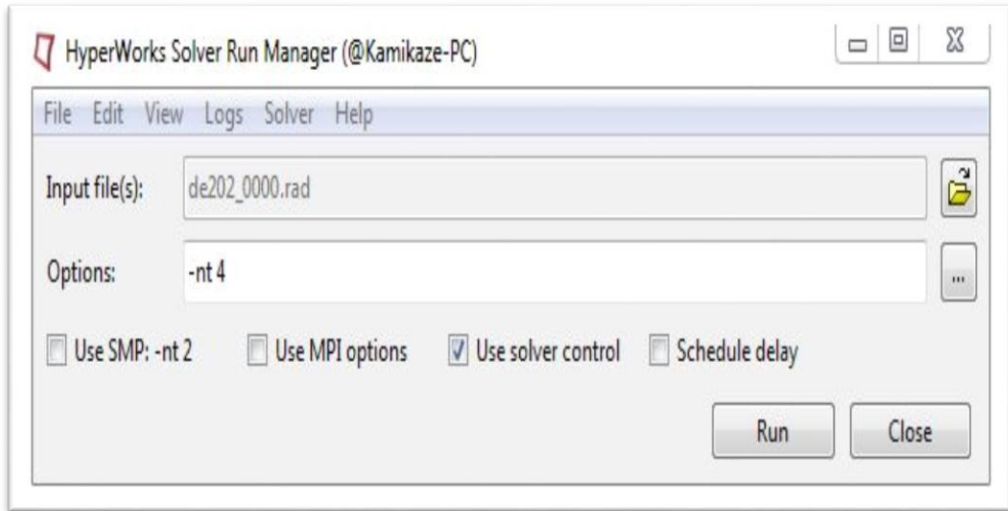
Şekil 3.6 : HyperCrash programı arayüzü.

RADIOSS; HyperWorks paket programı içerisinde yer alan bir çözüm programıdır (Şekil 3.7). HyperMesh veya HyperCrash'de hazırlanan analiz dosyaları bu program aracılığı ile çözülür. Bu programın yanı sıra başka çözüm programları da kullanılabilir.

RADIOSS programının sağladığı birçok avantaj vardır. Bunların başında hiç kuşkusuz kullanılacak bilgisayarın işlemcisinin çekirdek sayısının belirlenebilmesi sayılabilir. Bilgisayarda aynı anda birden fazla program kullanılması gerekebilir. Böyle durumlarda kullanılacak çekirdek sayısını belirleyebilmek ciddi fayda sağlamaktadır.

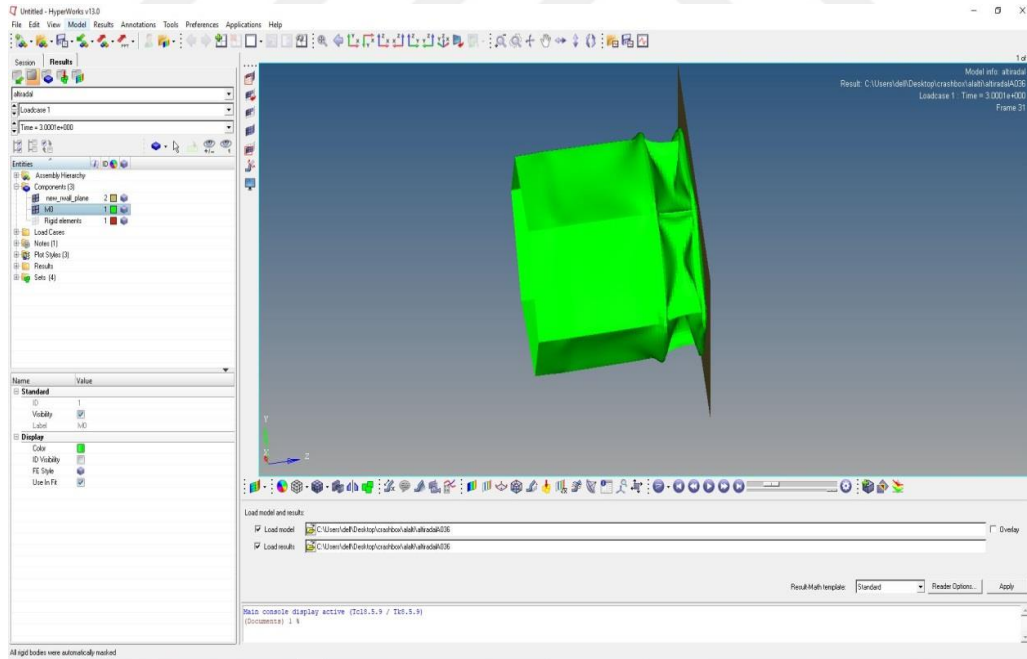
Bir başka avantaj olarak aynı anda birden fazla çözüm yapabilmeye sayılabilir. Bu belki çözüm süresini uzatacaktır fakat çözüm esnasında hata olup olmadığını, hatanın nerede gerçekleştiği görebilir. Bunu sağlayan, çözüm kontrol panelidir. Bu panel sayesinde çözüme başlamadan hatalar ve uyarılar görülebilir. Yine çözüm listesi oluşturmasını da büyük bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

Bazen çözdürülmesi gereken çok sayıda analiz dosyası olabilmektedir. RADIOSS sayesinde, bu çözdürme işlemlerini gerçekleştirebilmek için, bilgisayarın başında bekleyip çözüm bittikçe yeni analizleri tanımlamak yerine, liste oluşturup çözümü o listeye göre gerçekleştirebilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : RADIOSS programı arayüzü.

HyperView analiz sonuçların incelendiği programdır (Şekil 3.8). Bu program aracılığı ile hem analizin simülasyonu izlenebilir hem de hız, kuvvet, emilen enerji gibi birçok grafik oluşturulabilir. Bu grafiklerden istenenleri excel dosyasına aktarılabilir. Bu sayede bu programın olmadığı bilgisayarlarda bile analiz sonuçları incelenebilir.



Şekil 3.8 : HyperView programı arayüzü.

HyperWorks paket programı, sahip olduğu bu program çeşitliliği sayesinde kullanıcılarına büyük avantaj sağlamaktadır. Program aracılığıyla, bir parçanın tasarımından optimizasyonuna kadar tüm işlemler tek bir paket program ile gerçekleştirilebilmektedir.

3.4 Analiz Dosyalarının Hazırlanması

3.4.1 Tasarım

Yapılan çalışmada enerji sönümleyiciler için dört ana şekil seçilmiştir. Bunlar, literatürde en çok kullanılan kare, dikdörtgen, altıgen ve silindirdir (Şekil 3.9-3.12). Modellerin uzunluğu 180 mm'dir. Bu dört modelin kütleleri eşittir. Bu sayede, aynı malzeme için tüm tasarımlar eşit ağırlıkta olacaktır. Bu sayede, verim kıyaslaması daha rahat yapılmıştır.

Bunların haricinde, koniklik açısının enerji sönümleme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Konik enerji sönümleyiciler için silindirik yapı tercih edilmiştir. Bunun sebebi, en yüksek enerji sönümleme kapasitesine sahip olması ve aynı hacme sahip yapının tasarlanması açısından sağladığı kolaylıktır.

Bu silindirik formdaki yapılar oluşturulurken beş farklı koniklik açısı tercih edilmiştir (Şekil 3.13-3.17). Modellerin koniklik açıları sırayla 0,7, 6,46, 12,27, 18,21, 24,36 derecedir.

Tampon kirişlerinin tasarımında bir ana model seçilmiştir (Şekil 3.18). Model genişliği 1400 mm'dir. Bu model üzerinde değişiklikler yapılarak beş farklı model oluşturulmuştur (Şekil 3.19-3.23), ağırlık ve enerji sönümleme kapasitesi bakımından kıyaslamalar yapılmıştır.

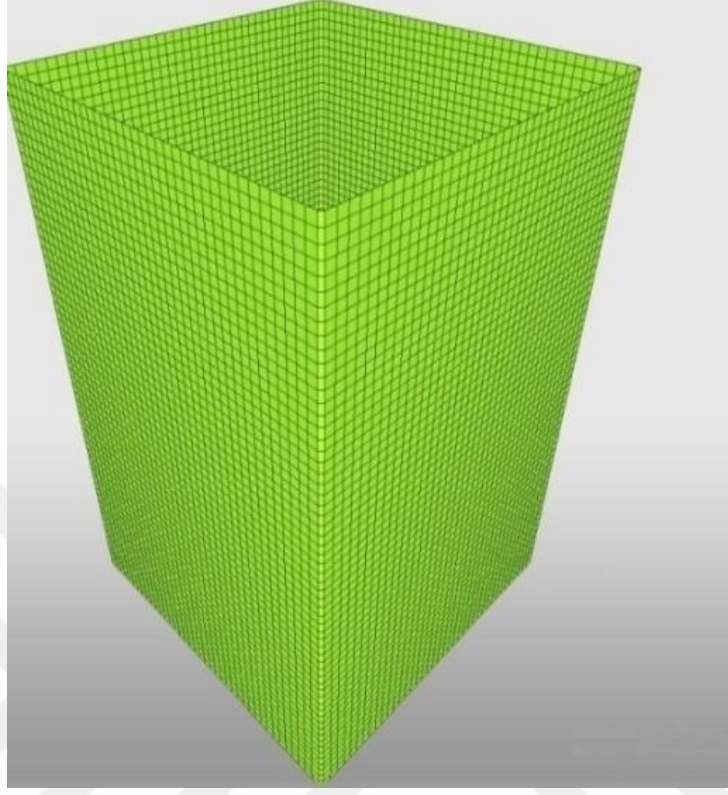
3.4.2 Eleman yapısının oluşturulması

Yapılan çalışmada tüm tasarımlar için kare eleman yapısı tercih edilmiştir. Bunun sebebi, dört düğüm noktalı eleman tipinin daha doğru sonuç vermesidir (Tanlak ve Sonmez 2014).

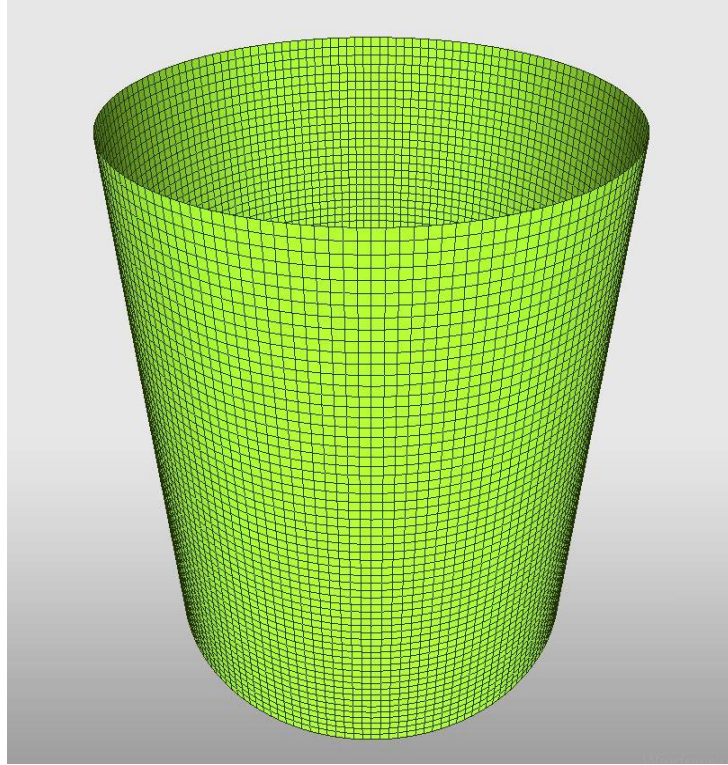
Sonlu eleman analizlerinden doğru sonuç elde edebilmek için yeterli sayıda eleman oluşturulması gerekmektedir. Büyük elemanlı yapılar daha hızlı sonuç vermesine rağmen gerçek değerden uzaklaşmaktadır; küçük elemanlı yapılar ise daha doğru sonuç vermesine rağmen matris yapısının büyümesinden dolayı çok daha yavaş sonuç vermektedir. Bu sebeple, eleman yapısı oluşturulurken çok küçük veya çok büyük yapılar tercih edilmez.

Bu çalışmada, eleman boyutu olarak enerji sönümleyiciler için 3 mm, tampon kirişleri için ise 5 mm tercih edilmiştir (Simon ve Beggs 2010).

Şekil 3.9’da kare kesitli enerji sönümleyicinin, Şekil 3.10’da ise silindir kesitli enerji sönümleyicinin izometrik görünüşü verilmiştir.

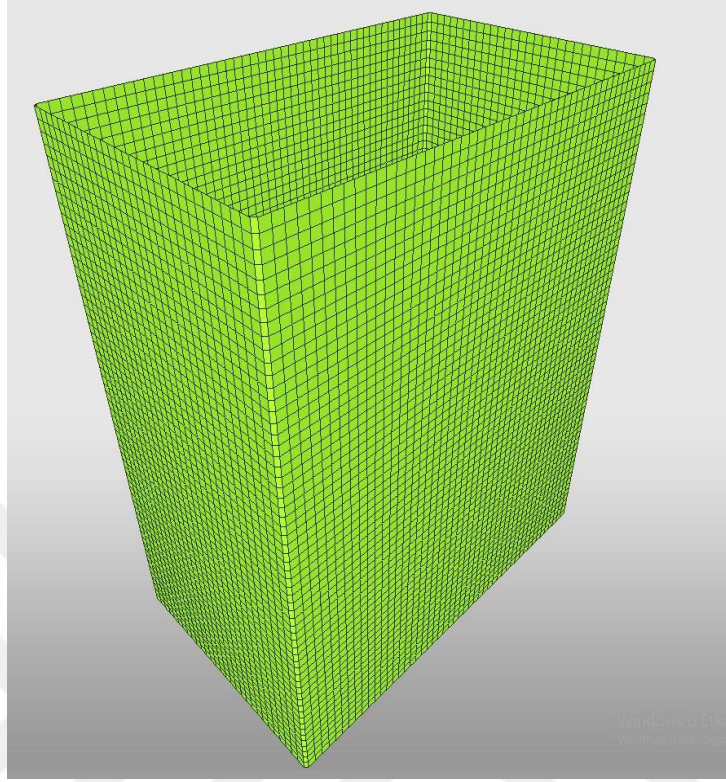


Şekil 3.9 : Kare enerji sönümleyici.

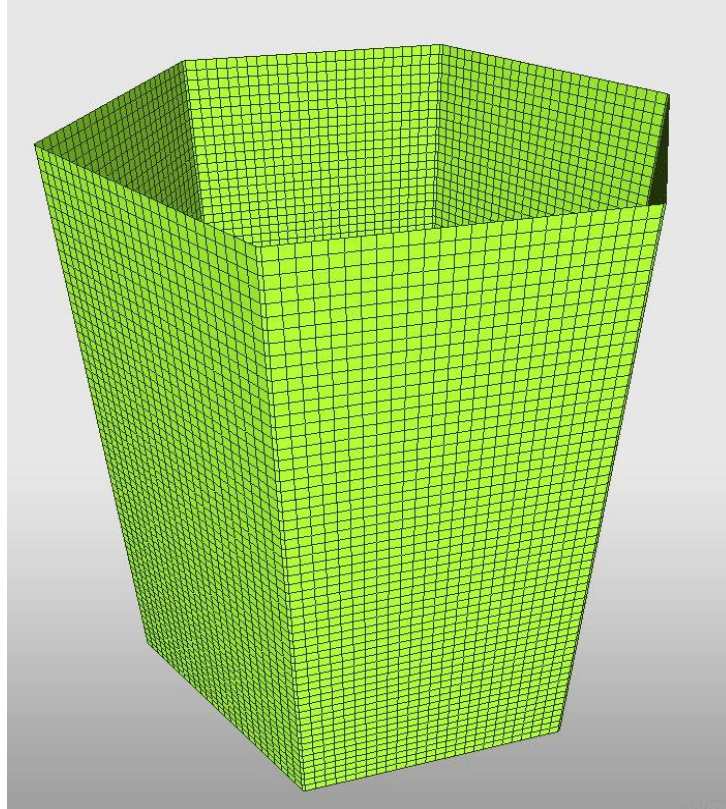


Şekil 3.10 : Silindir enerji sönümleyici.

Şekil 3.11’de dikdörtgen kesitli enerji sönümleyicinin, Şekil 3.12’de ise altıgen kesitli enerji sönümleyicinin izometrik görünüşü verilmiştir.

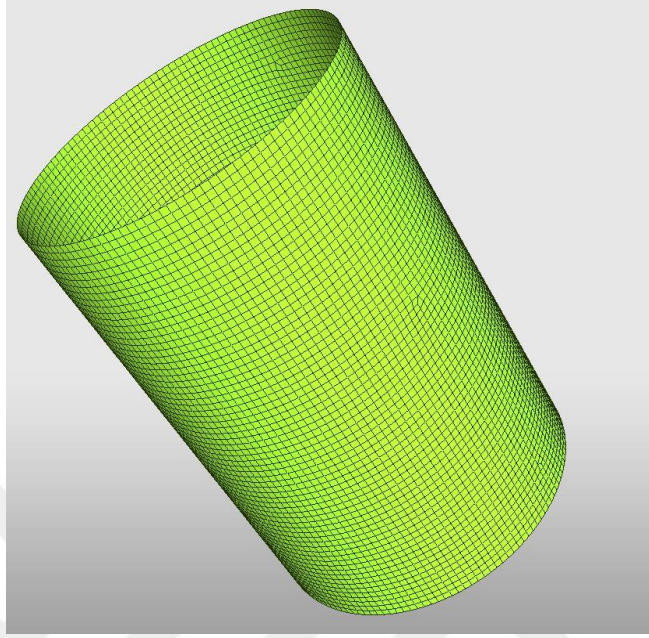


Şekil 3.11 : Dikdörtgen enerji sönümleyici.

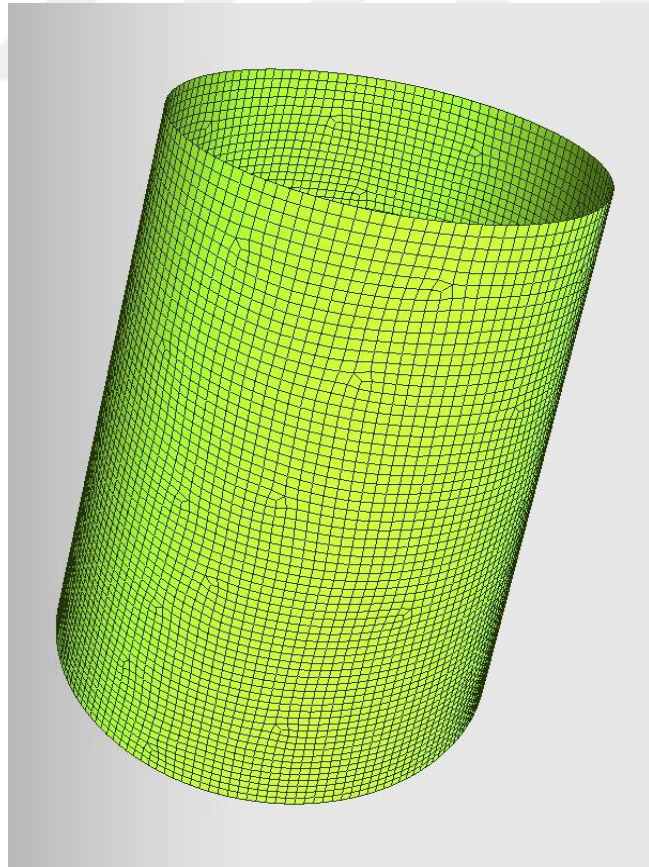


Şekil 3.12 : Altıgen enerji sönümleyici.

Şekil 3.13'de konik enerji sönümleyicinin 1. modelinin, Şekil 3.14'de ise konik enerji sönümleyicinin 2. modelinin izometrik görünüşü verilmiştir. 1. modelin koniklik açısı 0,7, 2. modelin koniklik açısı 6,46 derecedir.

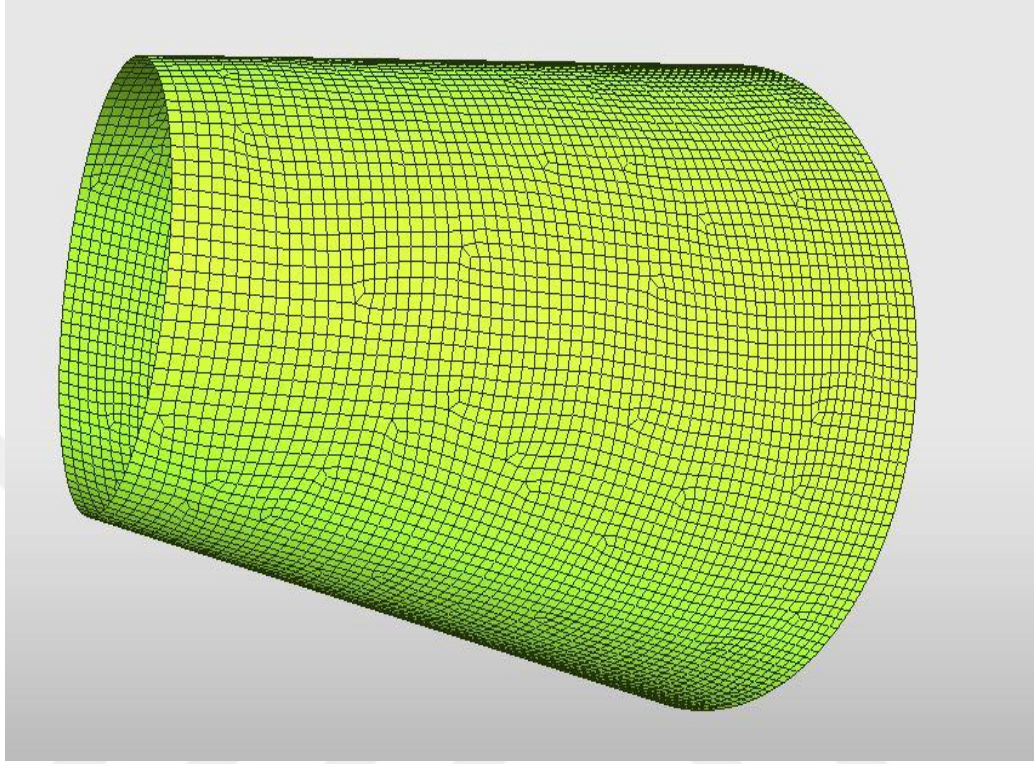


Şekil 3.13 : Koni 1. model.

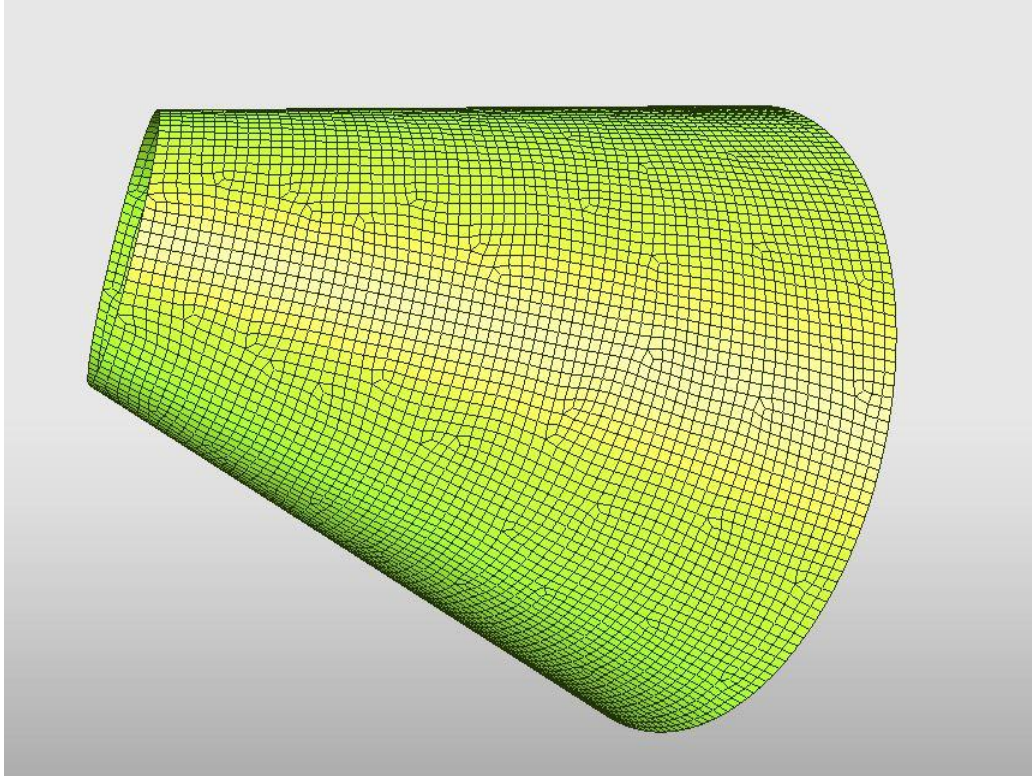


Şekil 3.14 : Koni 2. model.

Şekil 3.15’de konik enerji sönümleyicinin 3. modelinin, Şekil 3.16’da ise konik enerji sönümleyicinin 4. modelinin izometrik görünüşü verilmiştir. 3. modelin koniklik açısı 12,27, 4. modelin koniklik açısı 18,21 derecedir.

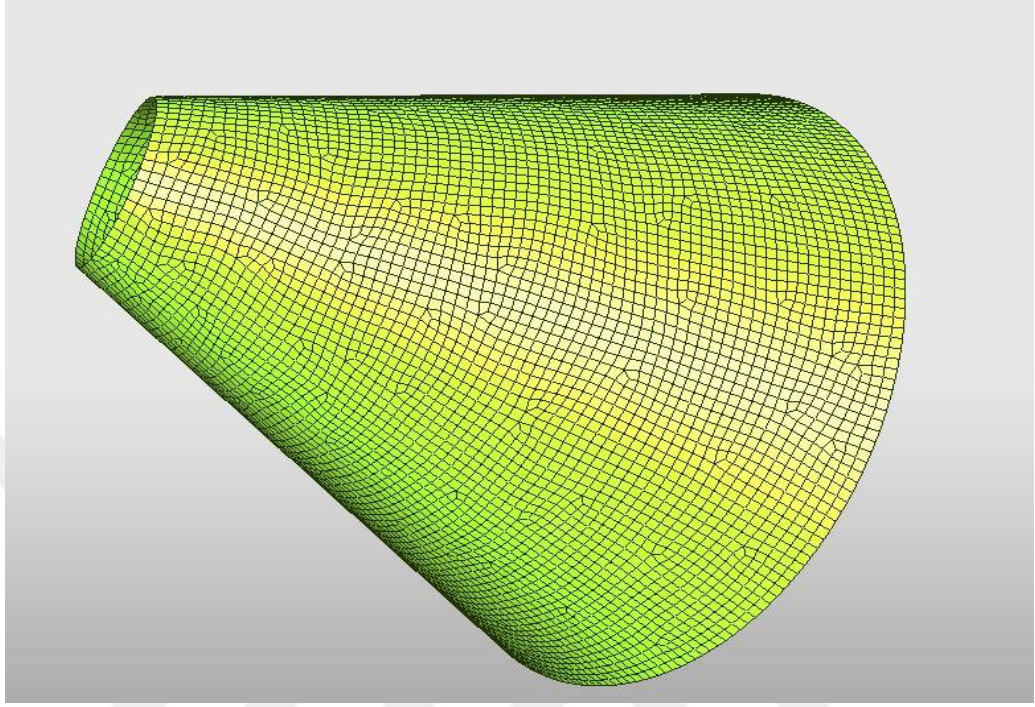


Şekil 3.15 : Koni 3. model.

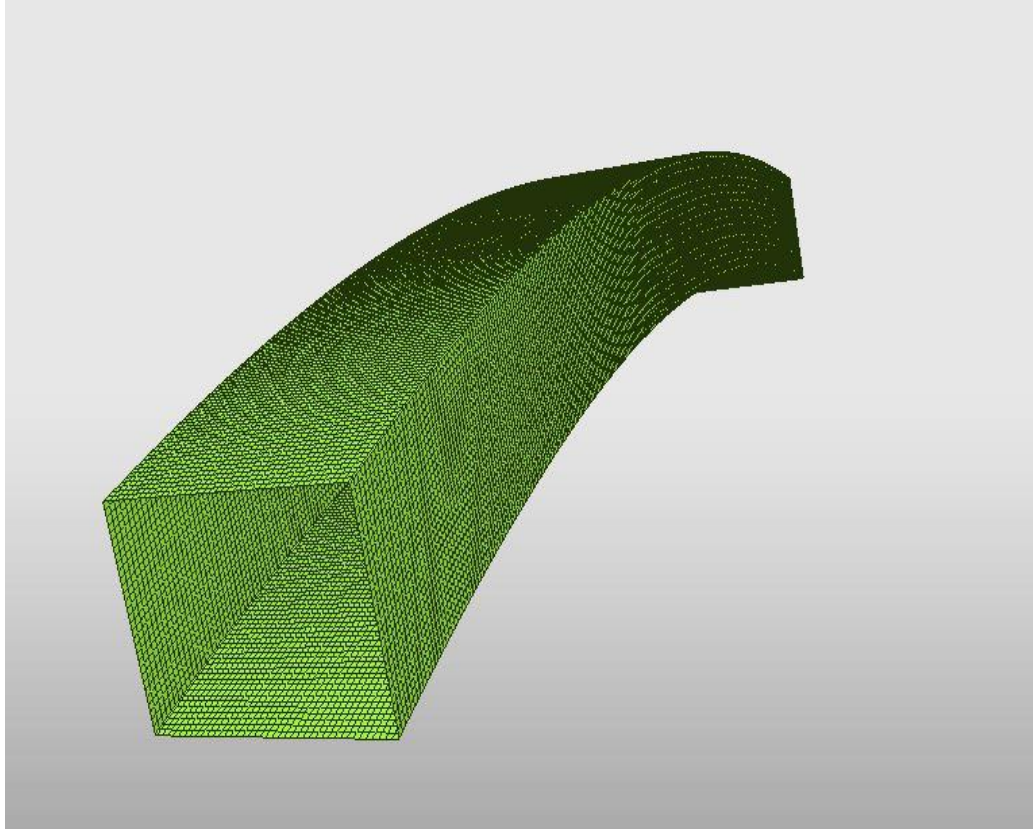


Şekil 3.16 : Koni 4. model.

Şekil 3.17’de konik enerji sönümleyicinin 5. modelinin, Şekil 3.18’de ise tampon kirişinin ana modelinin izometrik görünüşü verilmiştir. 5. modelin koniklik açısı 24,36 derecedir.

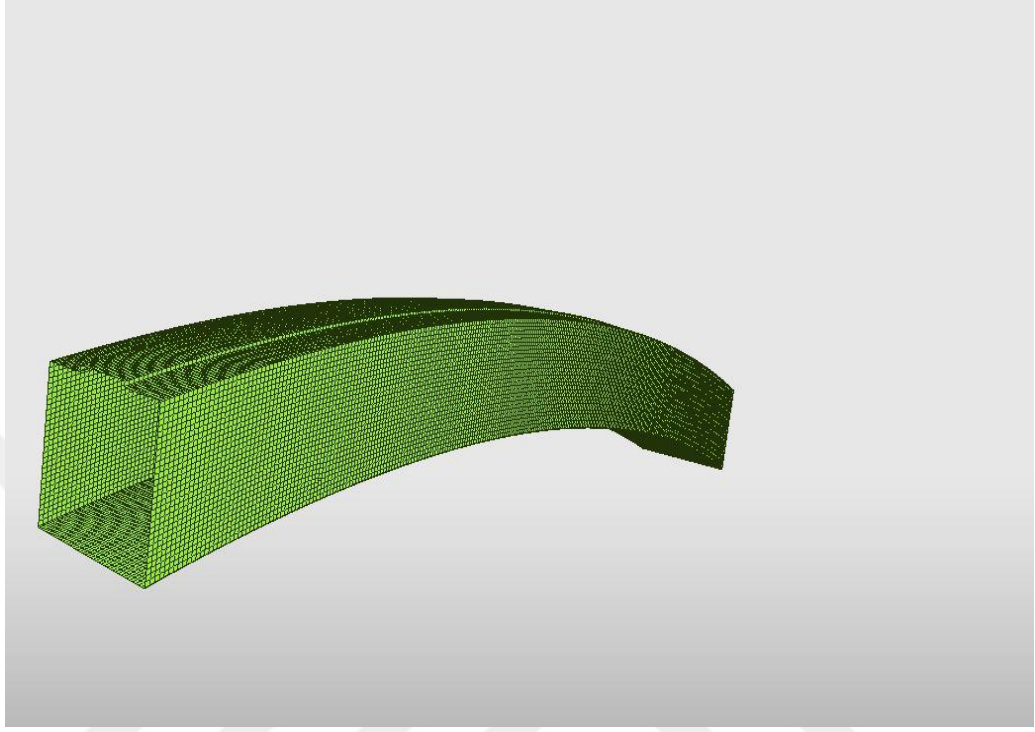


Şekil 3.17 : Koni 5. model.

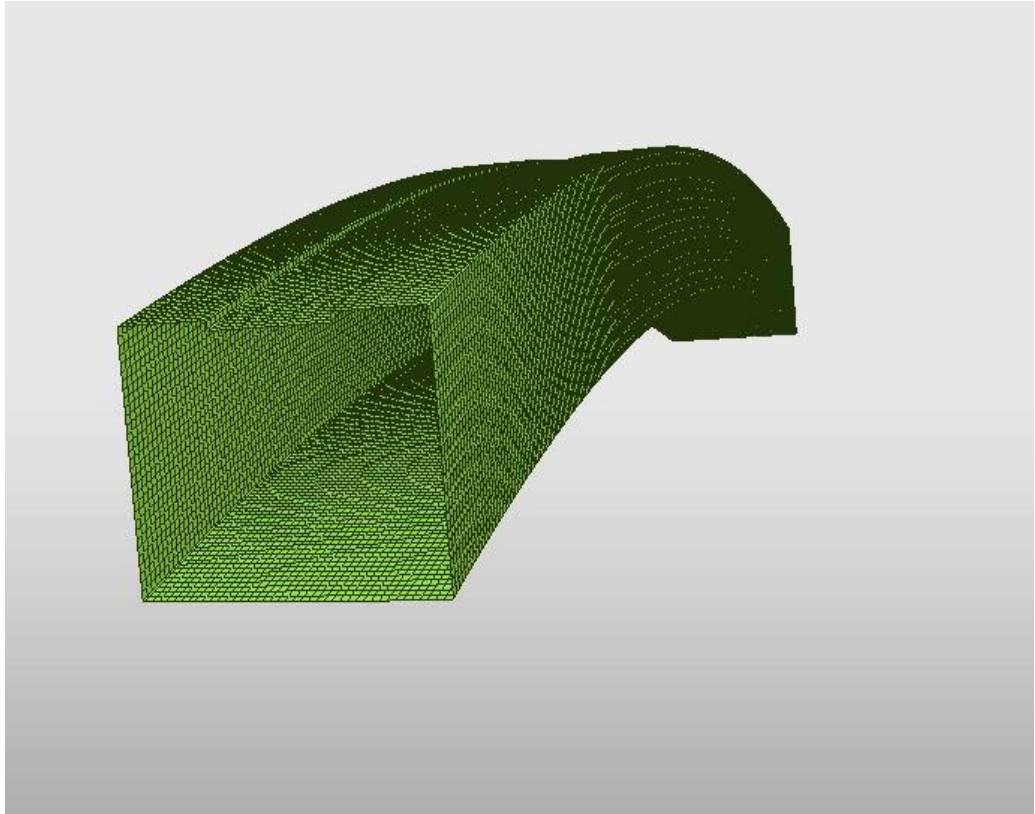


Şekil 3.18 : Kiriş ana model.

Şekil 3.19’da tampon kirişinin 1. modelinin, Şekil 3.20’de ise tampon kirişinin 2. modelinin izometrik görünüşü verilmiştir. 1. modelde 6 mm derinliğinde bir çıkıntı, 2. modelde 6 mm derinliğinde bir girinti bulunmaktadır.

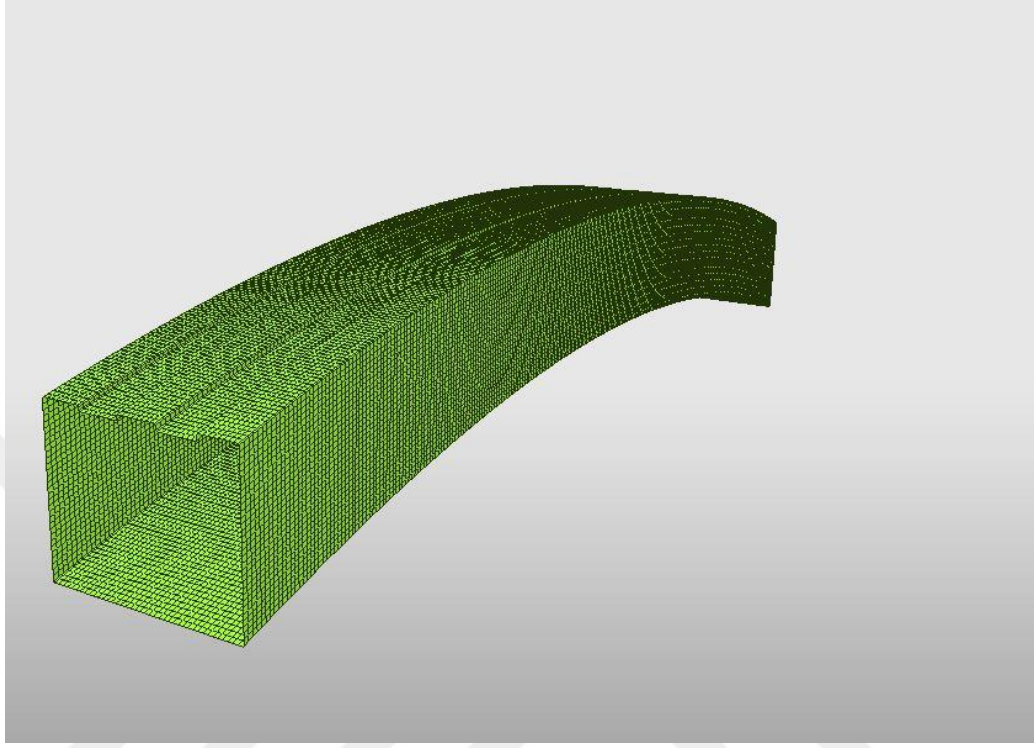


Şekil 3.19 : Kiriş model 1.

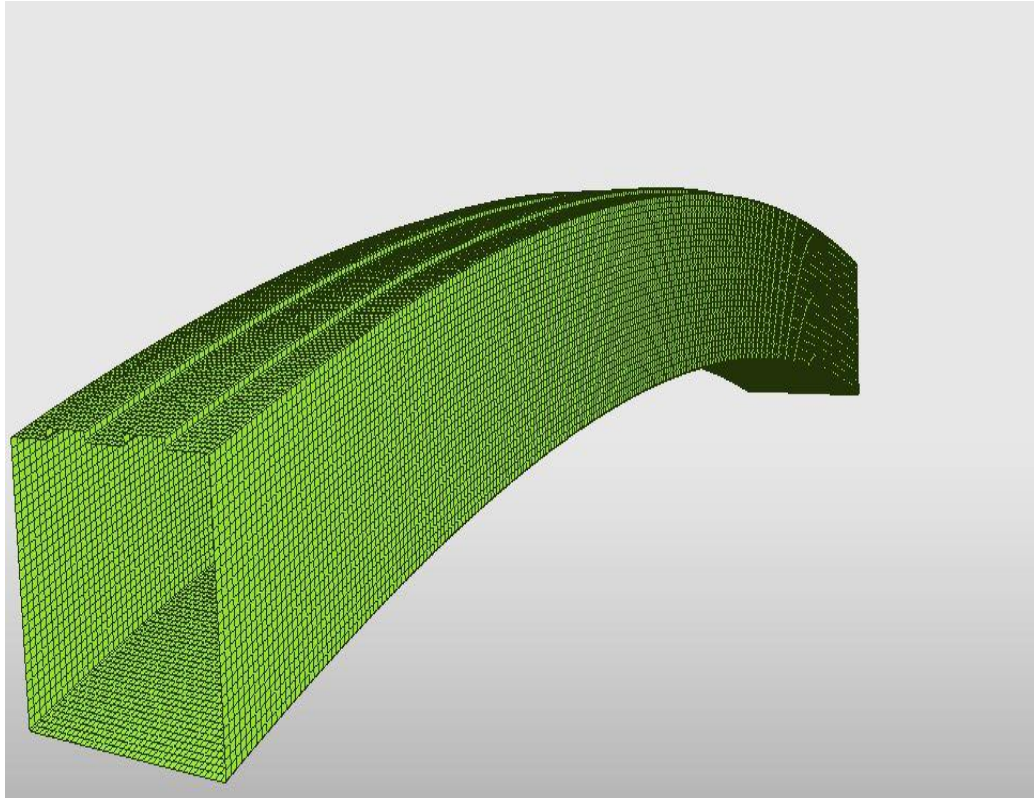


Şekil 3.20 : Kiriş model 2.

Şekil 3.21’de tampon kirişinin 3. modelinin, Şekil 3.22’de ise tampon kirişinin 4. modelinin izometrik görünüşü verilmiştir. 3. modelde 6 mm derinliğinde iki girinti, 4. modelde 6 mm derinliğinde iki çıkıntı bulunmaktadır.

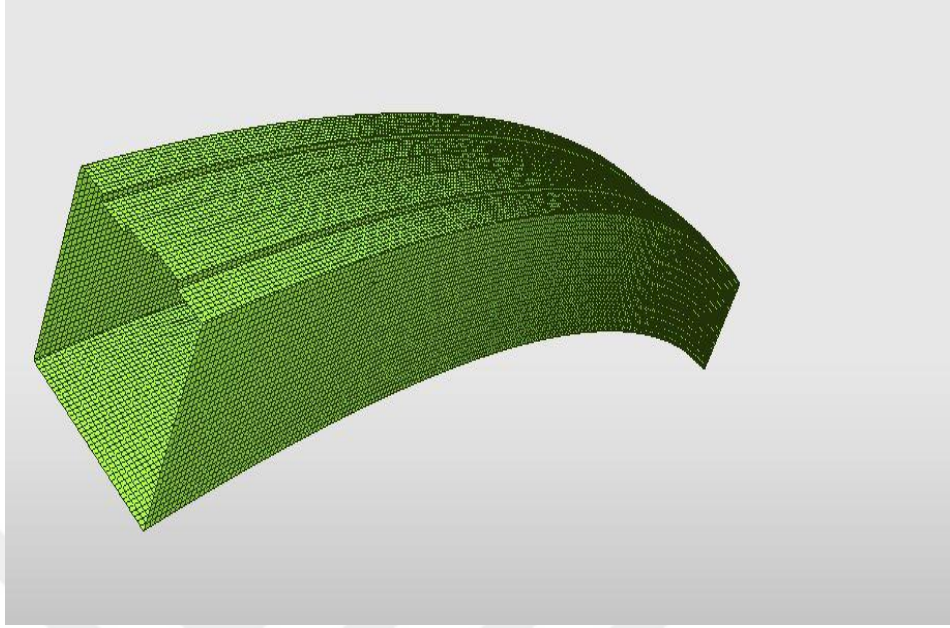


Şekil 3.21 : Kiriş model 3.



Şekil 3.22 : Kiriş model 4.

Şekil 3.23'de tampon kirişinin 5. modelinin izometrik görünüşü verilmiştir. Kiriş üzerinde 6 mm derinliğinde bir girinti ve bir çıkıntı bulunmaktadır.



Şekil 3.23 : Kiriş model 5.

3.4.3 Çarpışma ortamının hazırlanması

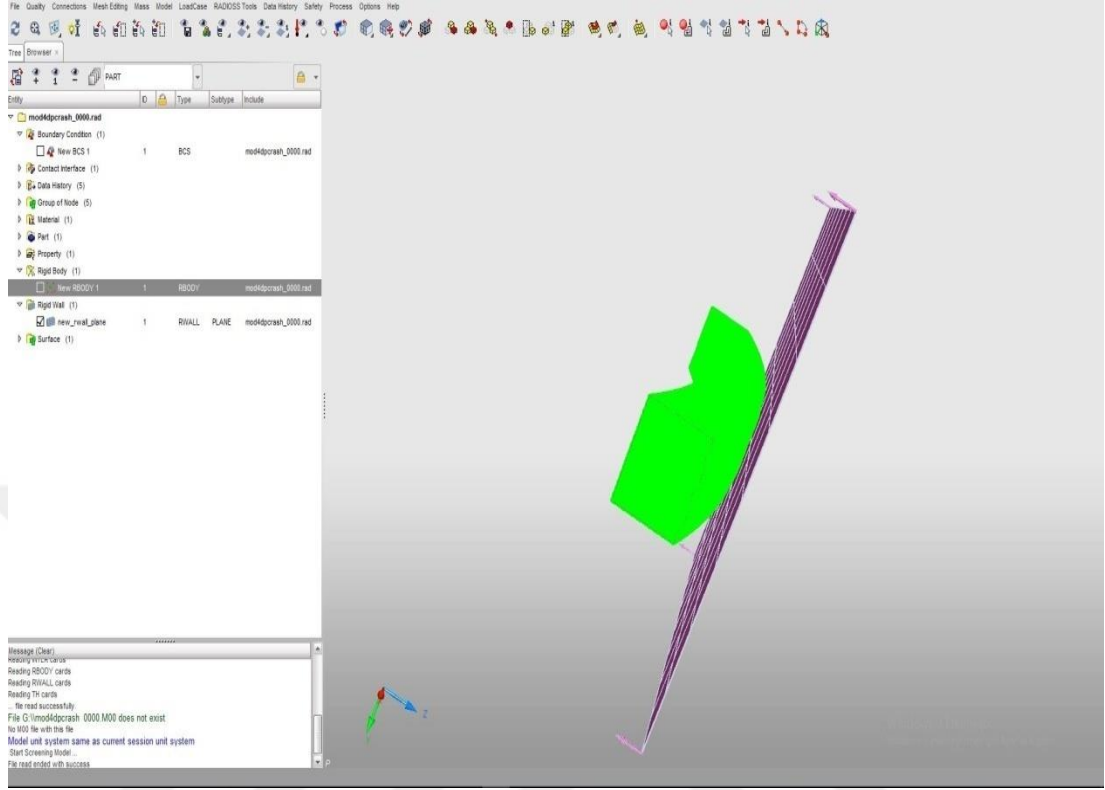
Yapılan çalışmada ilk olarak malzeme özellikleri oluşturulmuştur (Çizelge 3.1). Daha sonra sac metalin özellikleri girilmiş olup, rijit yapı oluşturulmuştur. Parçanın çarpacağı rijit duvar oluşturulmuştur, ardından rijit duvara hız verilmiştir. Çarpışma hızı olarak 50 km/saat hız tercih edilmiştir (Şekil 3.24). Parçada tüm yönlerde rotasyonel ve eksenel hareketler sınırlanmıştır (Şekil 3.25). Daha sonra temas yüzeyi multi usage (type 7) olarak tanımlanmıştır (Hyperworks). Son olarak ise kontrol kartları oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1 : Malzemelere ait mekanik özellikler (Bolar ve Joshi, 2014 ; Cheng, 2015; Jones ve diğ., 2007 ; Lou ve diğ., 2007 ; Paralikas, 2012 ; Ulacia ve diğ., 2008).

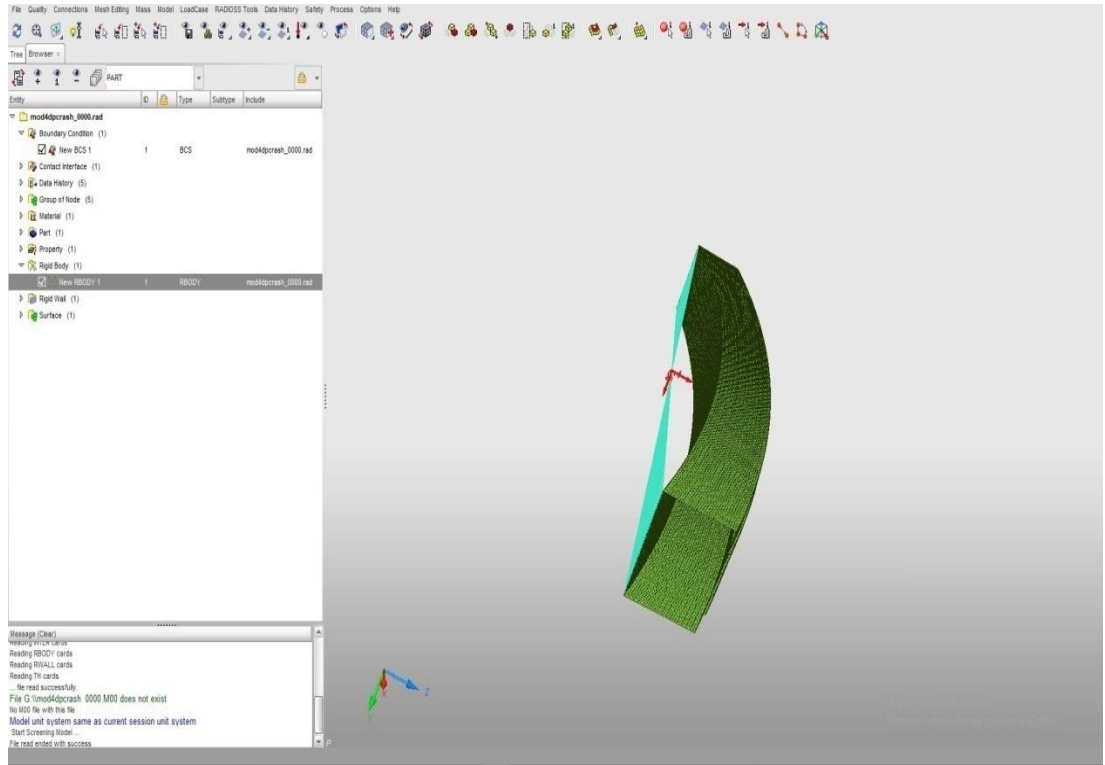
Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (GPa)	Akma Gerilmesi (MPa)
DP600	7.87	0.3	210	323
Al 7075-T6	2.81	0.33	71	546
AZ31B	1.77	0.35	45	180,002

Çizelge 3.1'den görüleceği üzere yoğunluğu en yüksek olan malzeme çelik alaşımıdır. Alüminyum alaşımına göre yoğunluğu yaklaşık 2,8 kat fazla olan çelik alaşımı magnezyum alaşımından 4,45 kat daha ağırdır.

Şekil 3.24’de duvara verilen hız mor oklar ile, Şekil 3.25’de ise rijit yapı üzerindeki sınır şartları kırmızı oklar ile gösterilmiştir.



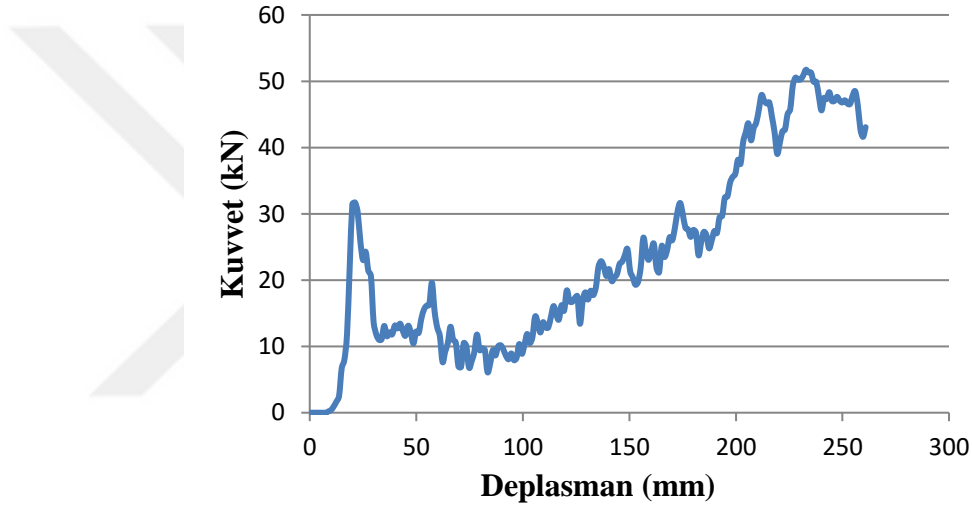
Şekil 3.24 : Duvara verilen hız.



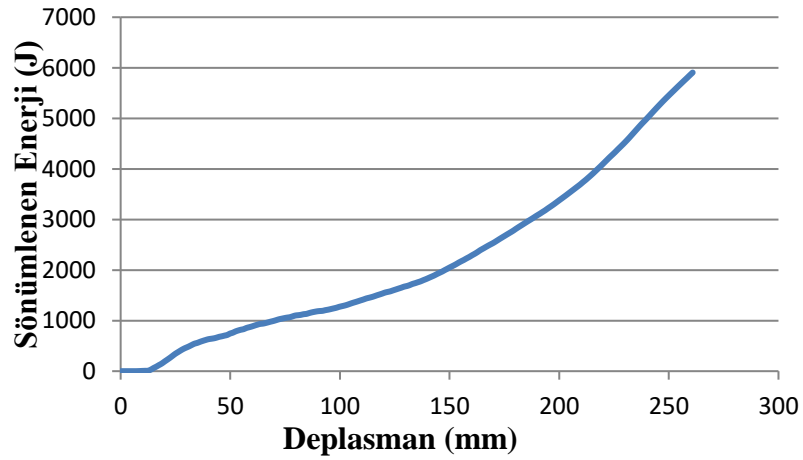
Şekil 3.25 : Parçadaki sınır şartları.

4. ANALİZ SONUÇLARI

Çalışmada elde edilen analiz sonuçları aşağıdaki şekil ve çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 4.1-4.3; Şekil 4.1-4.90). Alüminyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 1. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 51,7 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.1). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 1. modelde toplam 5910 joule enerji sönmülmüştür (Şekil 4.2).

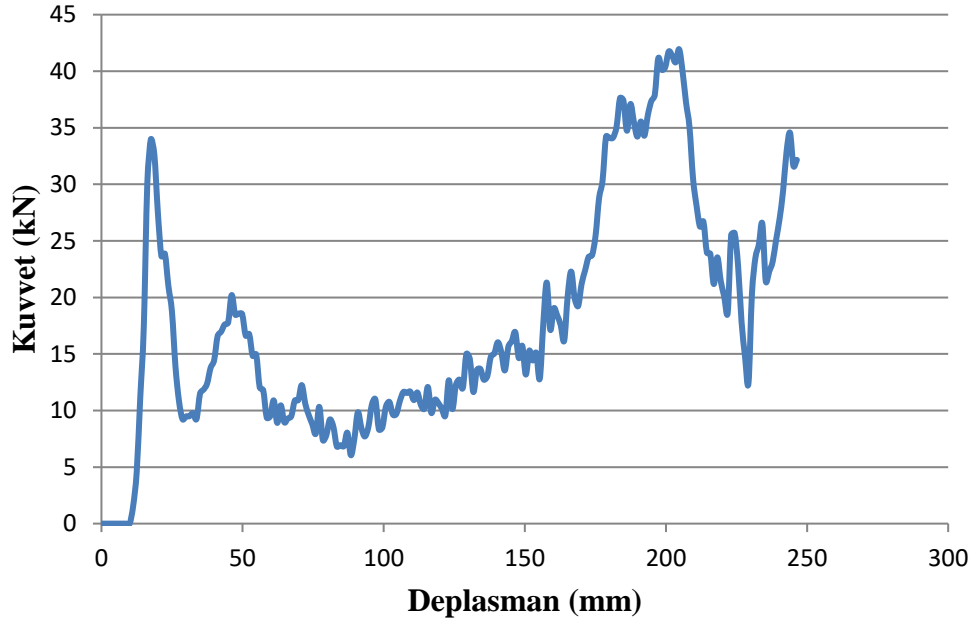


Şekil 4.1 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

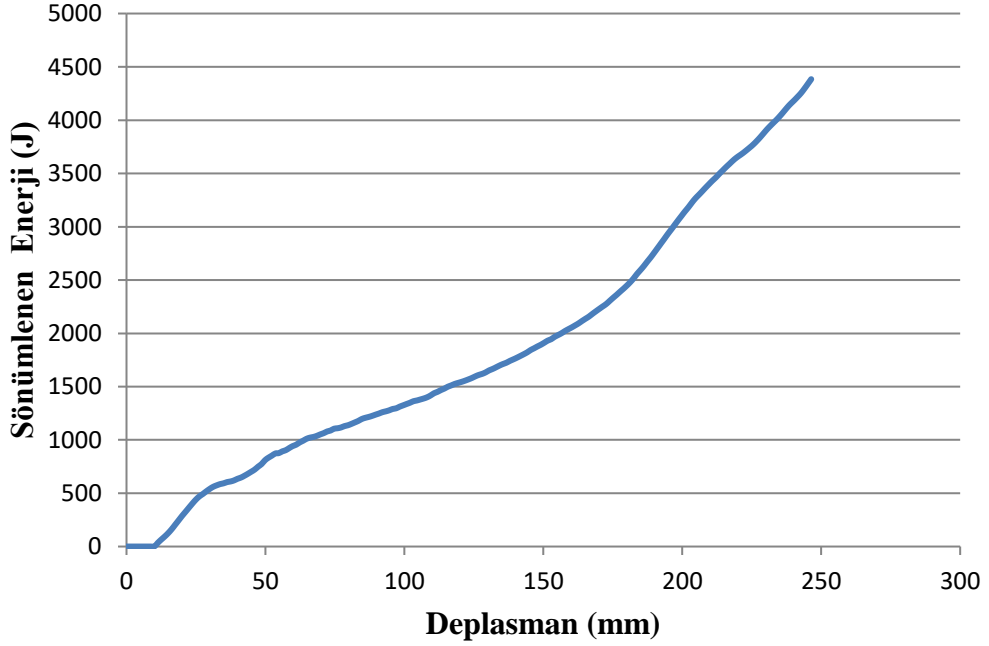


Şekil 4.2 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin sönmümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 2. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 41,9 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.3). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 2. modelde toplam 4380 joule enerji sökülmiştir (Şekil 4.4).

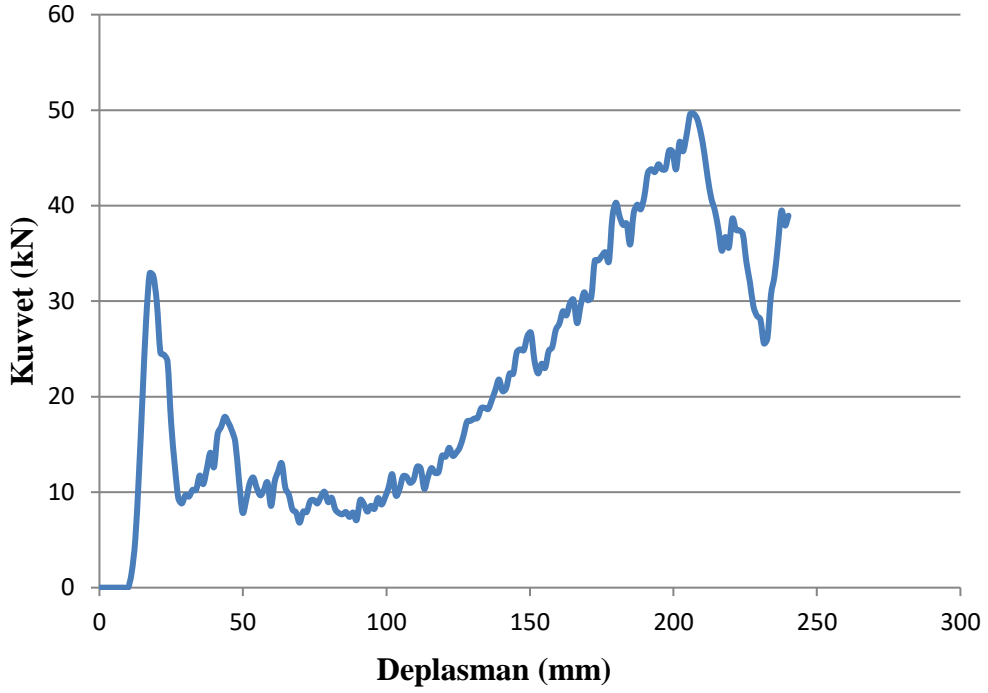


Şekil 4.3 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

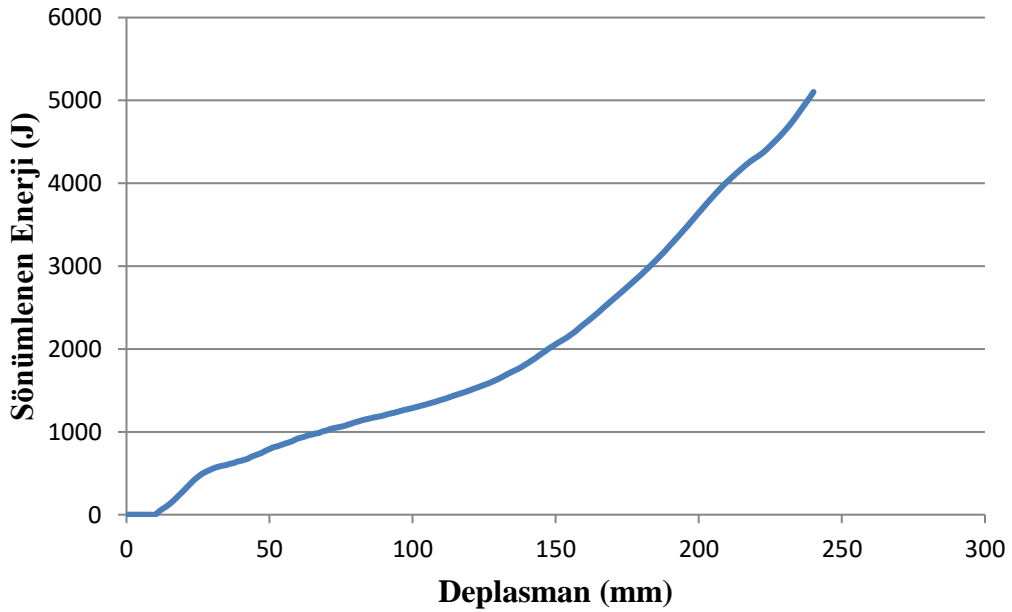


Şekil 4.4 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin sökülmesiyle oluşan enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 3. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 49,6 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.5). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 3. modelde toplam 5100 joule enerji sökülümlenmiştir (Şekil 4.6).

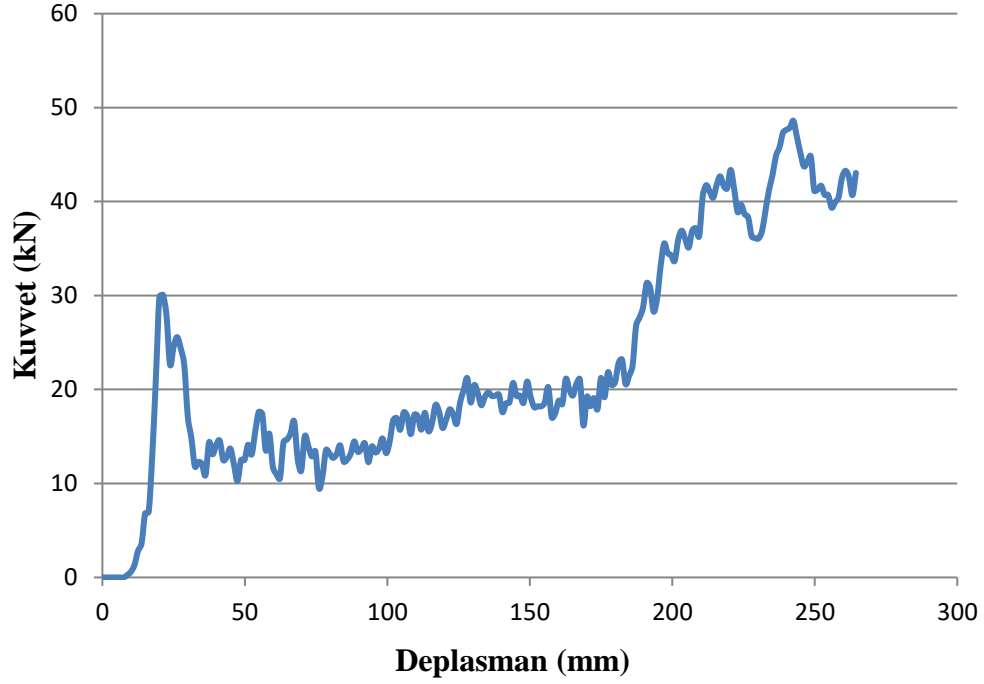


Şekil 4.5 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

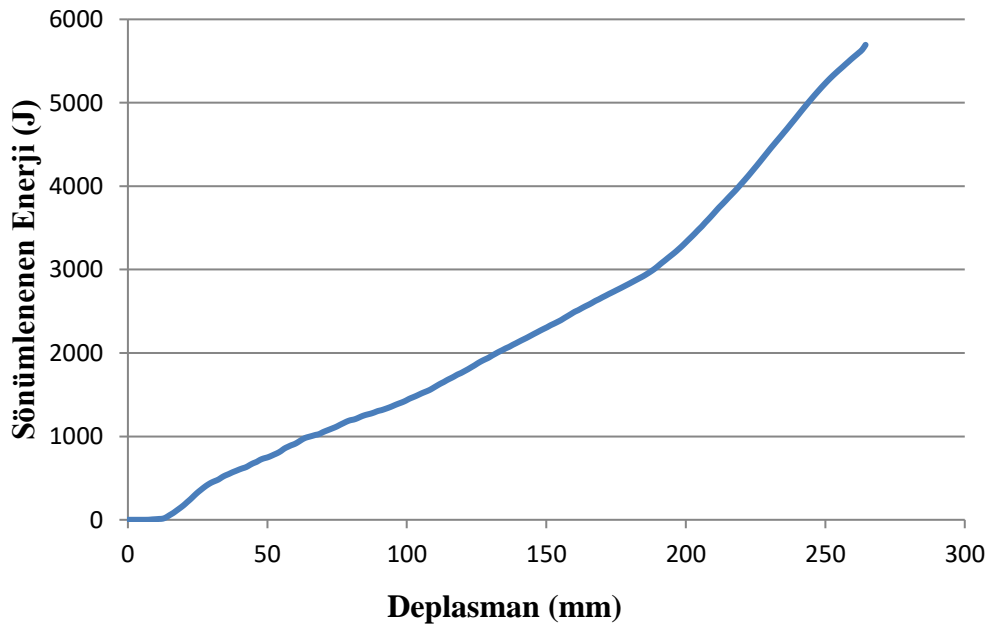


Şekil 4.6 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin sökülümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 4. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 48,6 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.7). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 4. modelde toplam 5690 joule enerji sökülmenmiştir (Şekil 4.).

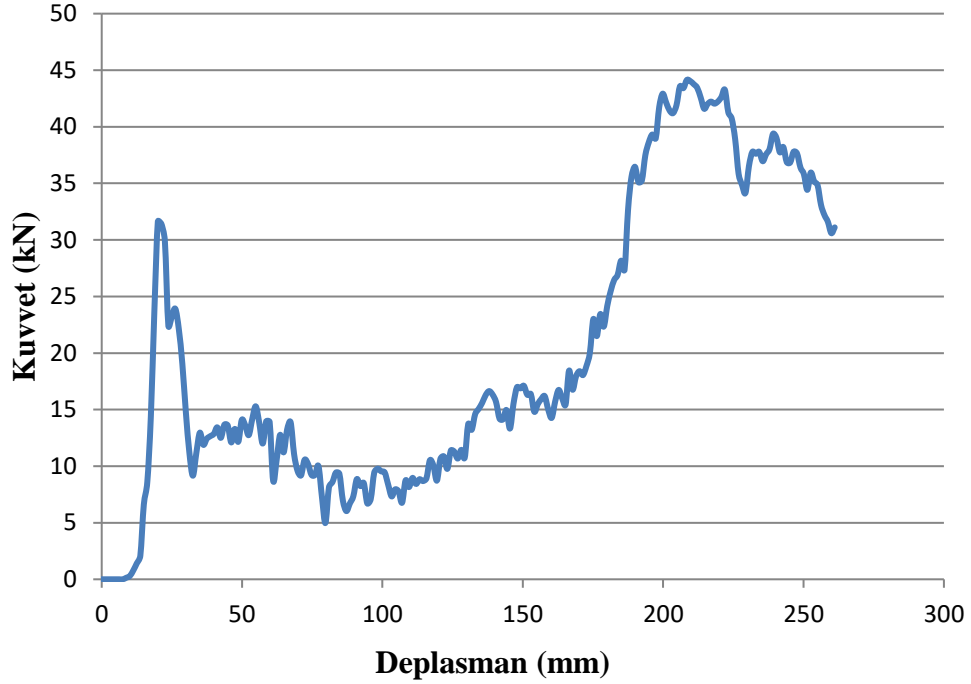


Şekil 4.7 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

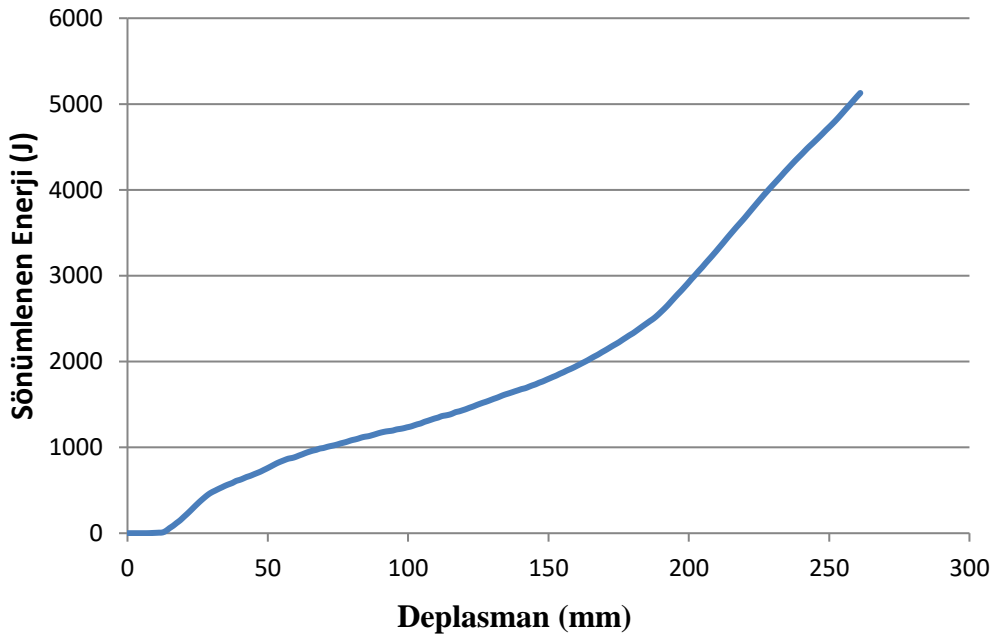


Şekil 4.8 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin sökülmenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 5. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 43,8 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.9). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 5. modelde toplam 5130 joule enerji sökülümlenmiştir (Şekil 4.10).

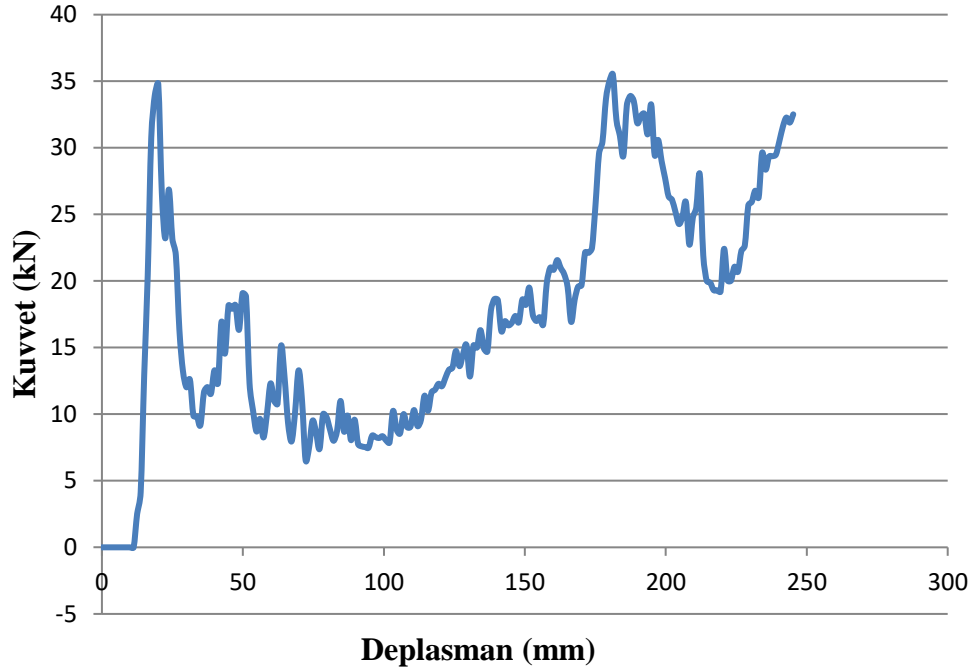


Şekil 4.9 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

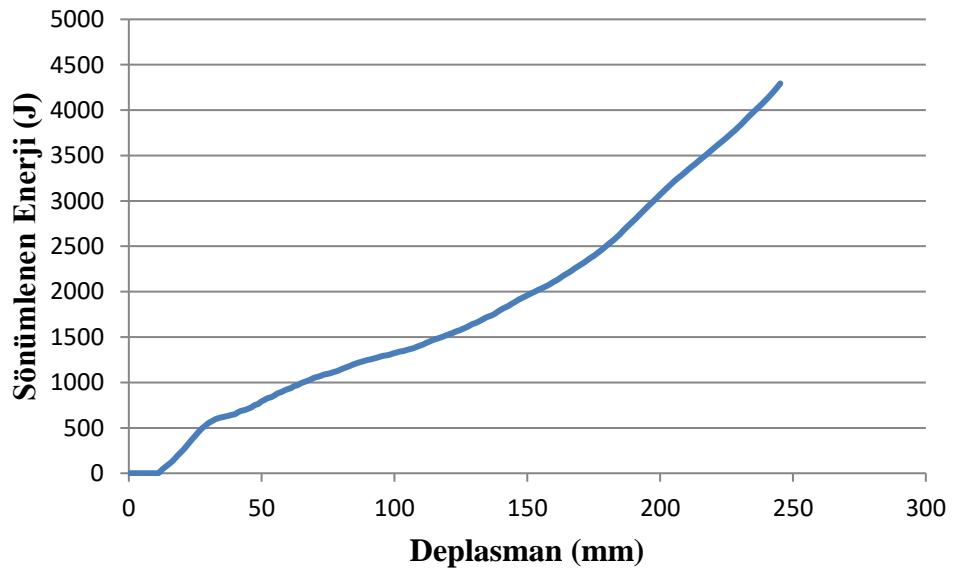


Şekil 4.10 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin sökülümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin ana modelin maksimum çarpışma kuvveti 35,5 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.11). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Ana modelde toplam 4290 joule enerji sönmülmüştür (Şekil 4.12).

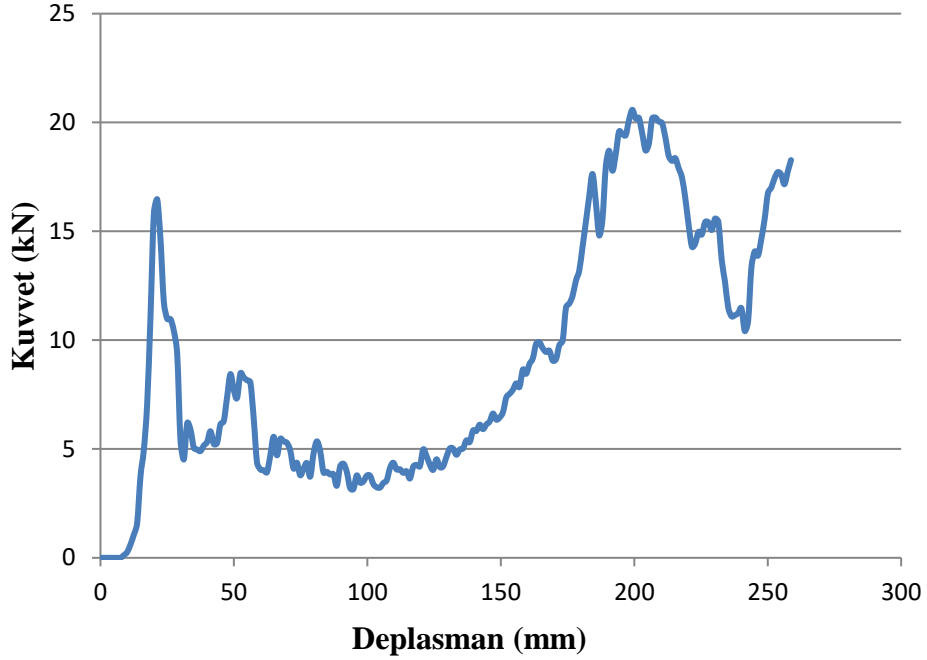


Şekil 4.11 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin ana modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

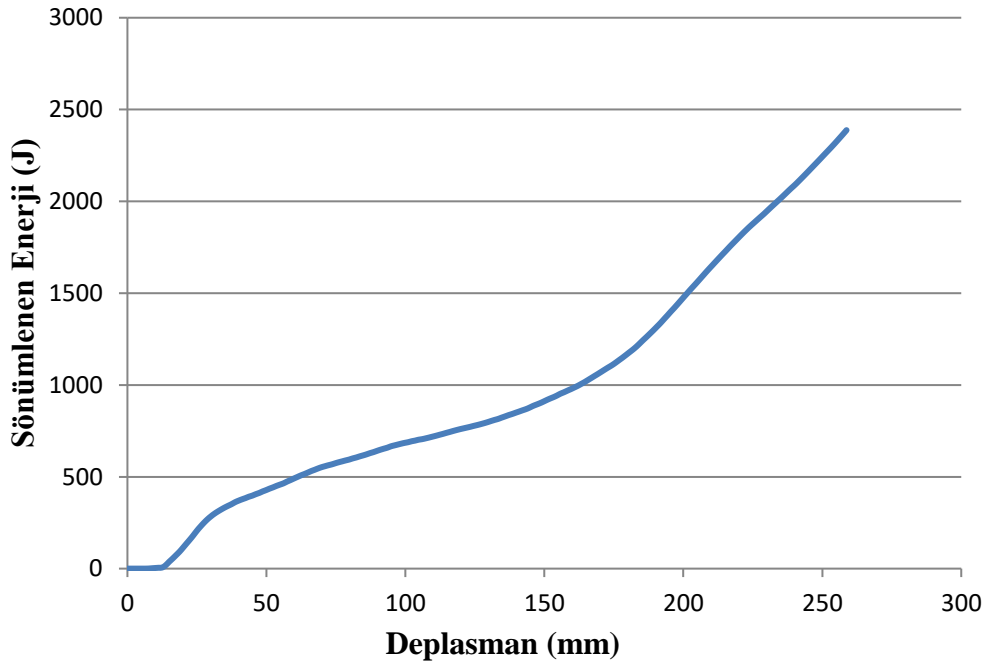


Şekil 4.12 : Al 7075-T6'dan yapılmış tampon kirişinin ana modelinin sönmülmüş enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 1. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 20,6 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.13). Maksimum arpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 1. modelde toplam 2390 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.14).

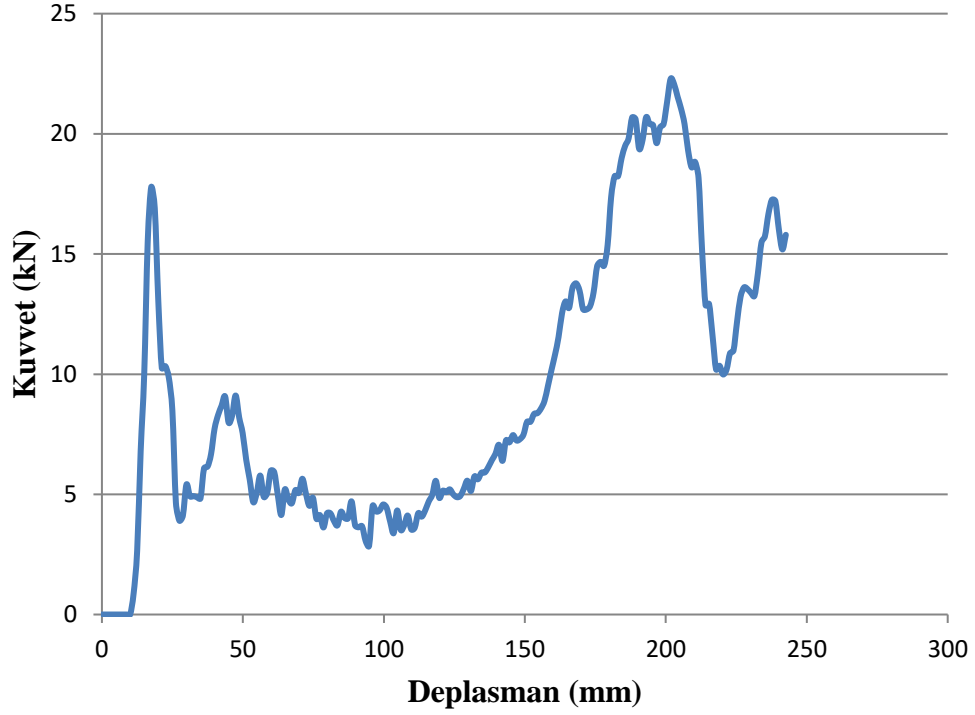


şekil 4.13 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

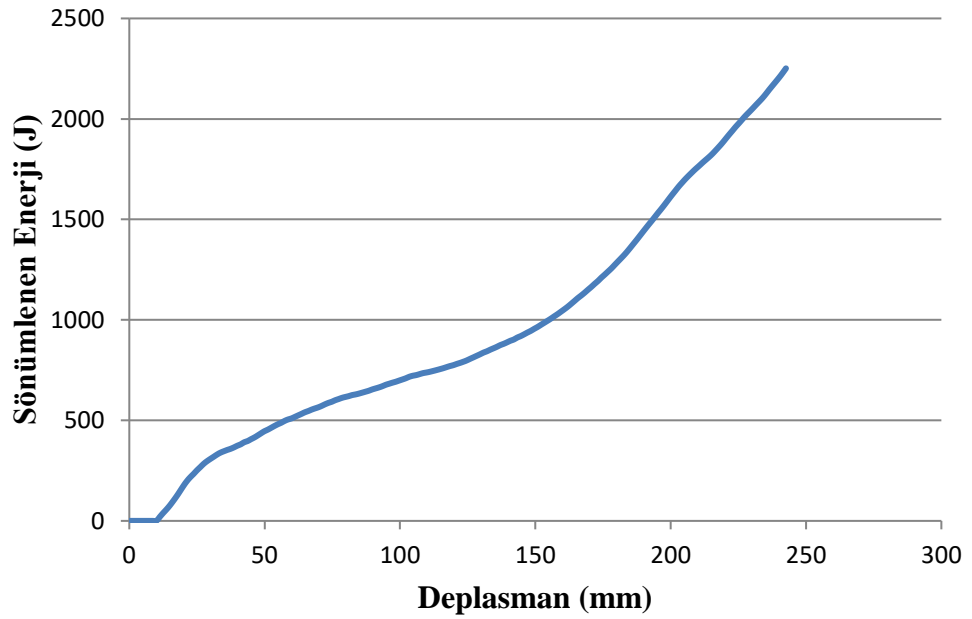


şekil 4.14 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 2. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 22,1 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.15). Maksimum arpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 2. modelde toplam 2250 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.16).

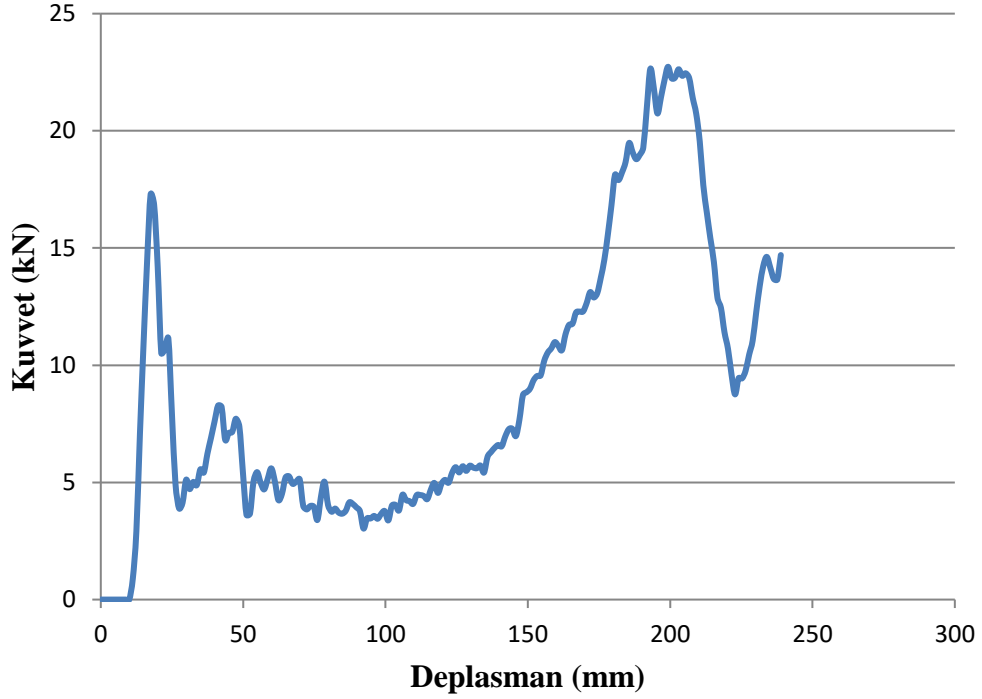


şekil 4.15 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

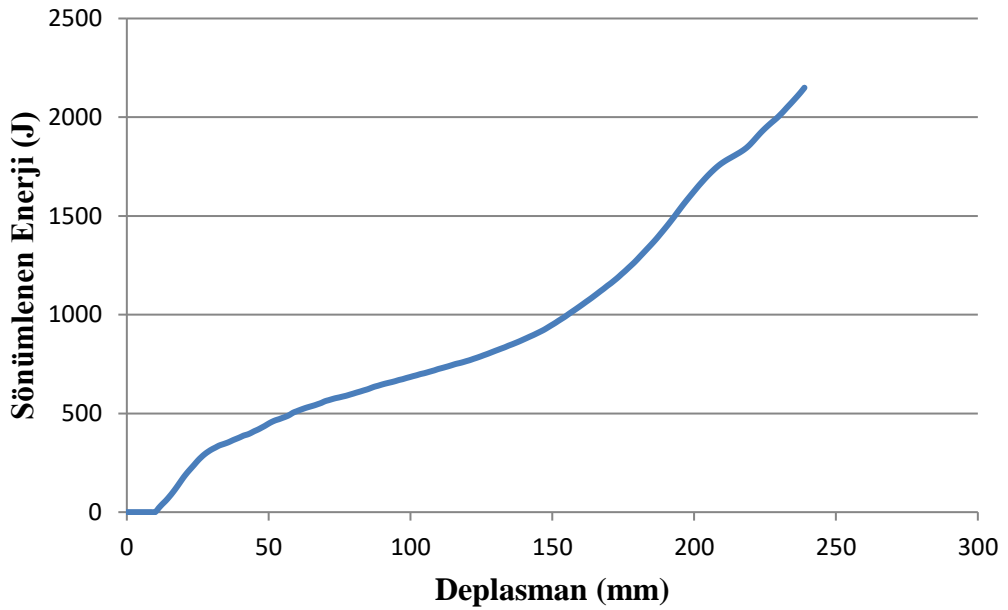


şekil 4.16 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 3. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 22,7 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.17). Maksimum arpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 3. modelde toplam 2150 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.18).

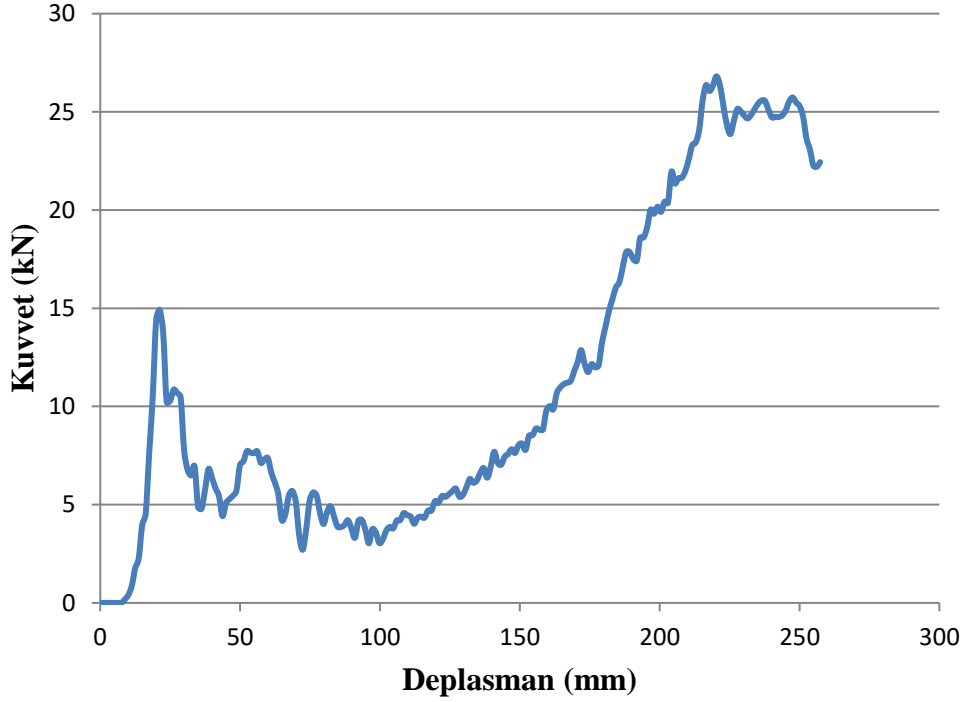


şekil 4.17 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

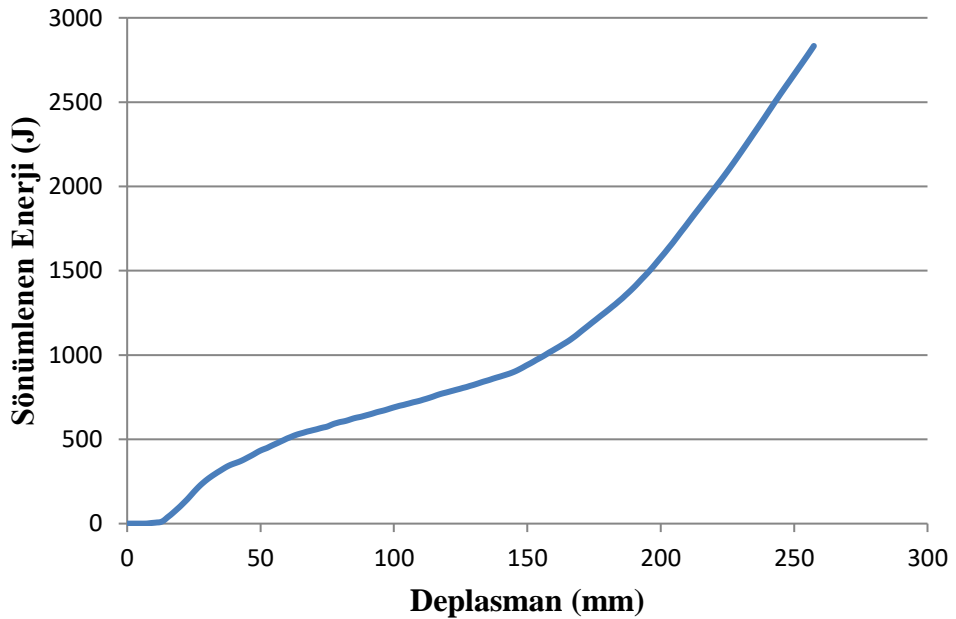


şekil 4.18 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 4. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 26,8 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.19). Maksimum arpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 4. modelde toplam 2830 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.20).

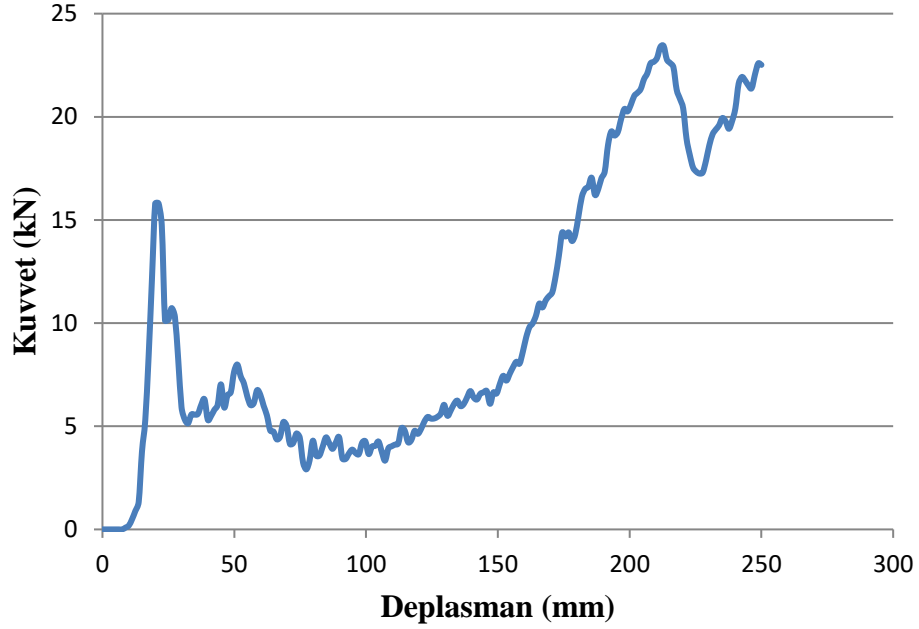


şekil 4.19 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

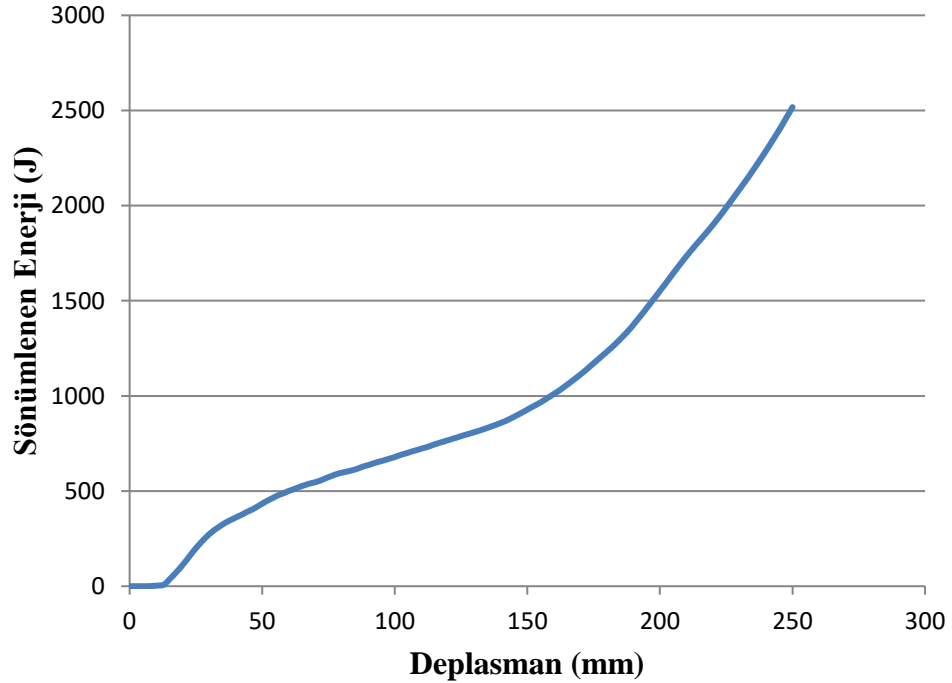


şekil 4.20 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin 5. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 23,4 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.21). Maksimum arpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 5. modelde toplam 2520 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.22).

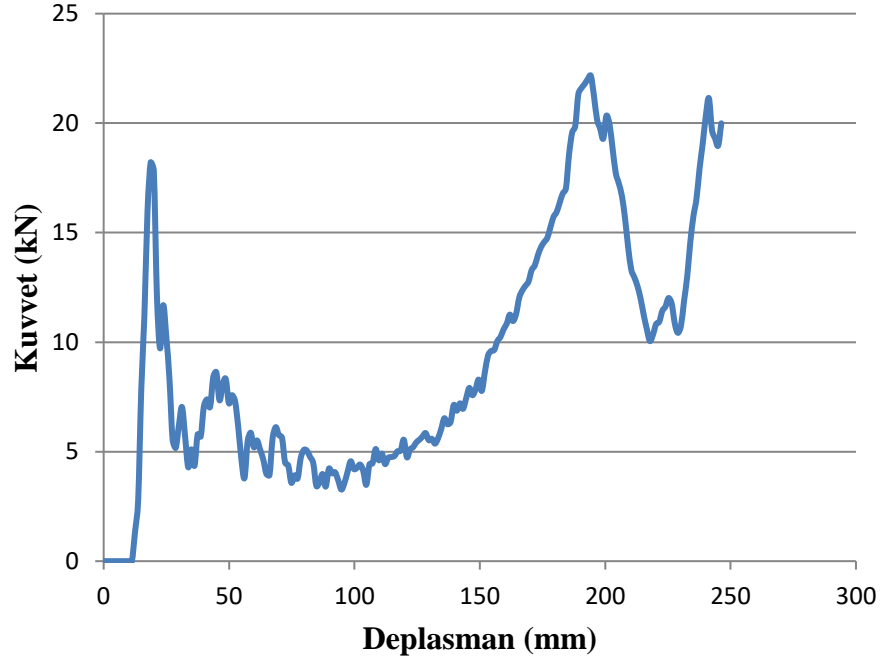


şekil 4.21 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

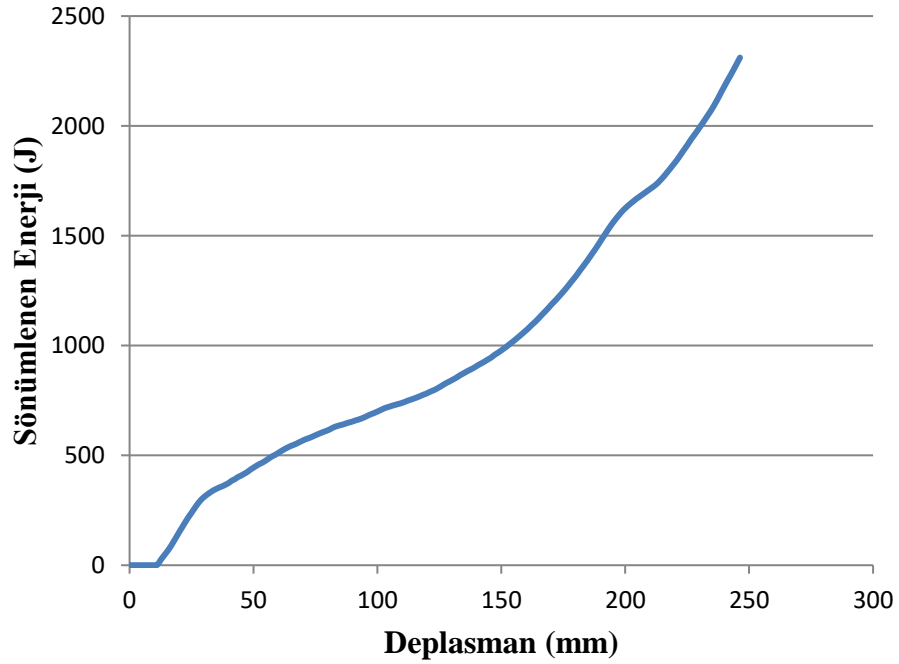


şekil 4.22 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış tampon kirişinin ana modelin maksimum çarpışma kuvveti 22,2 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.23). Maksimum arpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Ana modelde toplam 2310 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.24).

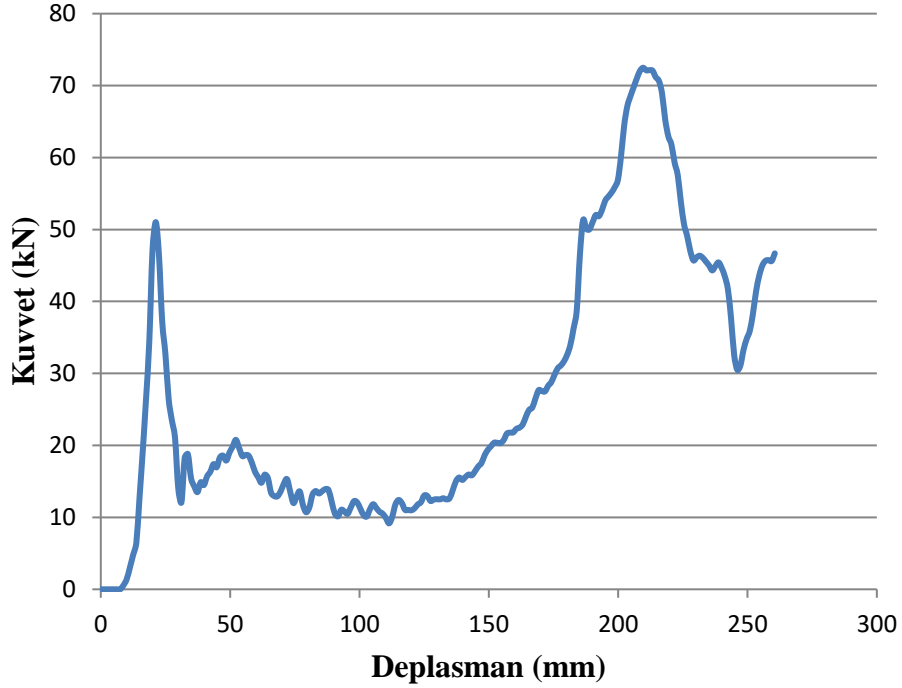


şekil 4.23 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin ana modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

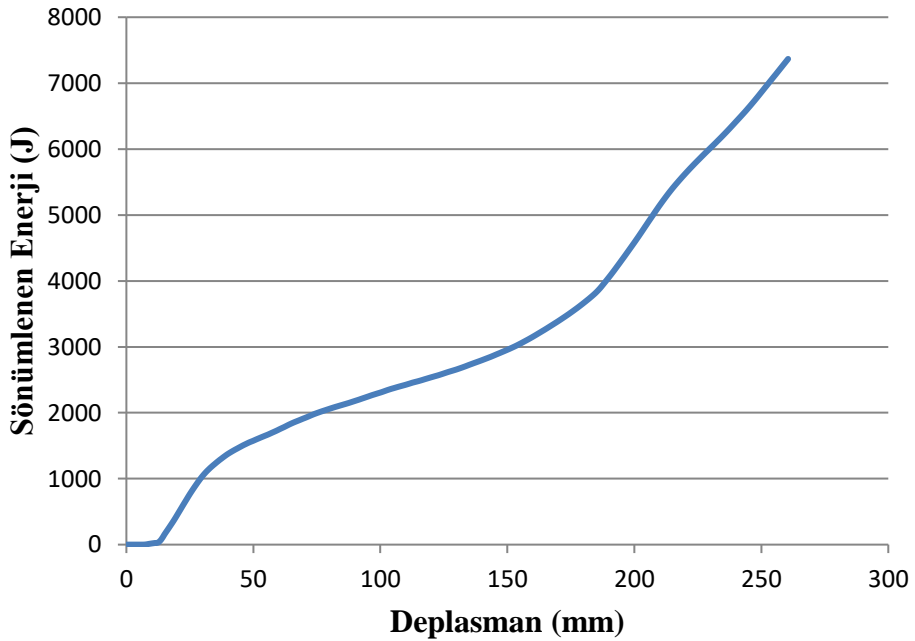


şekil 4.24 : AZ31B'den yapılmış tampon kirişinin ana modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış tampon kirişinin 1. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 72,5 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.25). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 1. modelde toplam 7370 joule enerji sönmülmüştür (Şekil 4.26).

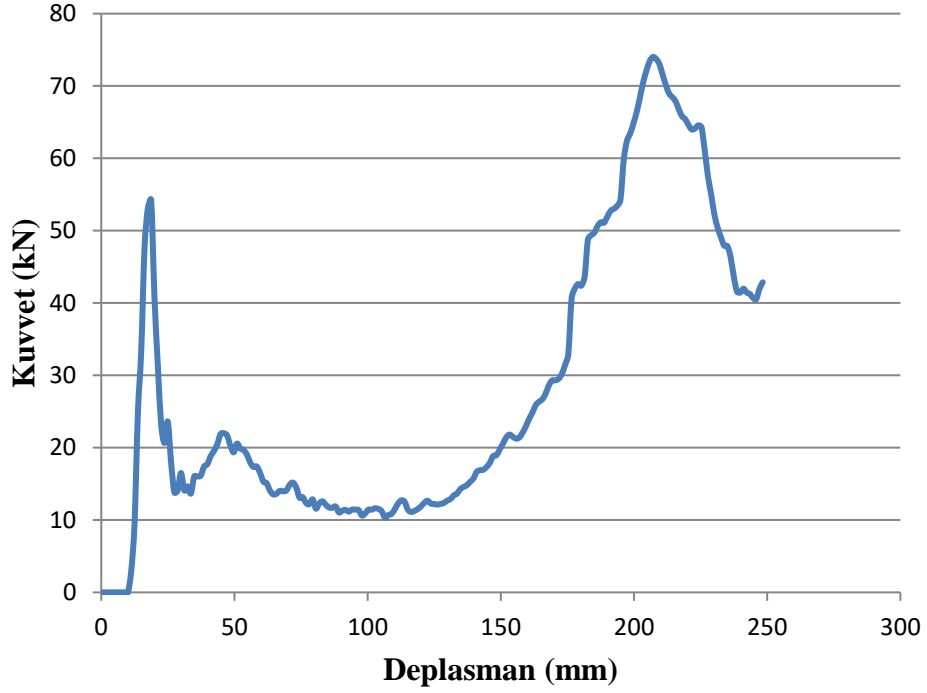


Şekil 4.25 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

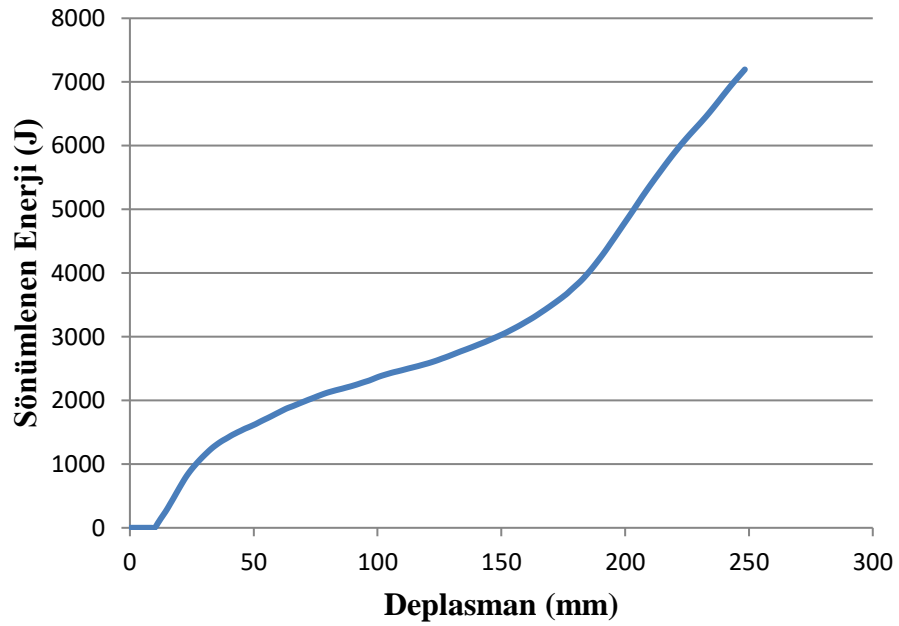


Şekil 4.26 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 1. modelinin sönmülmüş enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış tampon kirişinin 2. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 74 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.27). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 2. modelde toplam 7200 joule enerji sönmülmüştür (Şekil 4.28).

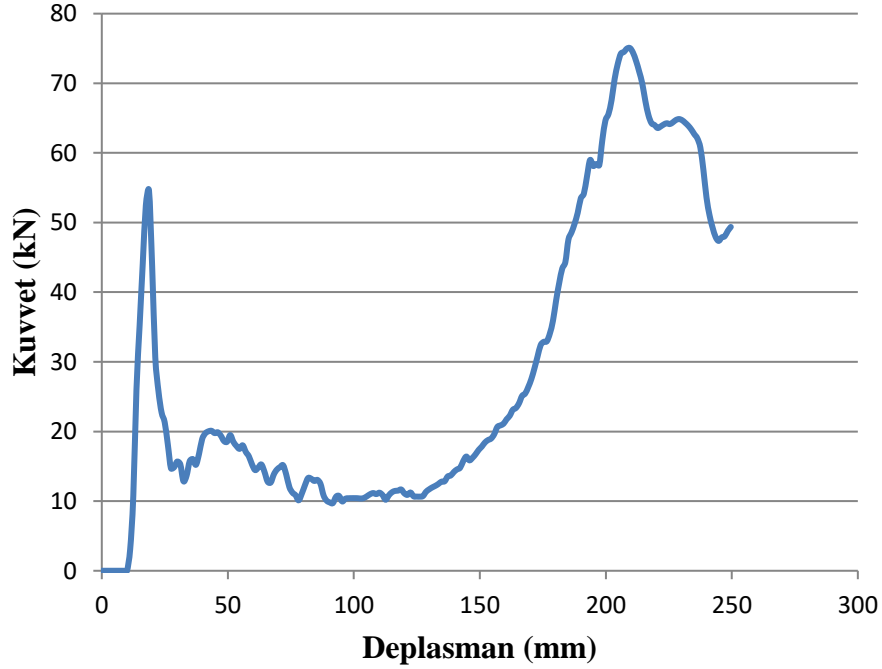


Şekil 4.27 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

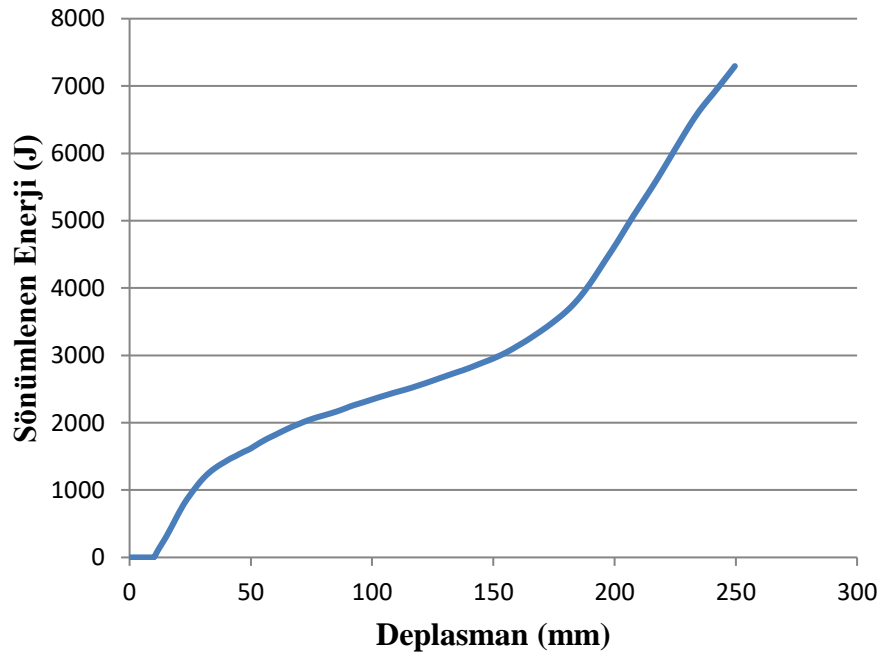


Şekil 4.28 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 2. modelinin sönmülmüş enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış tampon kirişinin 3. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 75 kN olarak gerçekteşmiştir (şekil 4.29). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 3. modelde toplam 7300 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.30).

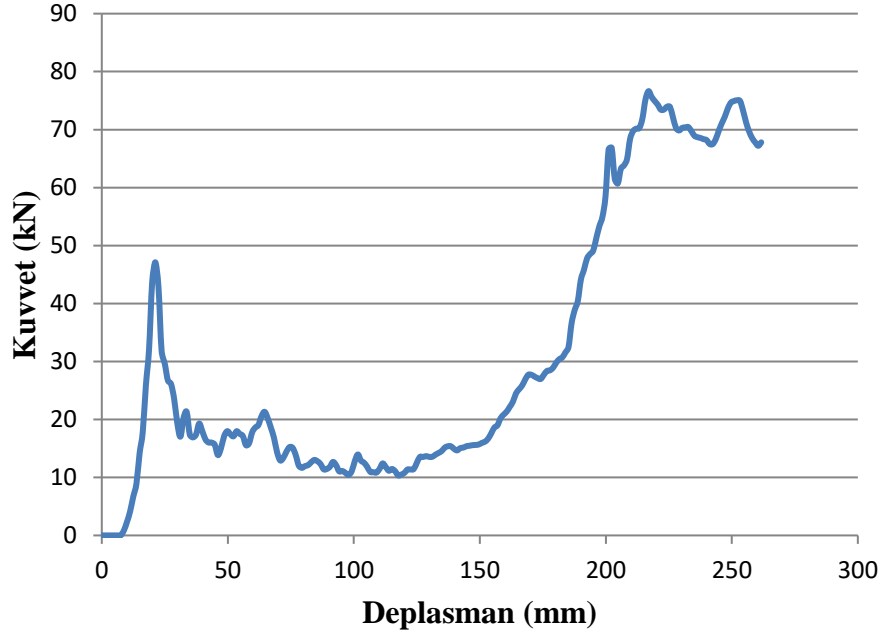


şekil 4.29 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

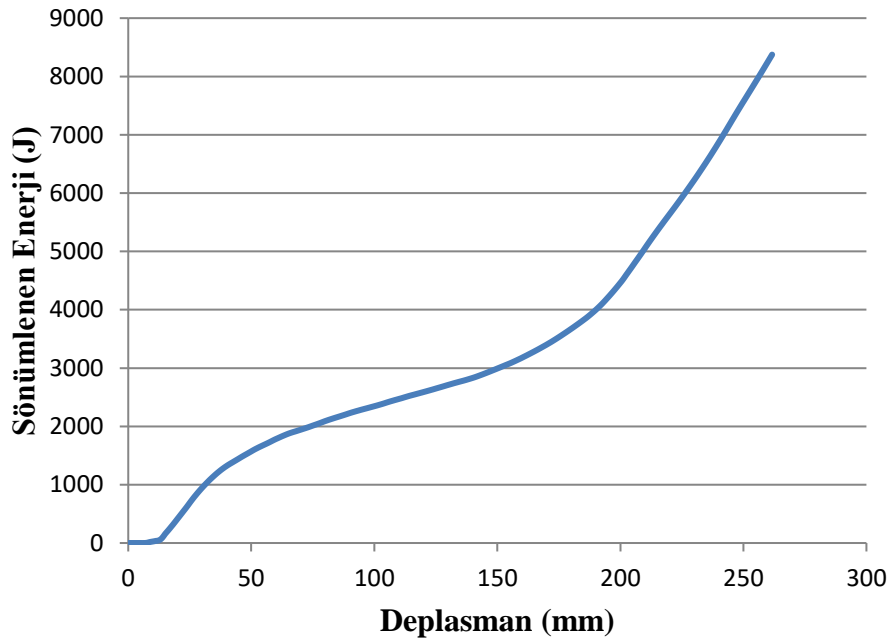


şekil 4.30 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış tampon kirişinin 4. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 76,6 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.31). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 4. modelde toplam 8370 joule enerji sönmülmüştür (Şekil 4.32).

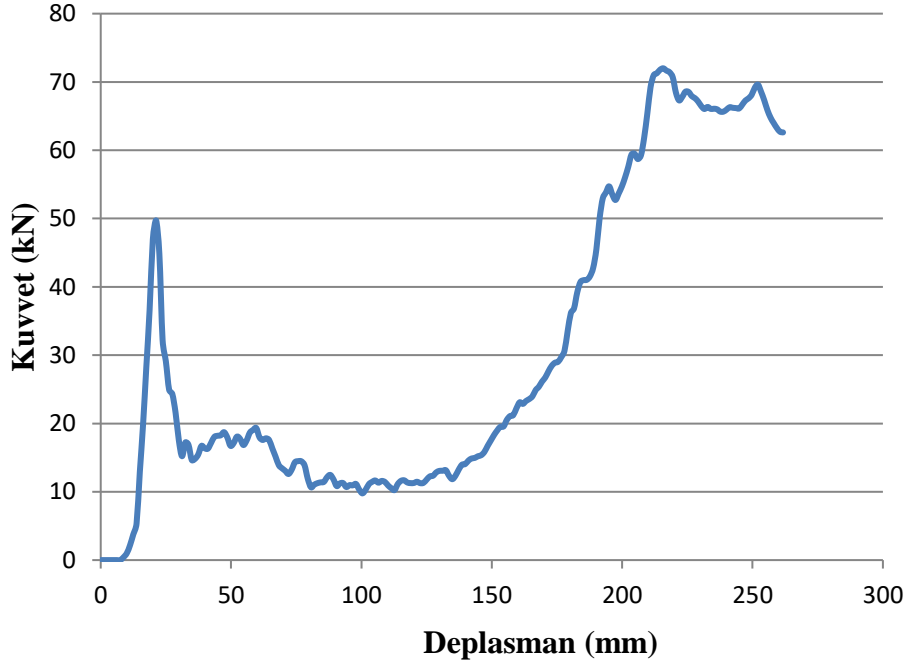


Şekil 4.31 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

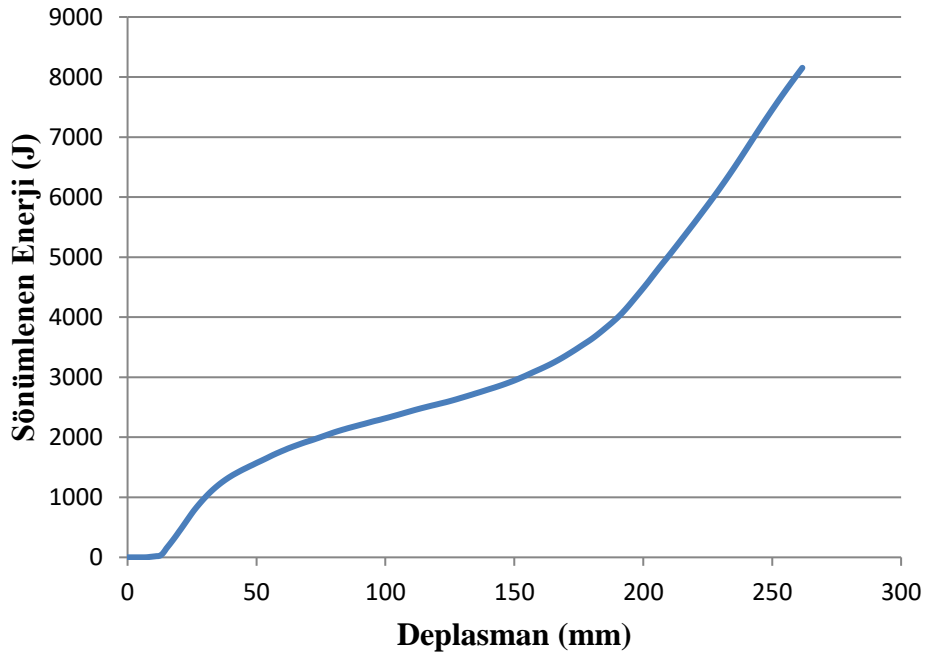


Şekil 4.32 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 4. modelinin sönmülmüş enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış tampon kirişinin 5. modelinde maksimum çarpışma kuvveti 72 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.33). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. 5. modelde toplam 8150 joule enerji sökülümlenmiştir (Şekil 4.34).

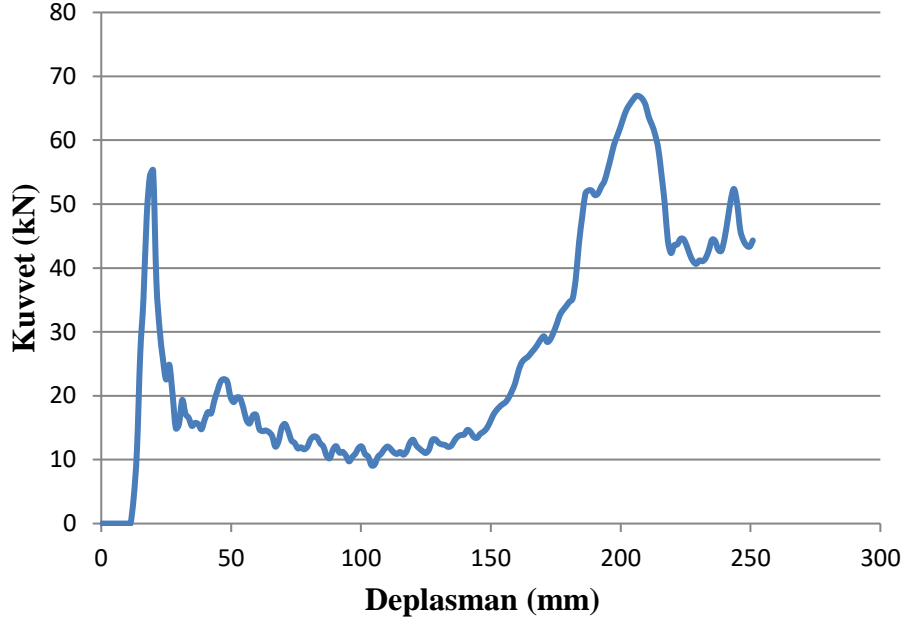


Şekil 4.33 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

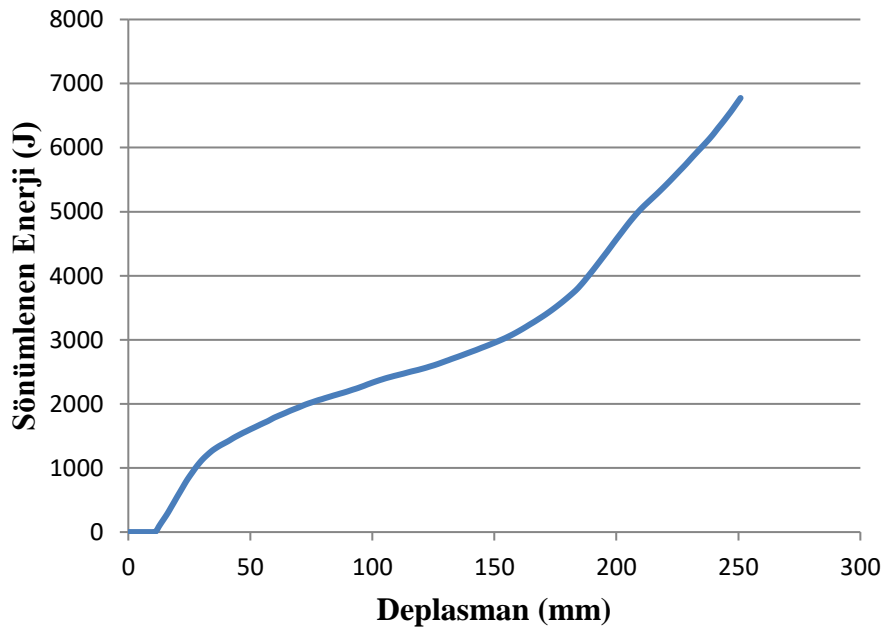


Şekil 4.34 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin 5. modelinin sökülümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış tampon kirişinin ana modelin maksimum çarpışma kuvveti 67 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.35). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Ana modelde toplam 6770 joule enerji sökülümlenmiştir (Şekil 4.36).

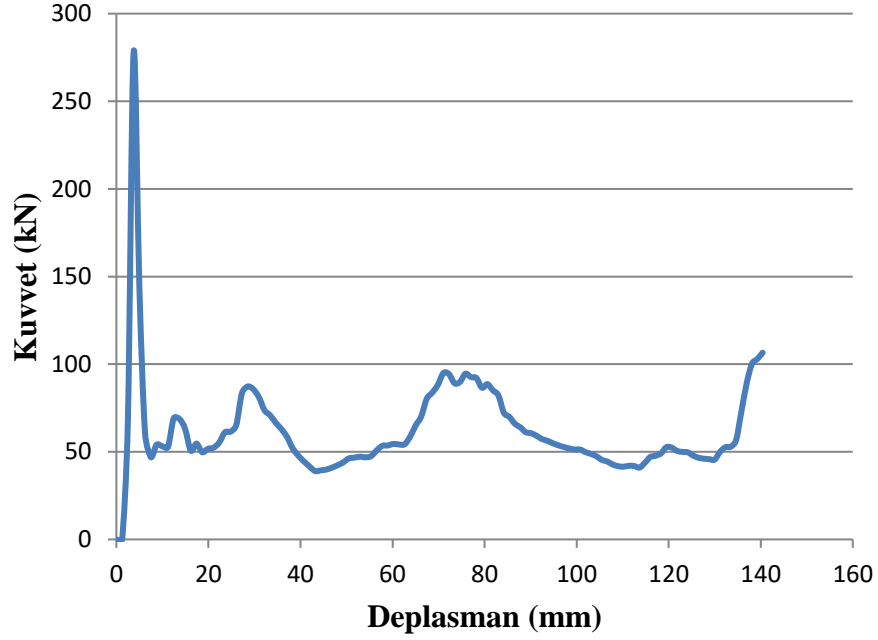


Şekil 4.35 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin ana modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

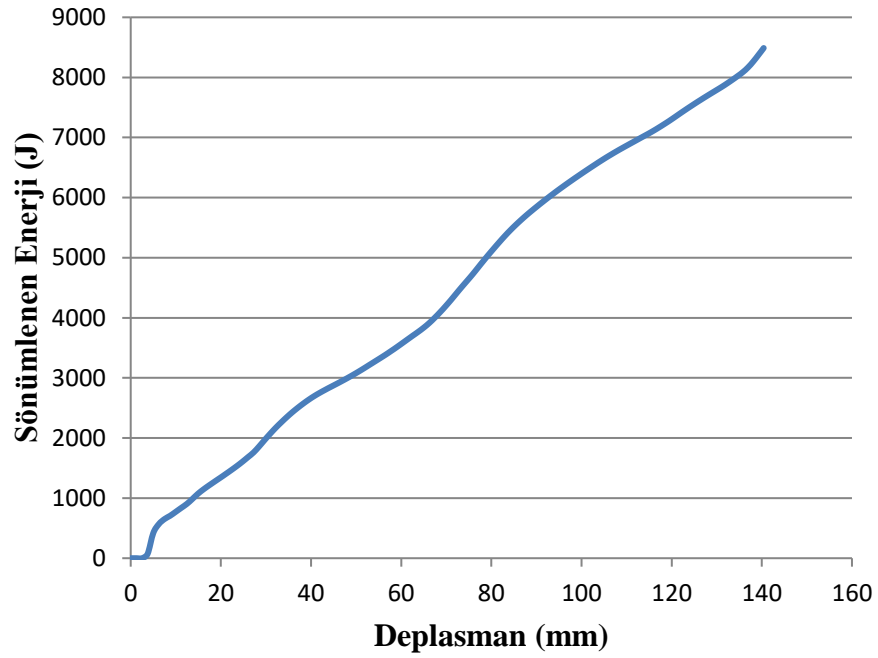


Şekil 4.36 : DP600'den yapılmış tampon kirişinin ana modelinin sökülümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 278 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.37). Maksimum kuvvet ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 8490 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.38).

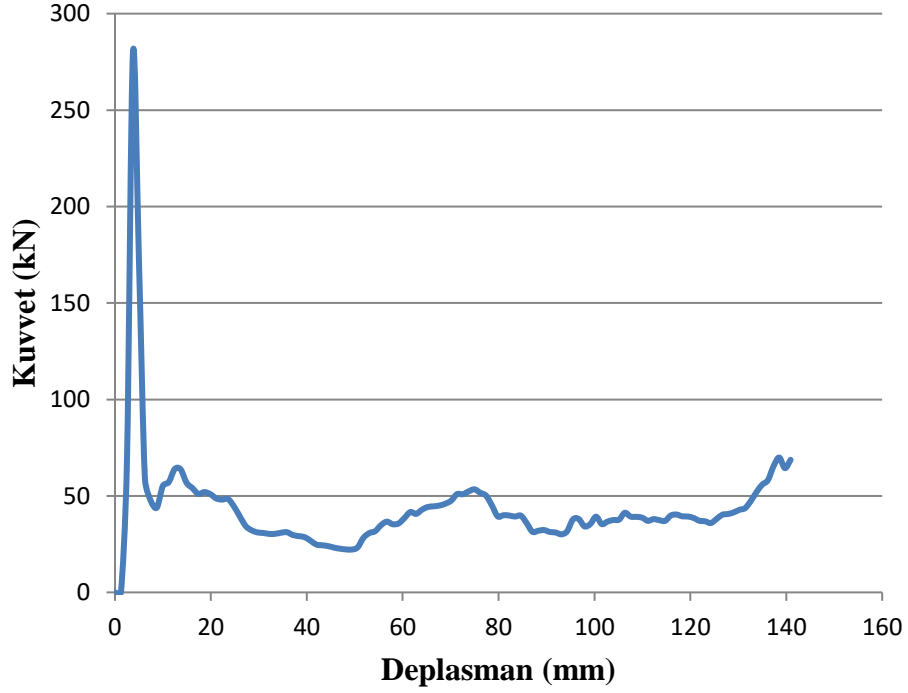


Şekil 4.37 : Al 7075-T6'dan yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

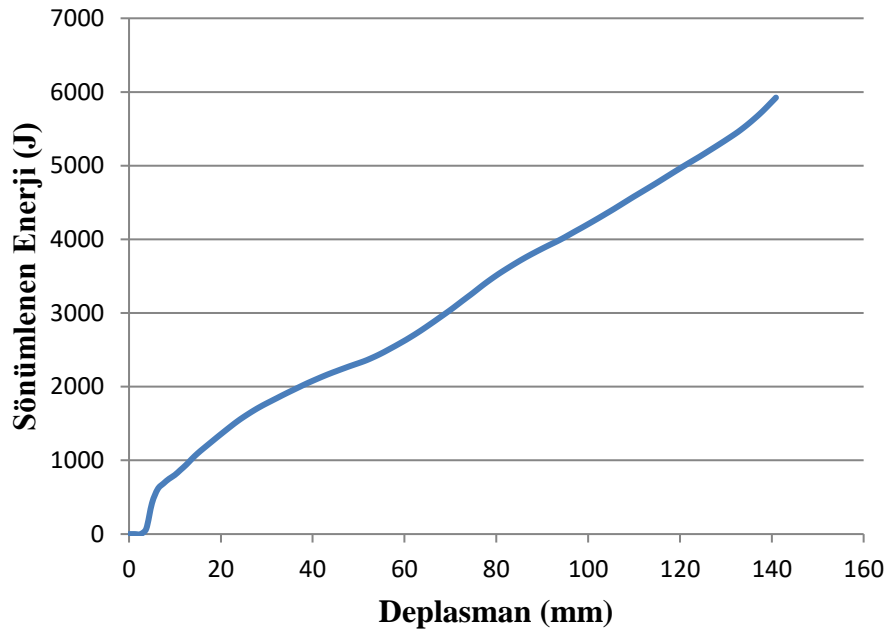


Şekil 4.38 : Al 7075-T6'dan yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 280 kN olduğu görülmüştür (Şekil 4.39). Maksimum kuvvet ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 5920 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.40).

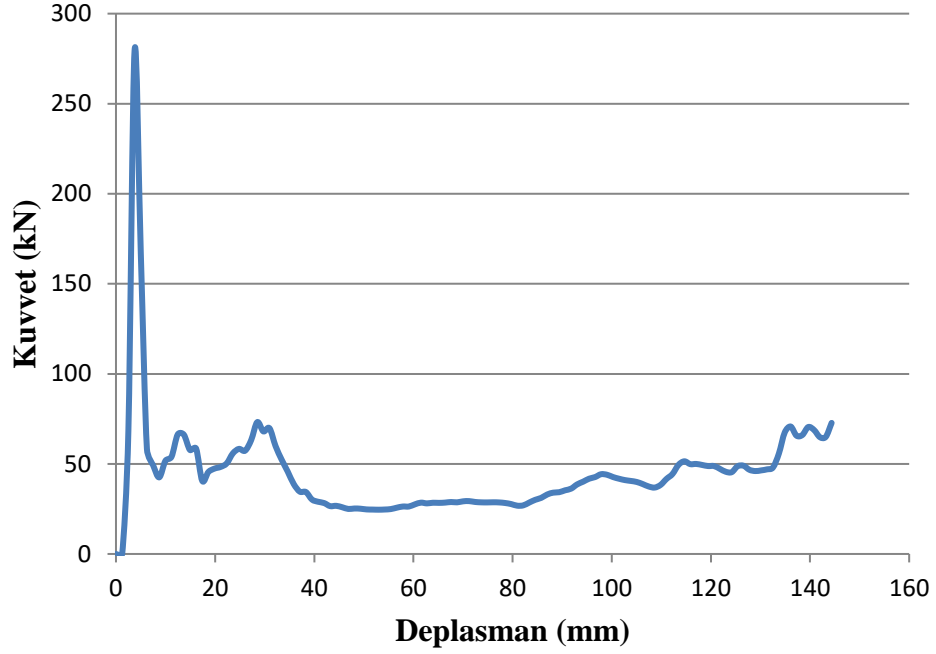


Şekil 4.39 : Al 7075-T6'dan yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği

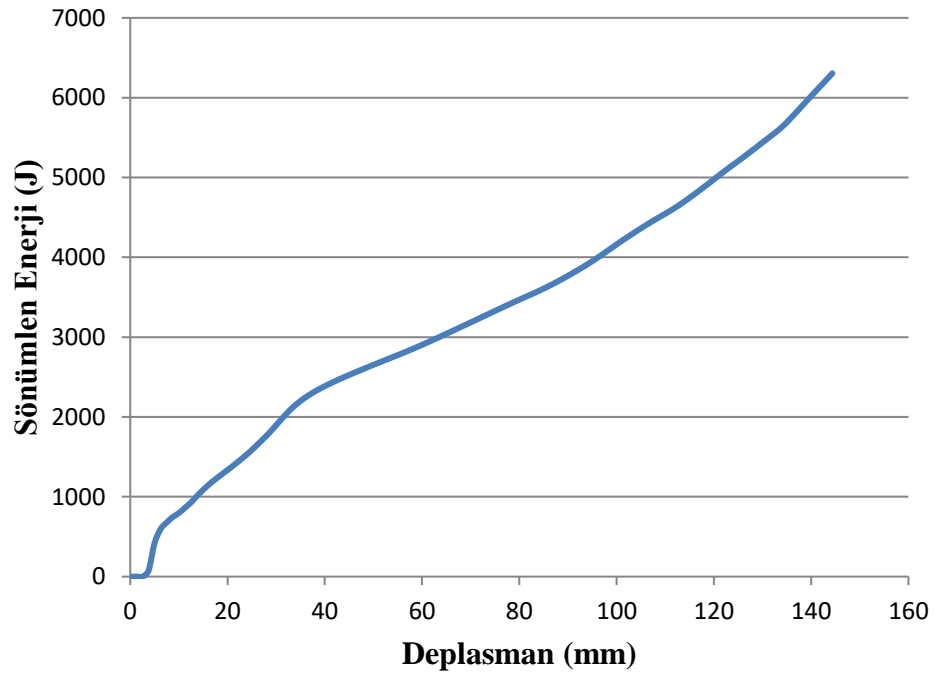


Şekil 4.40 : Al 7075-T6'dan yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji -deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 279 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.41). Maksimum kuvvet ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 6310 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.42).

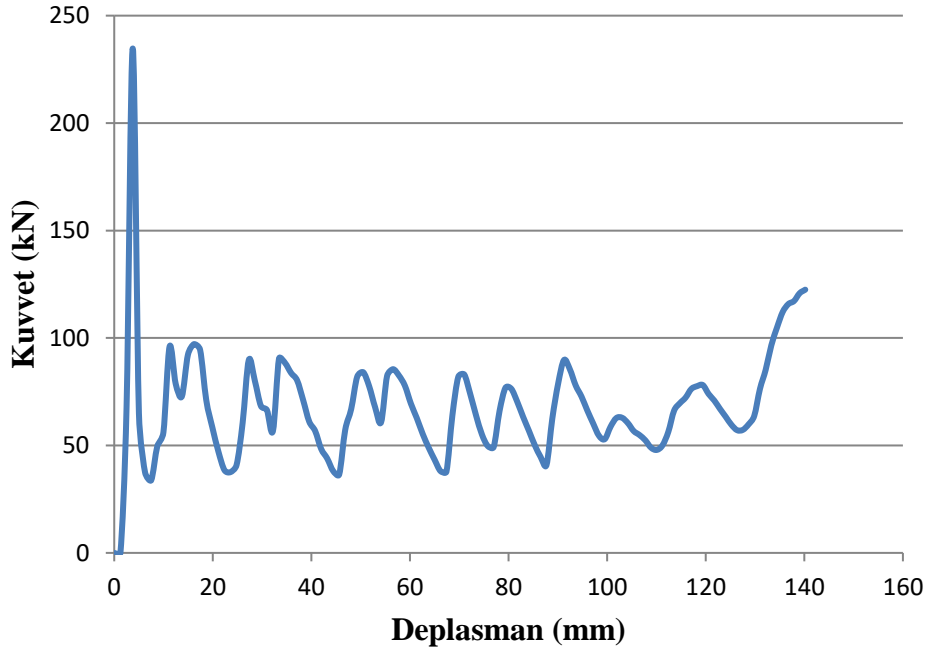


Şekil 4.41 : Al 7075-T6'dan yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicinin kuvvet-deplasman grafiği.

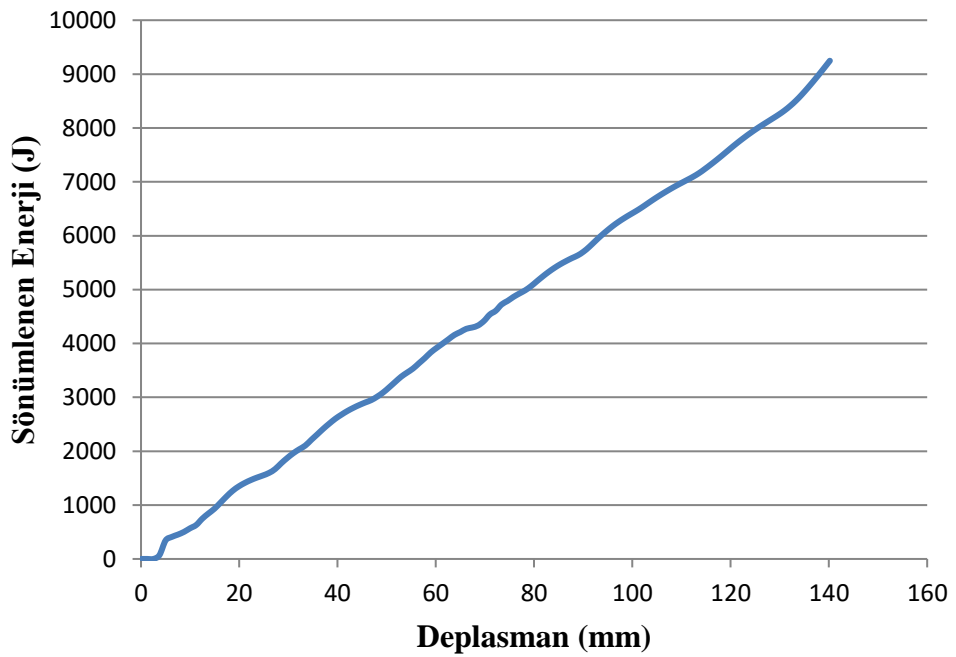


Şekil 4.42 : Al 7075-T6'dan yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 235 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.43). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Simetrik katlanma görülmüştür. Toplamda 9250 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.44).

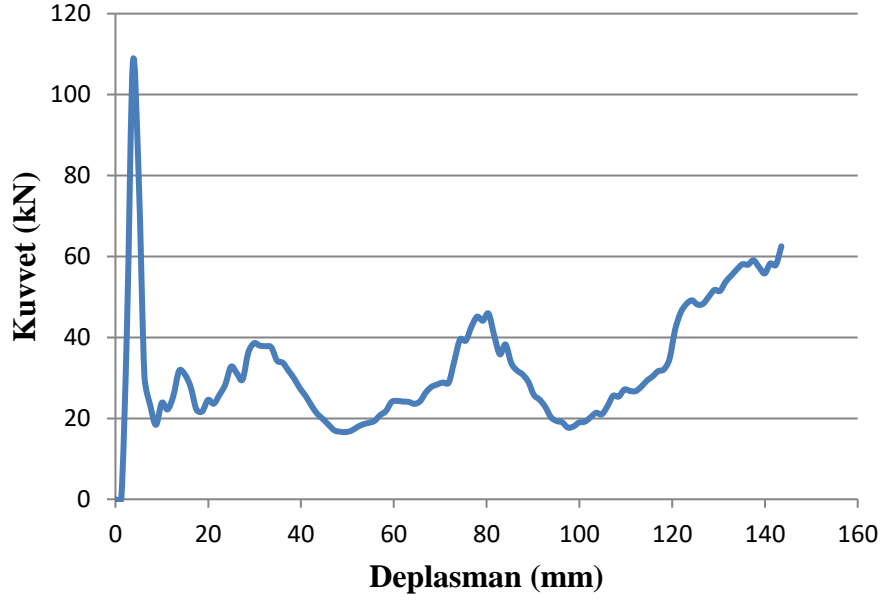


Şekil 4.43 : Al 7075-T6'dan yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

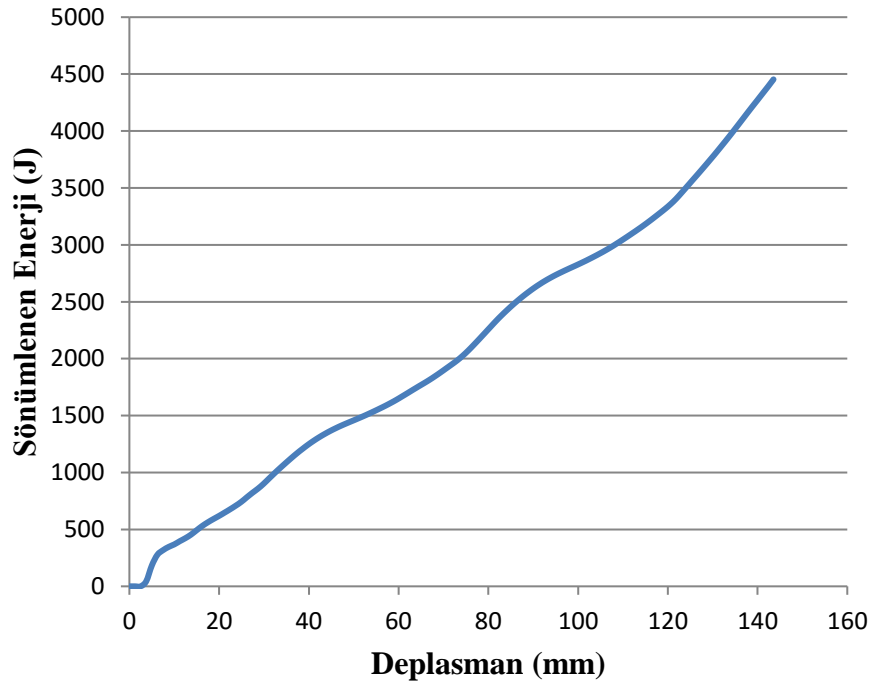


Şekil 4.44 : Al 7075-T6'dan yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 108 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.45). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 4450 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.46).

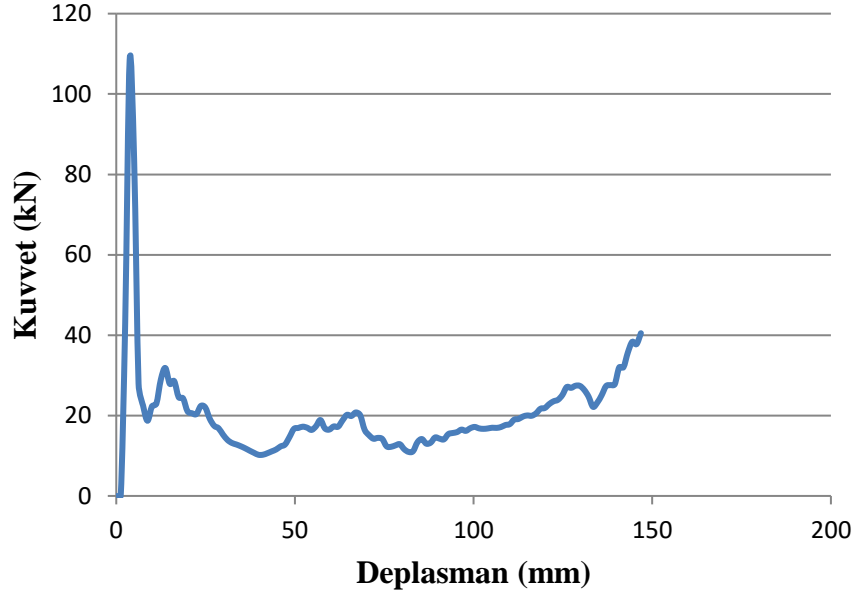


Şekil 4.45 : AZ31B'den yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

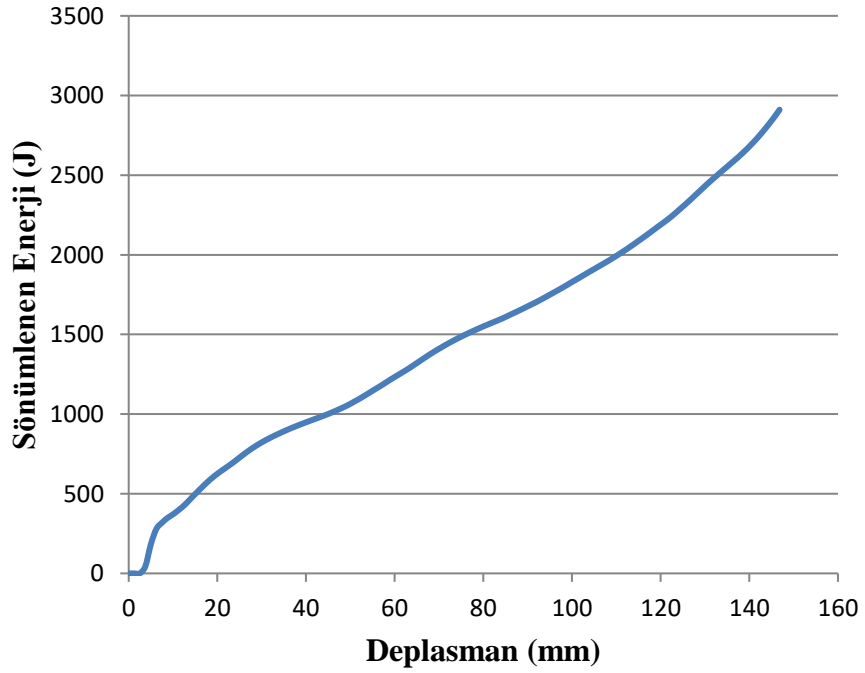


Şekil 4.46 : AZ31B'den yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 108 kN olarak gerçekteşmiştir (şekil 4.47). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 2910 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.48).

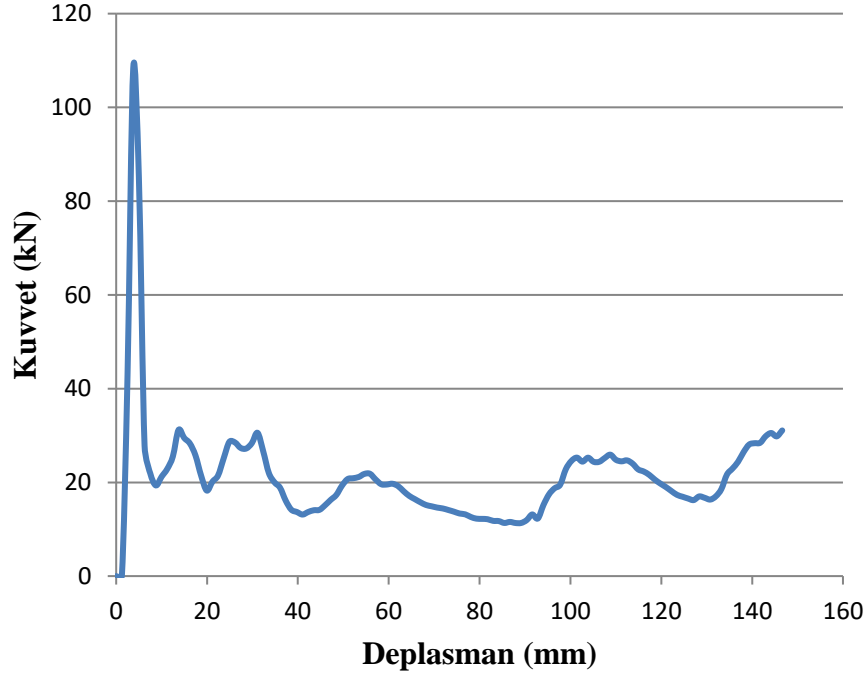


şekil 4.47 : AZ31B'den yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

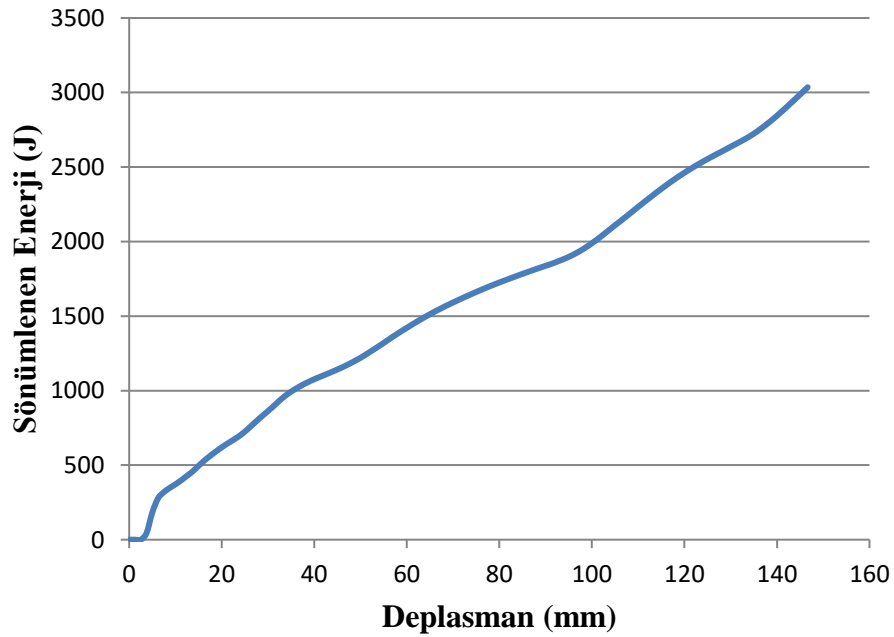


şekil 4.48 : AZ31B'den yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 108 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.49). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 3040 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.50).

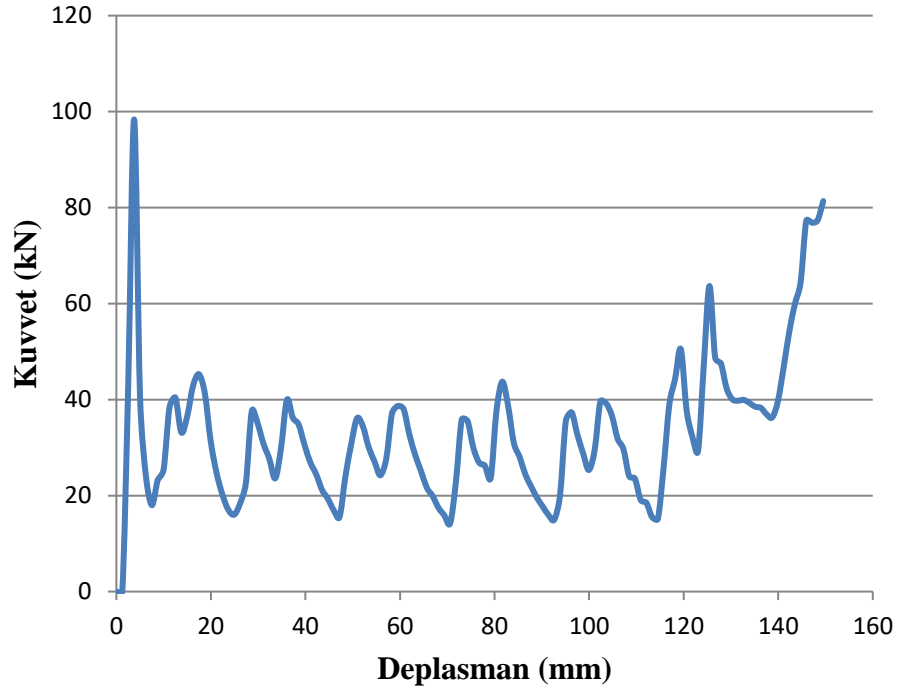


şekil 4.49 : AZ31B'den yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicinin kuvvet-deplasman grafiği.

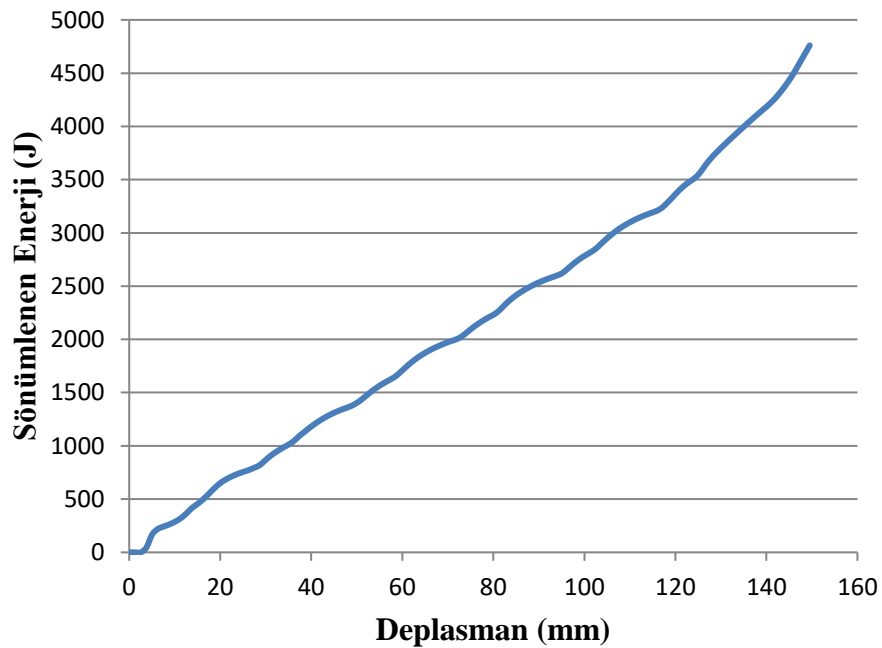


şekil 4.50 : AZ31B'den yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 98,4 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.51). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Simetrik katlanma görülmüştür. Toplamda 4760 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.52).

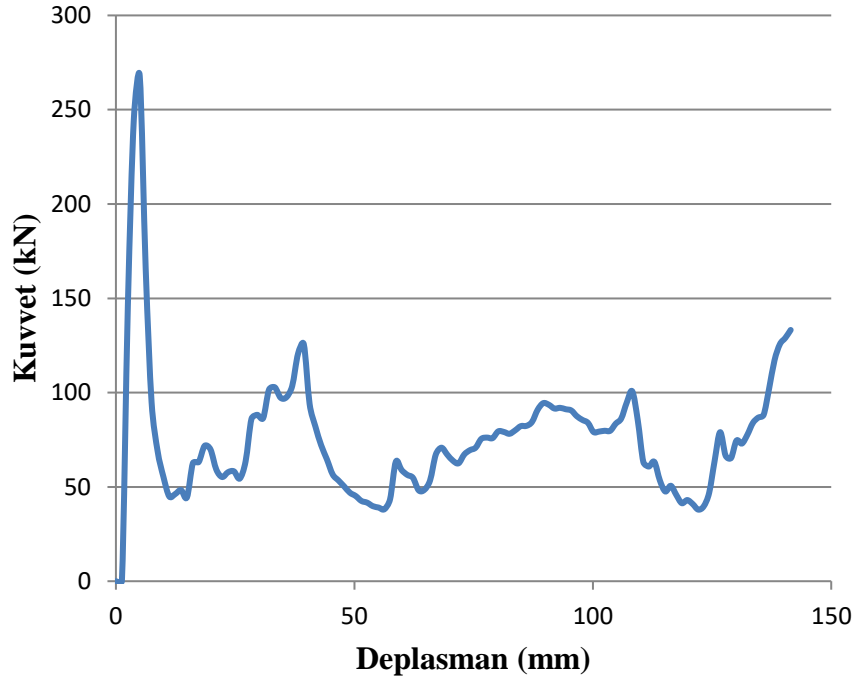


Şekil 4.51 : AZ31B'den yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet -deplasman grafiği.

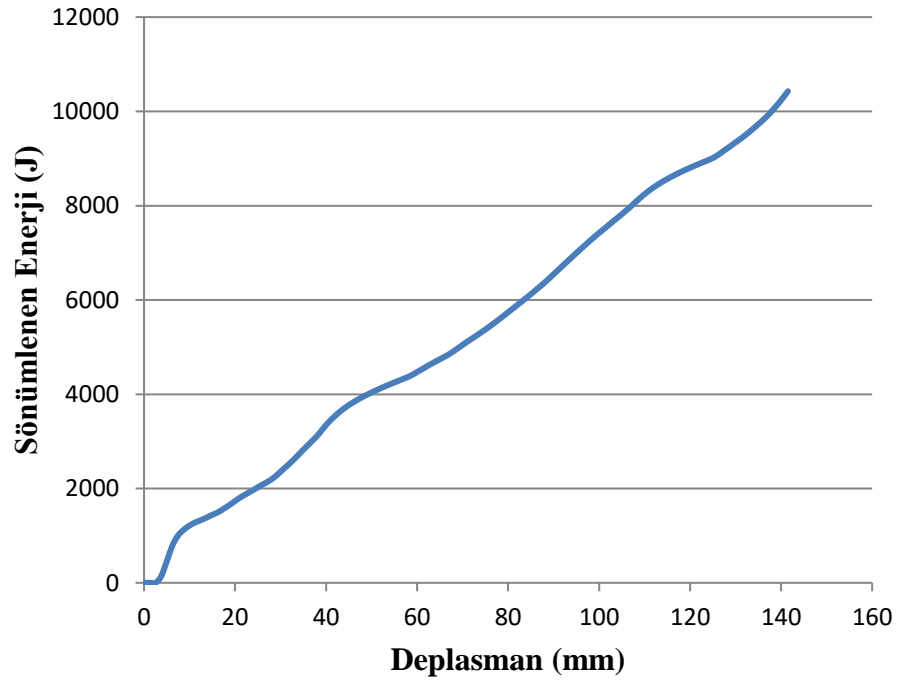


Şekil 4.52 : AZ31B'den yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 268 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.53). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 10400 joule'lük enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.54).

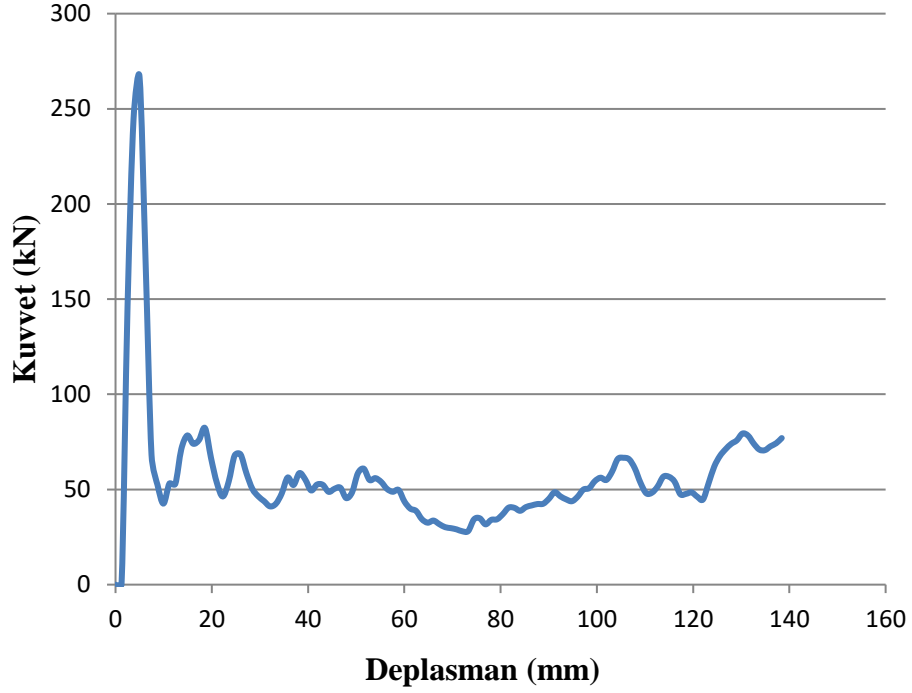


Şekil 4.53 : DP600'den yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

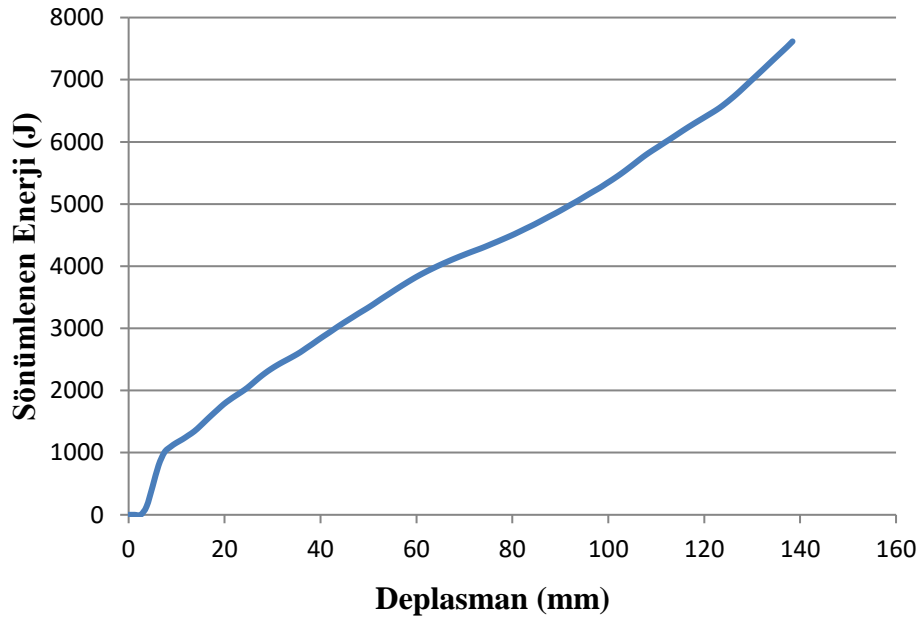


Şekil 4.54 : DP600'den yapılmış altıgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 267 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.55). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 7620 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.56).

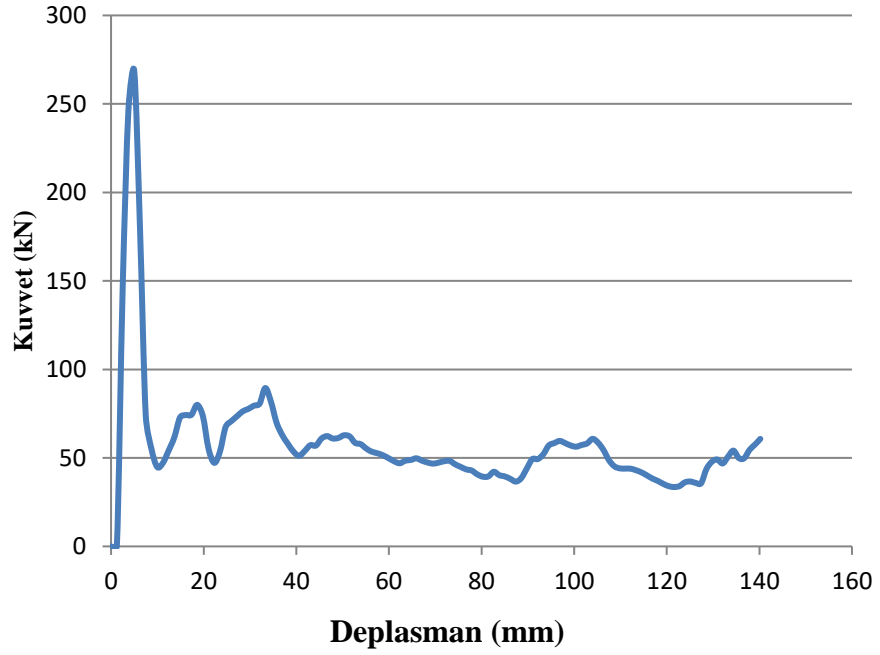


Şekil 4.55 : DP600'den yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

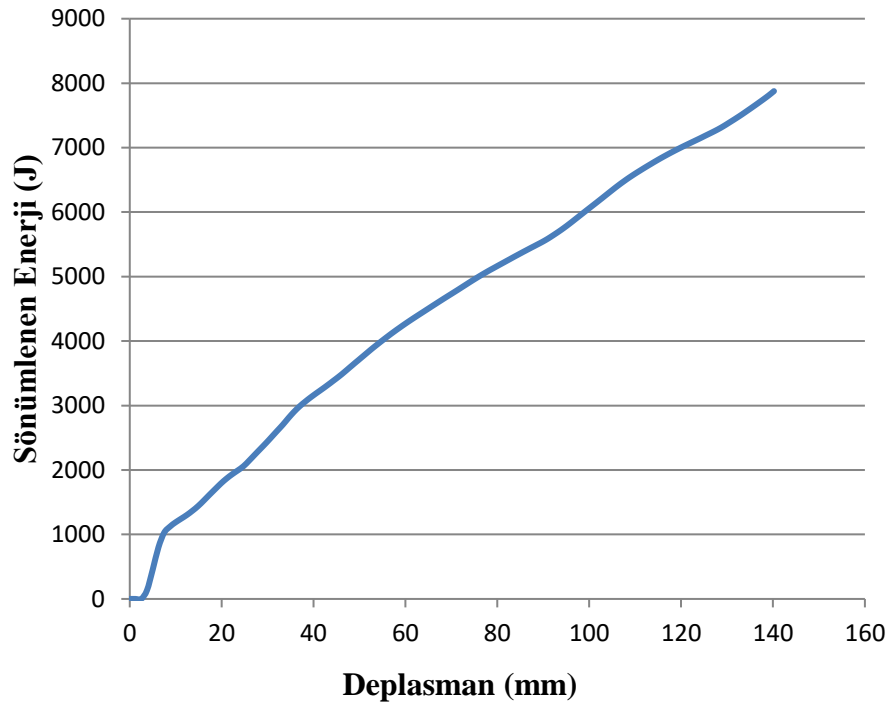


Şekil 4.56 : DP600'den yapılmış dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış kare kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 269 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.57). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 7880 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.58).

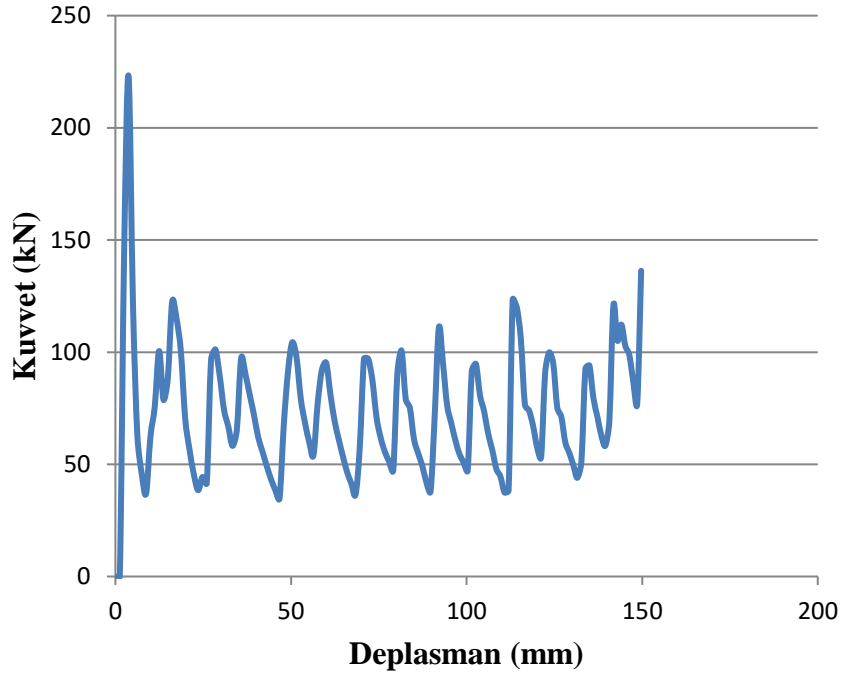


Şekil 4.57 : DP600'den yapılmış kare kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

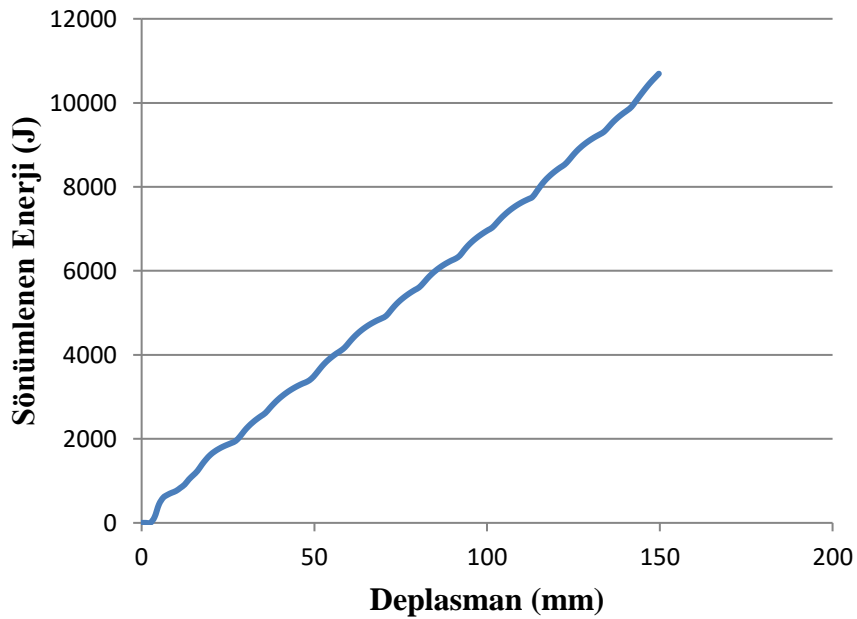


Şekil 4.58 : DP600'den yapılmış kare kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyicide maksimum kuvvet 223 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.59). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Simetrik katlanma görülmüştür. Toplamda 10700 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.60).

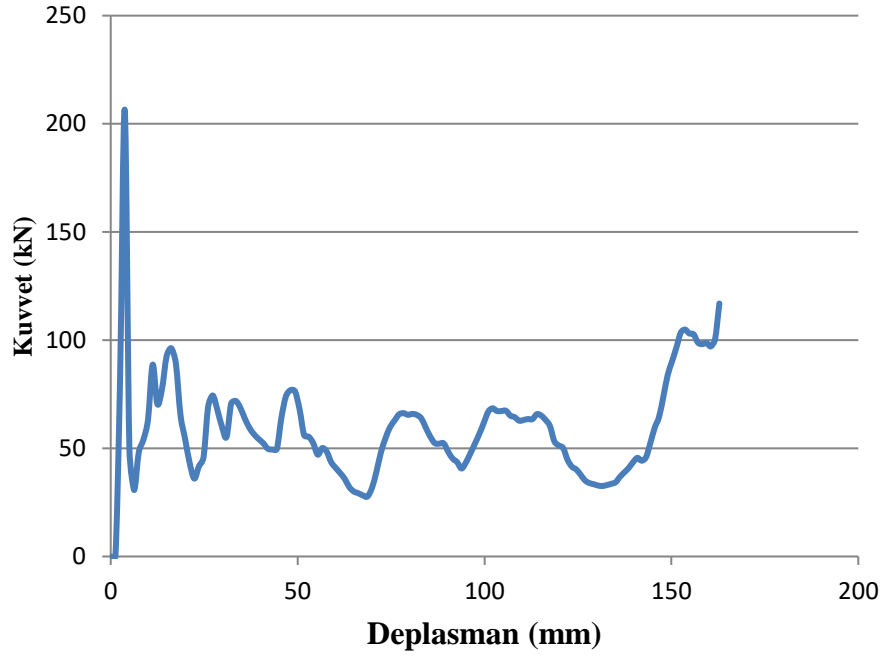


Şekil 4.59 : DP600'den yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

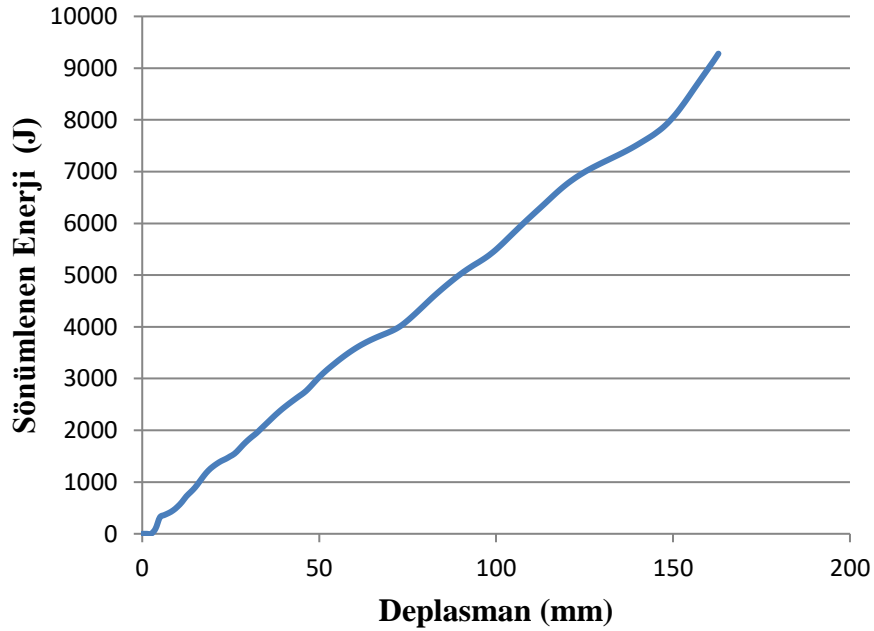


Şekil 4.60 : DP600'den yapılmış silindir kesitli enerji sönümleyici modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 1. modelinde maksimum kuvvet 206 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.61). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 9280 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.62).

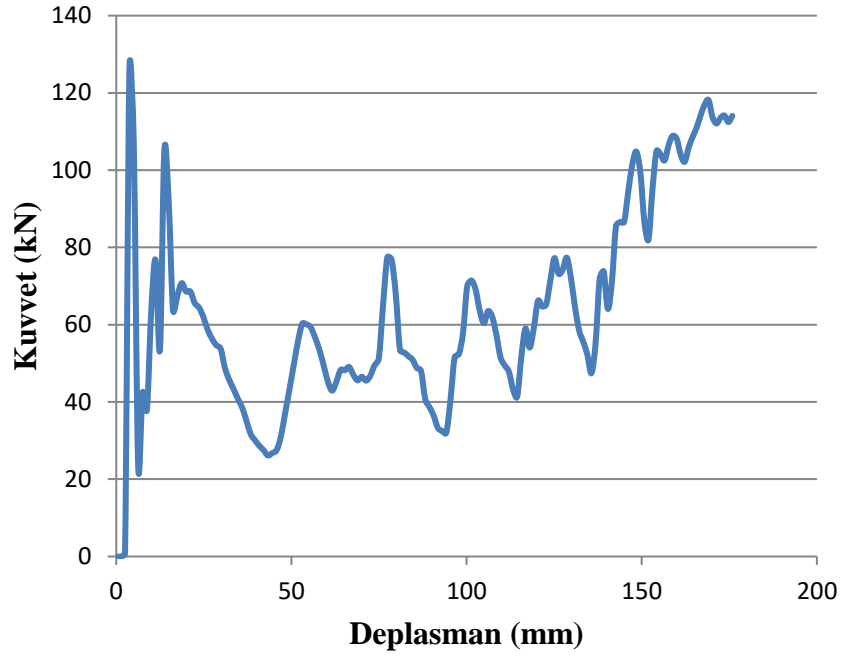


Şekil 4.61 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

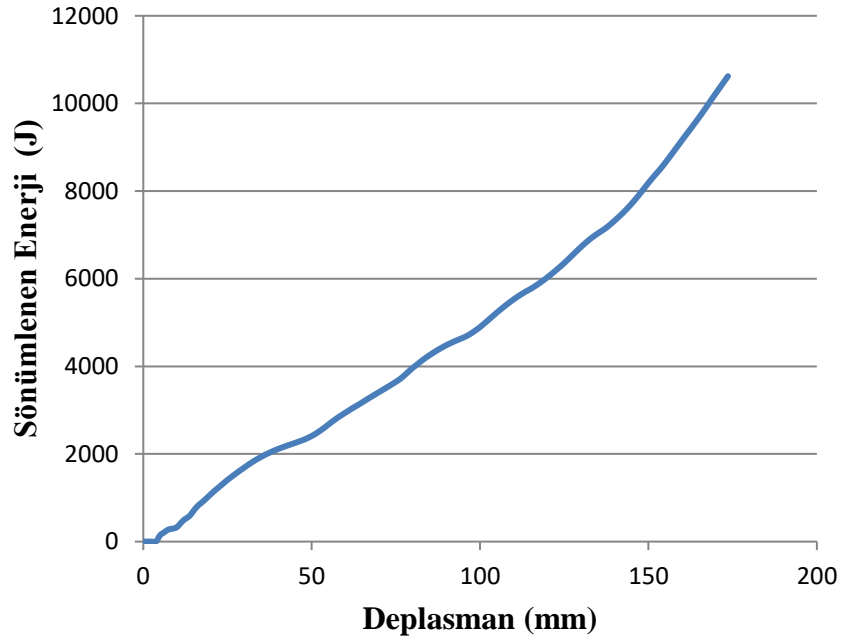


Şekil 4.62 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 2. modelinde maksimum kuvvet 126 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.63). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 10600 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.64).

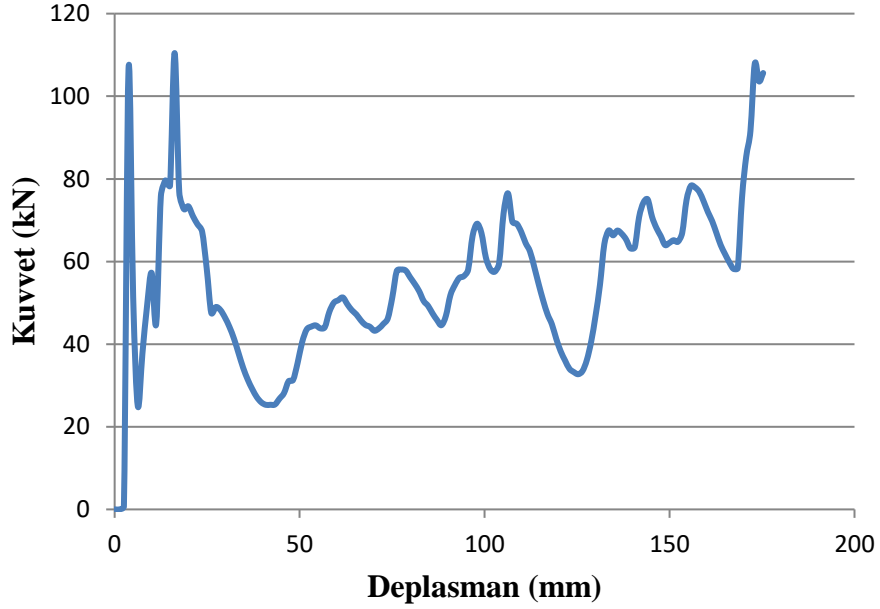


Şekil 4.63 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

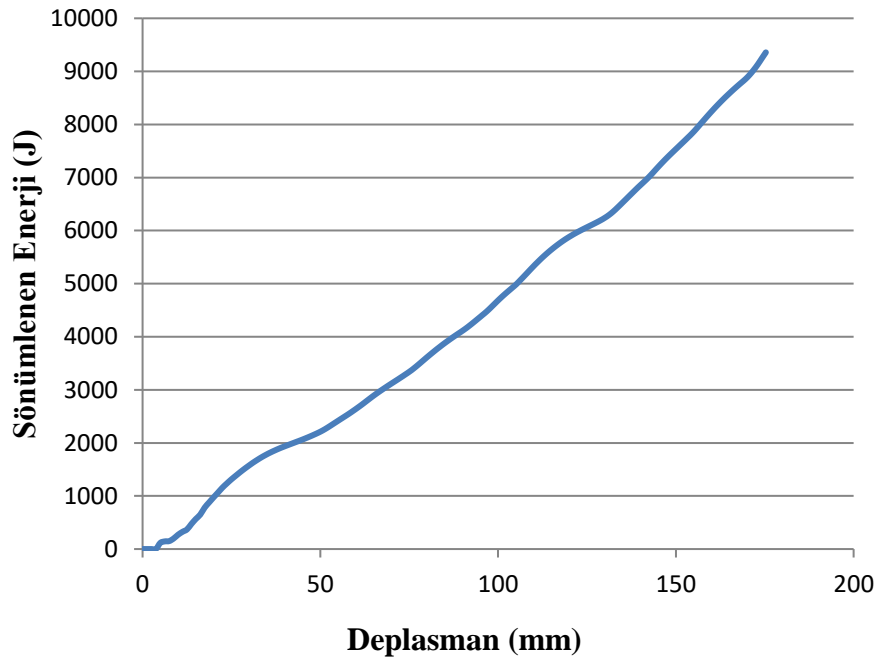


Şekil 4.64 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 3. modelinde maksimum kuvvet 110 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.65). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 9360 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.66).

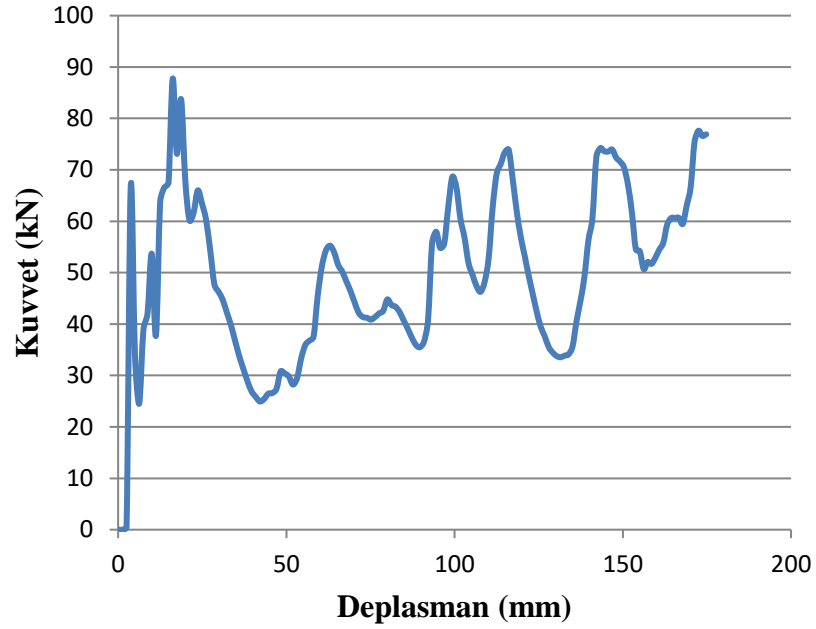


Şekil 4.65 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

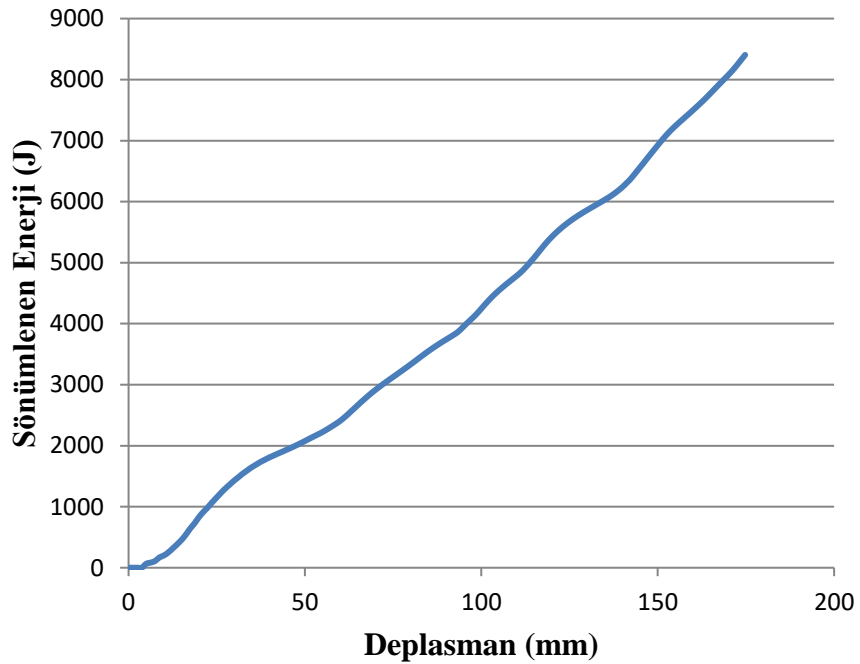


Şekil 4.66 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 4. modelinde maksimum kuvvet 87,8 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.67). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 8400 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.68).

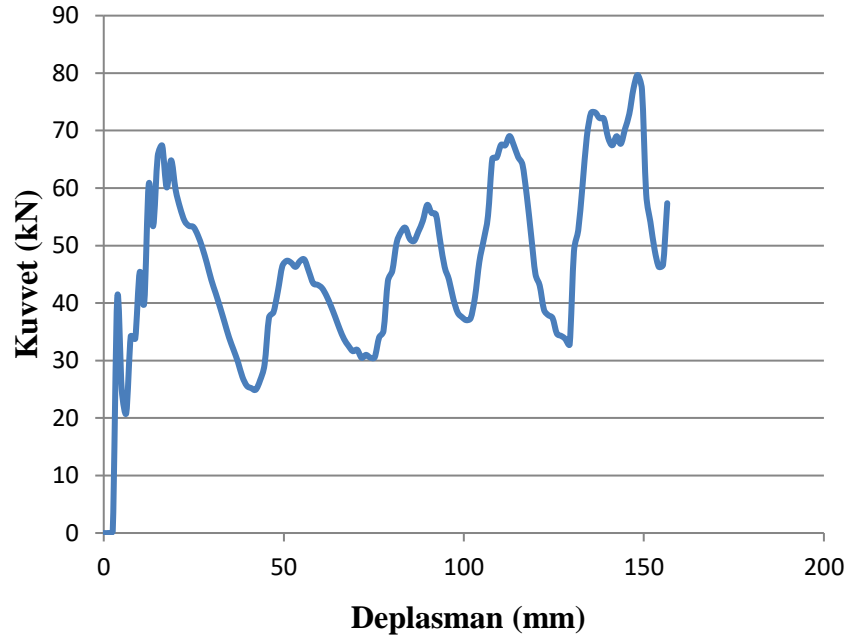


Şekil 4.67 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

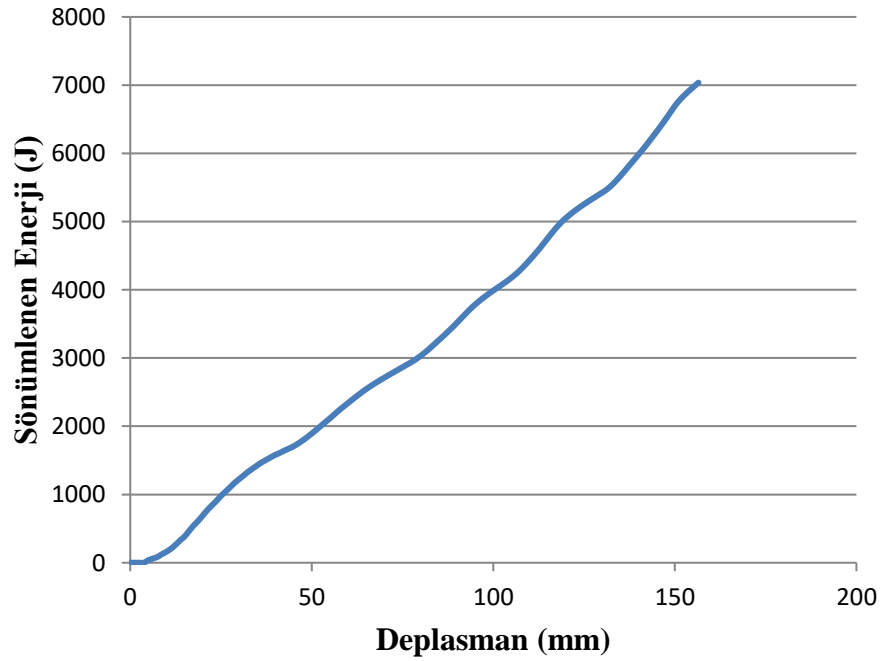


Şekil 4.68 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Alüminyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 5. modelinde maksimum kuvvet 79,7 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.69). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 7040 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.70).

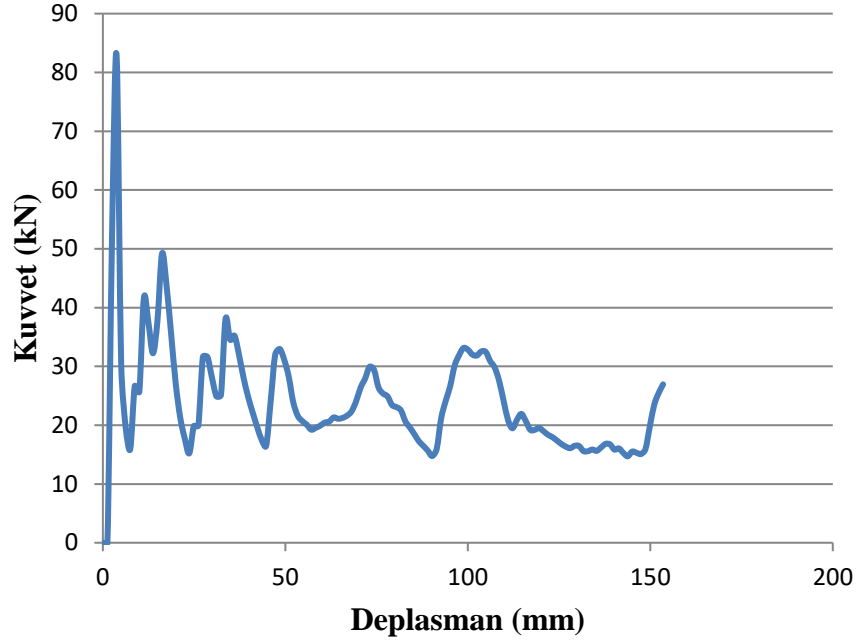


Şekil 4.69 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

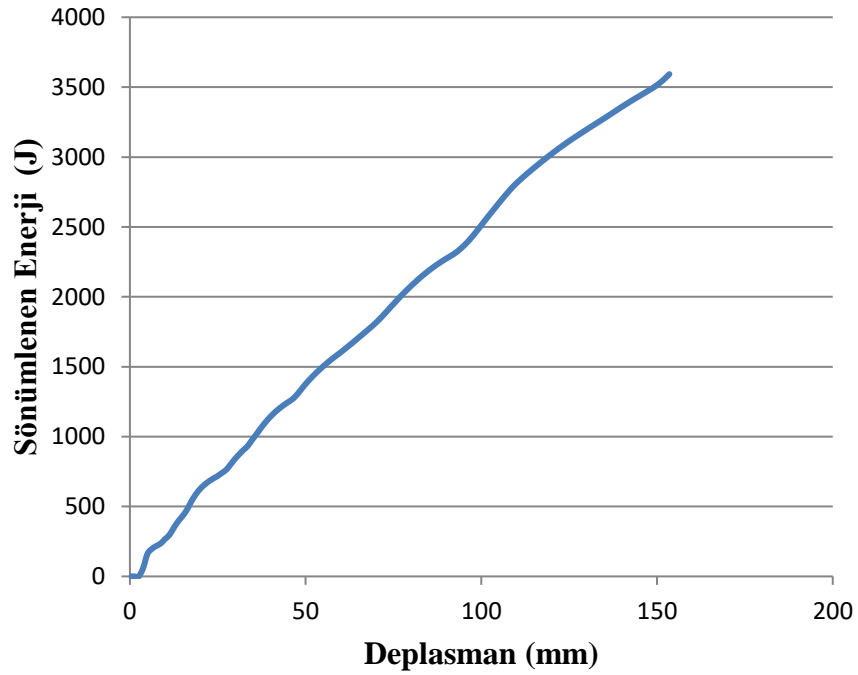


Şekil 4.70 : Al 7075-T6'dan yapılmış koninin 5. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 1. modelinde maksimum kuvvet 82,9 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.71). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 3590 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.72).

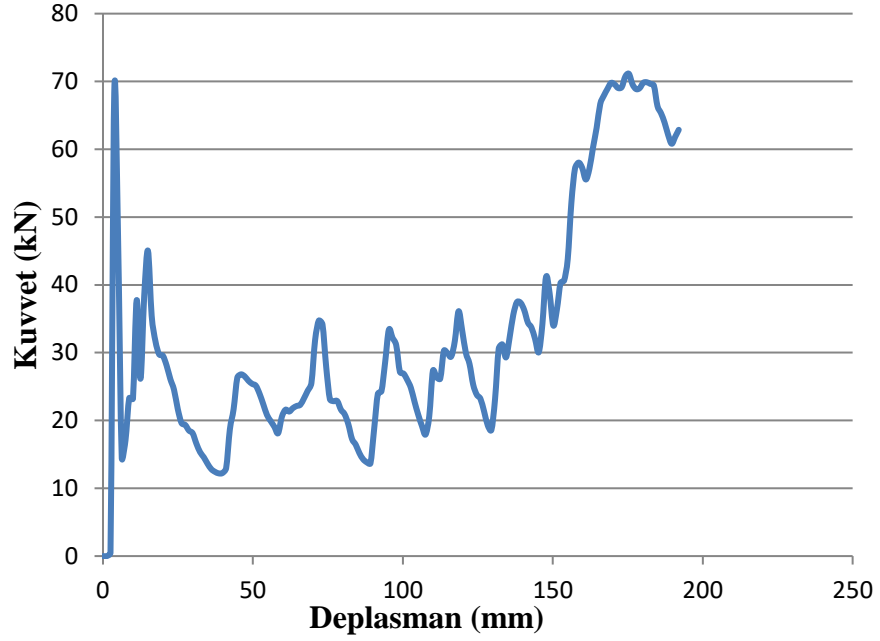


Şekil 4.71 : AZ31B'den yapılmış koninin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

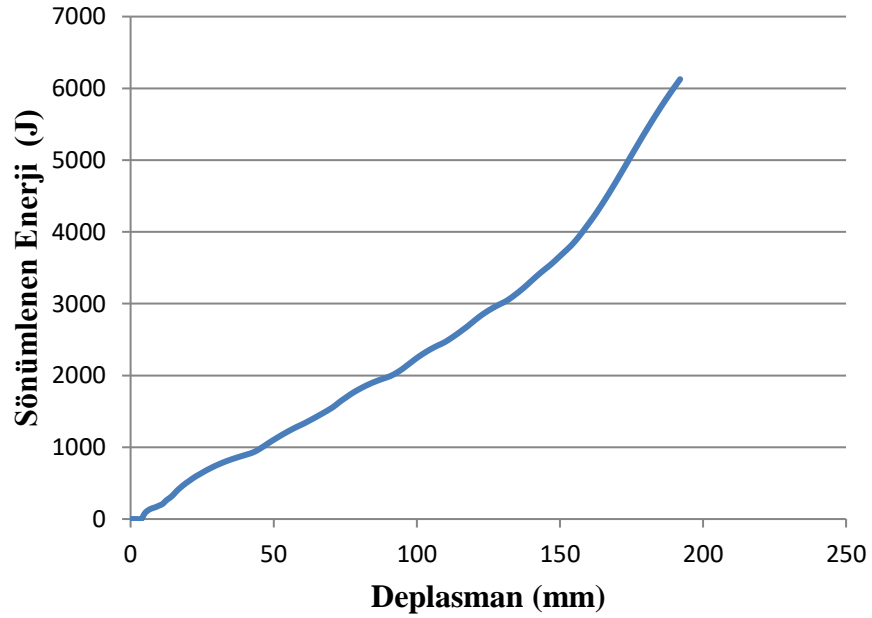


Şekil 4.72 : AZ31B'den yapılmış koninin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 2. modelinde maksimum kuvvet 71,1 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.73). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 6130 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.74).

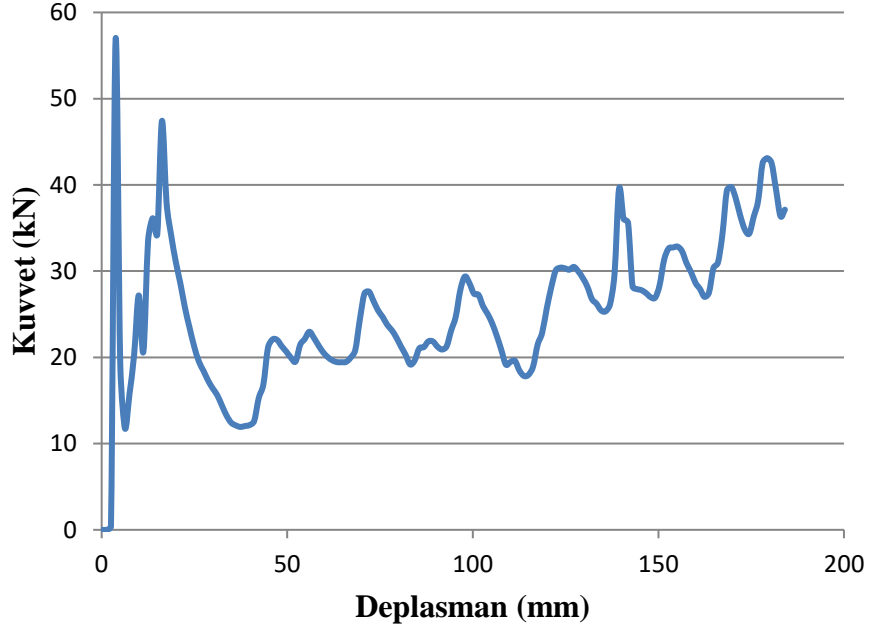


şekil 4.73 : AZ31B'den yapılmış koninin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

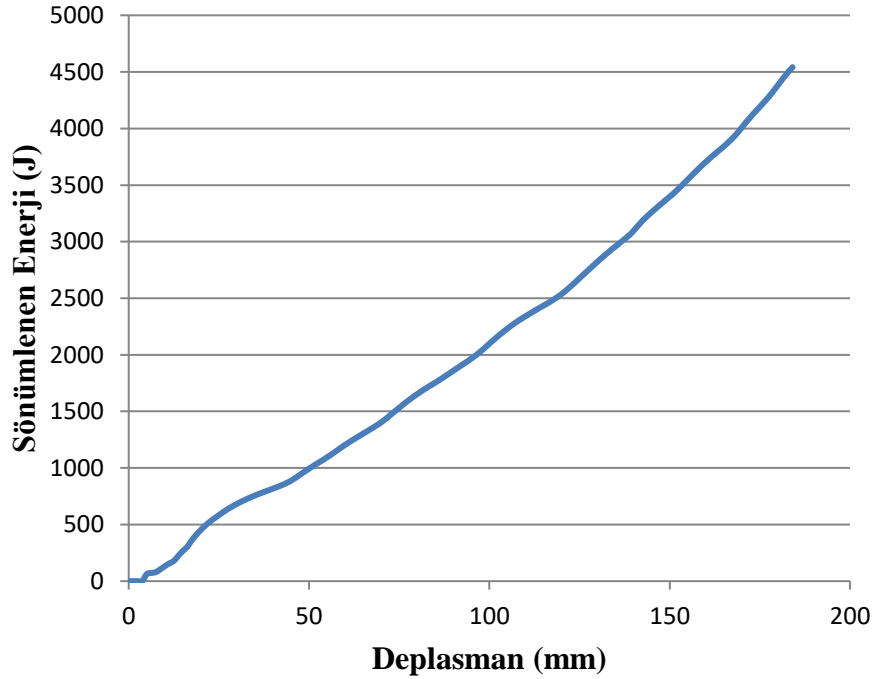


şekil 4.74 : AZ31B'den yapılmış koninin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 3. modelinde maksimum kuvvet 56,8 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.75). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 4540 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.76).

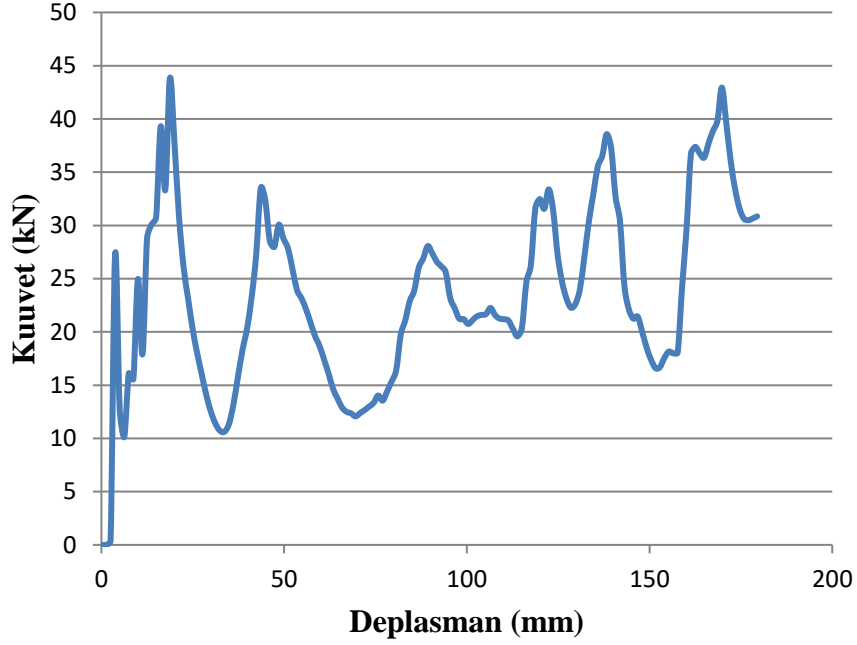


Şekil 4.75 : AZ31B'den yapılmış koninin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

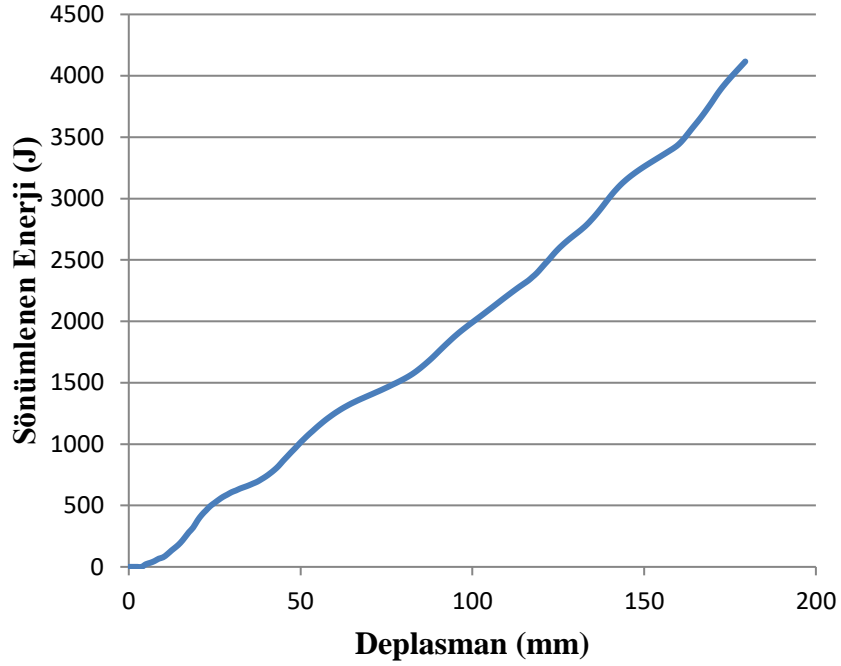


Şekil 4.76 : AZ31B'den yapılmış koninin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 4. modelinde maksimum kuvvet 43,8 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.77). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 4120 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.78).

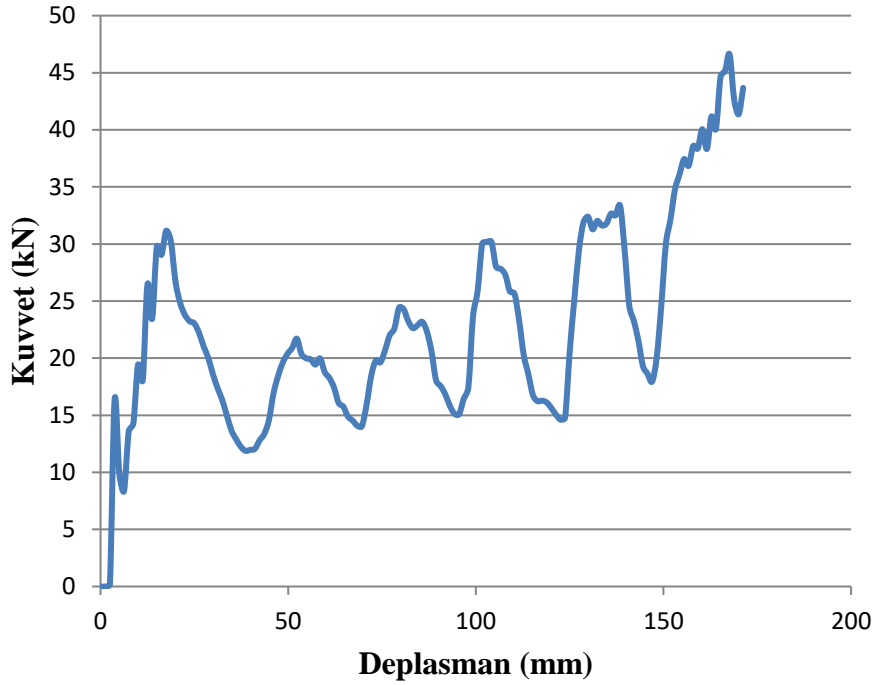


şekil 4.77 : AZ31B'den yapılmış koninin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

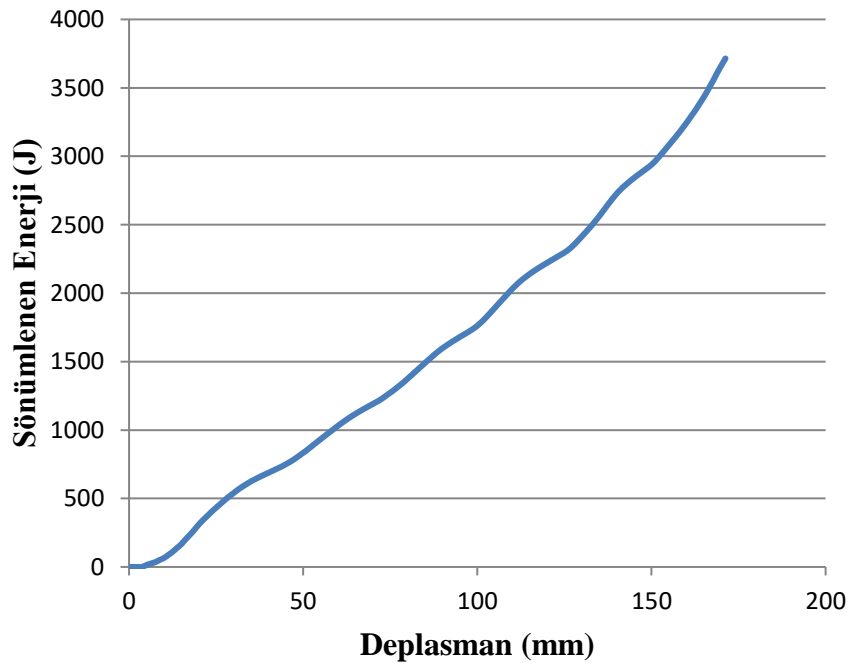


şekil 4.78 : AZ31B'den yapılmış koninin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Magnezyum alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 5. modelinde maksimum kuvvet 46,6 kN olarak gerçekleşmiştir (şekil 4.79). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 3710 joule enerji sönümlenmiştir (şekil 4.80).

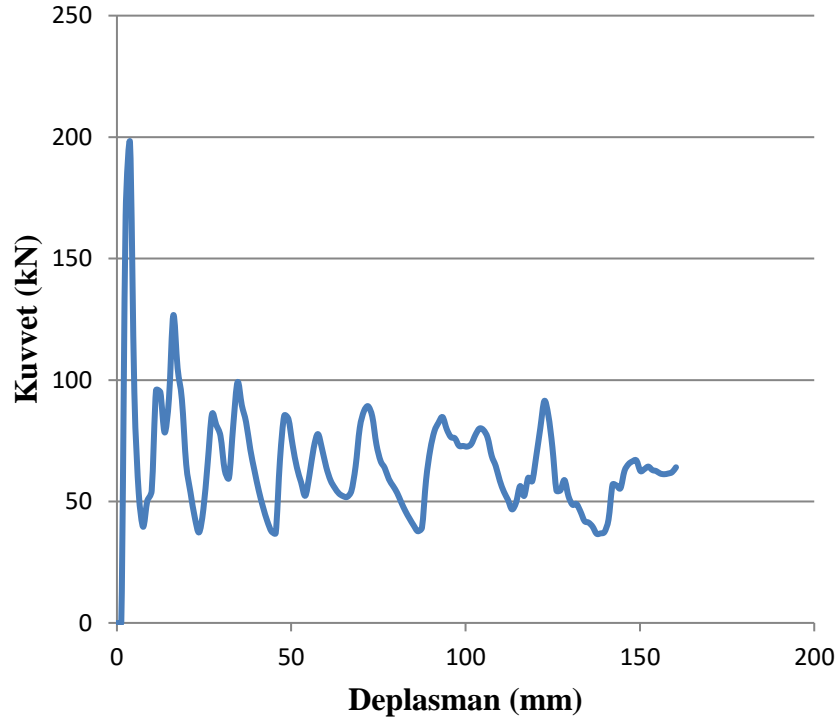


şekil 4.79 : AZ31B'den yapılmış koninin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

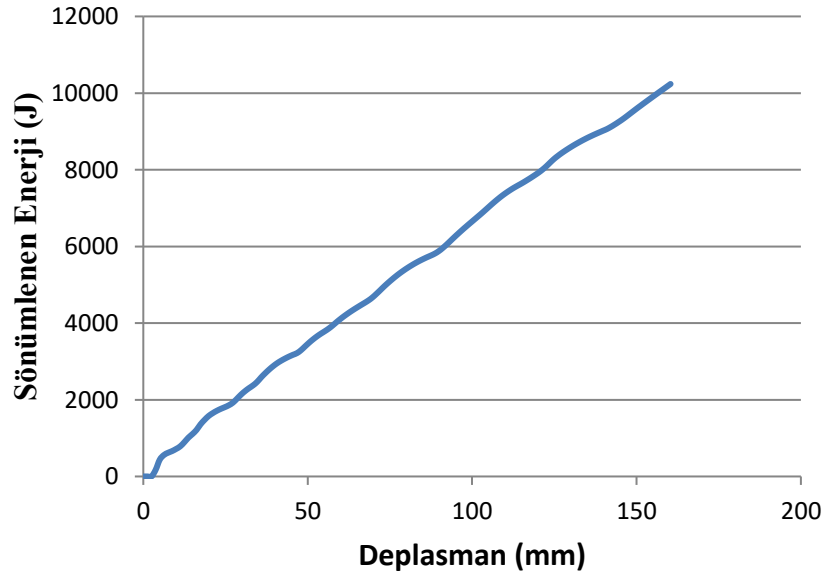


şekil 4.80 : AZ31B'den yapılmış koninin 5. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 1. modelinde maksimum kuvvet 198 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.81). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 10200 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.82).

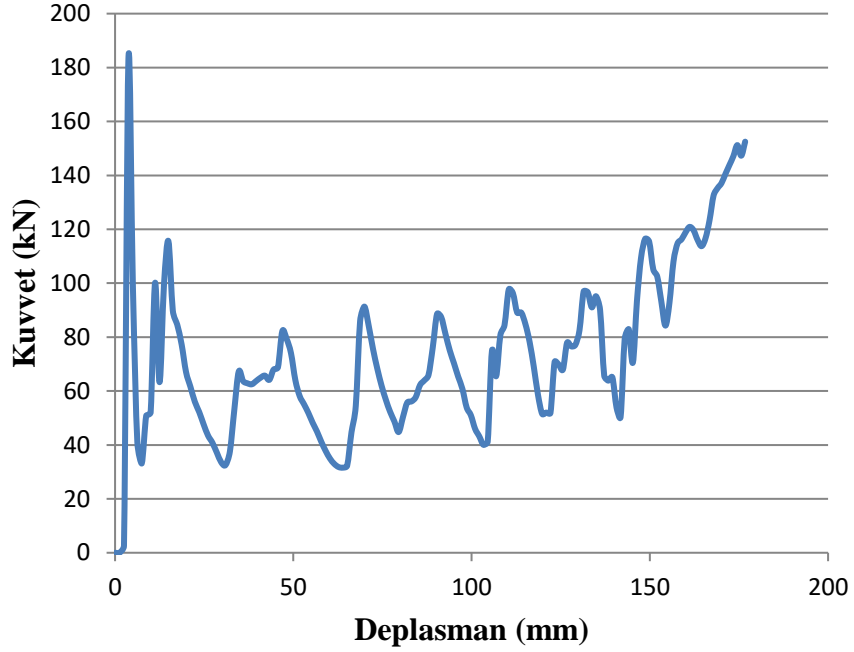


Şekil 4.81 : DP600'den yapılmış koninin 1. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

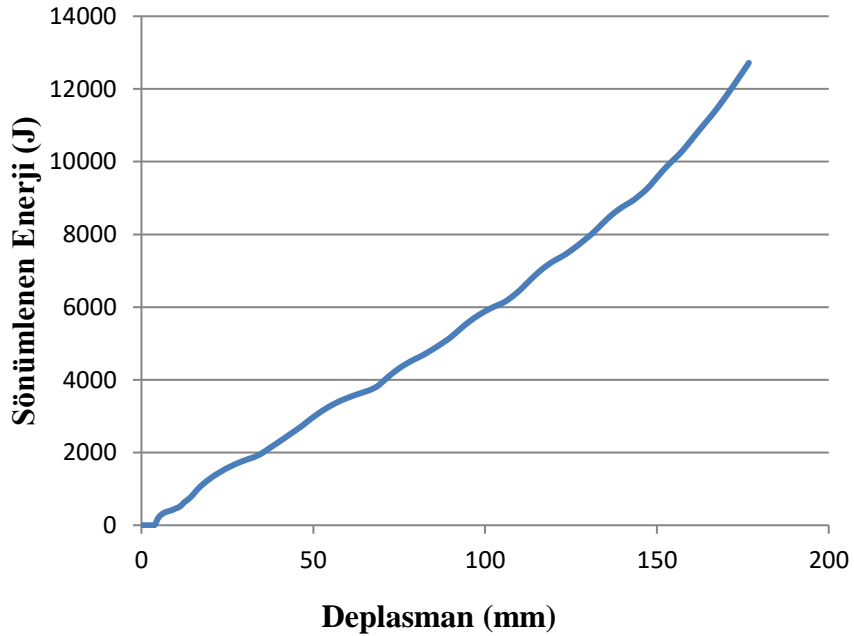


Şekil 4.82 : DP600'den yapılmış koninin 1. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 2. modelinde maksimum kuvvet 183 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.83). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 12700 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.84).

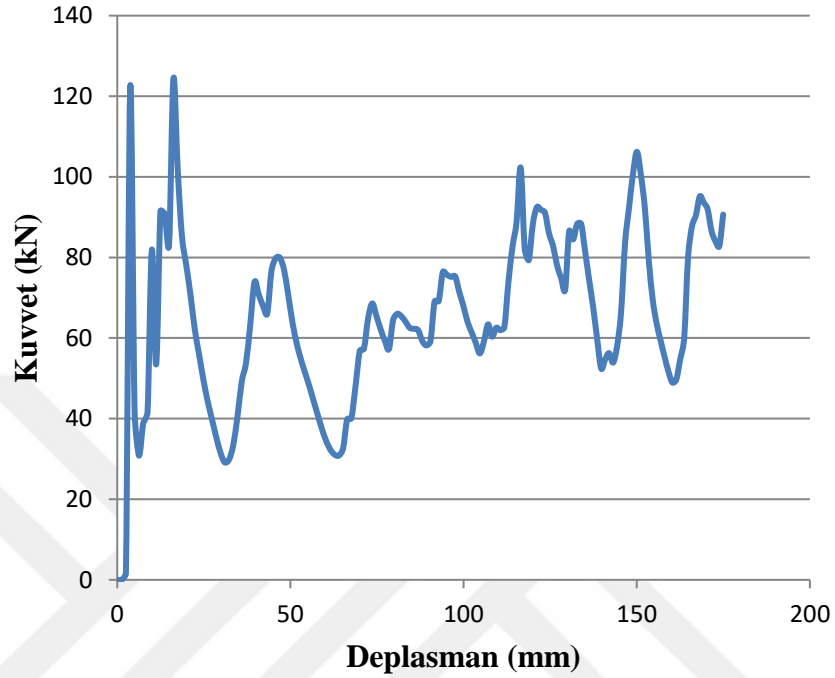


Şekil 4.83 : DP600'den yapılmış koninin 2. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

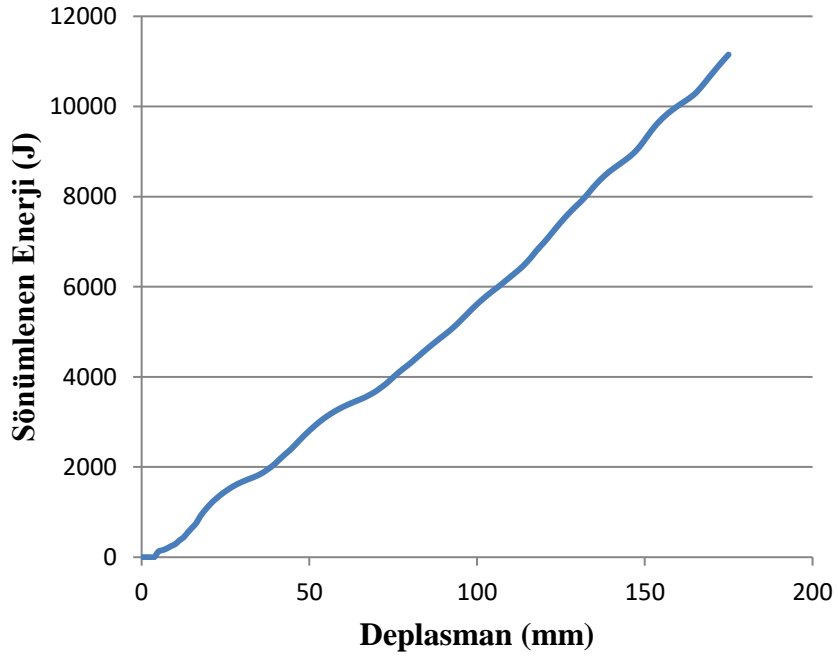


Şekil 4.84 : DP600'den yapılmış koninin 2. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 3. modelinde maksimum kuvvet 124 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.85). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 11200 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.86).

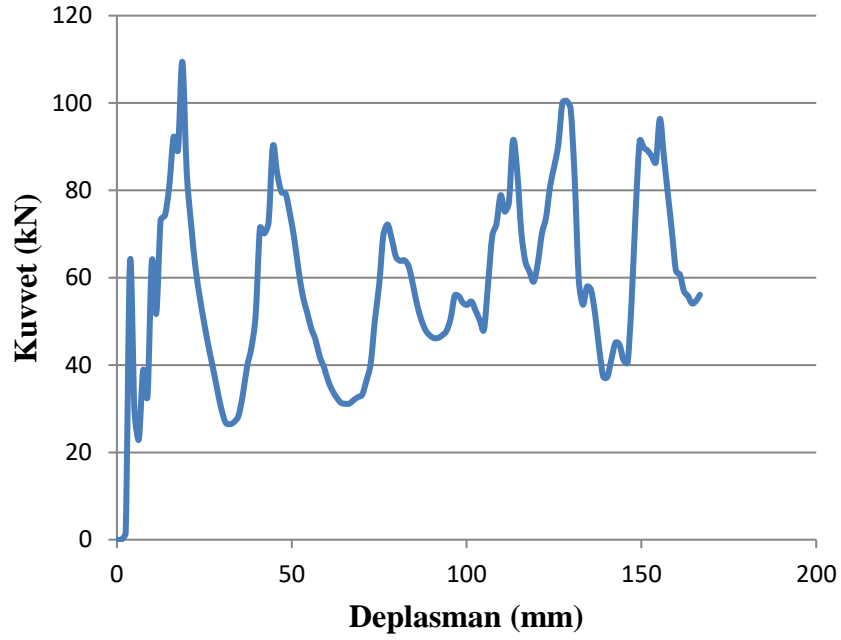


Şekil 4.85 : DP600'den yapılmış koninin 3. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

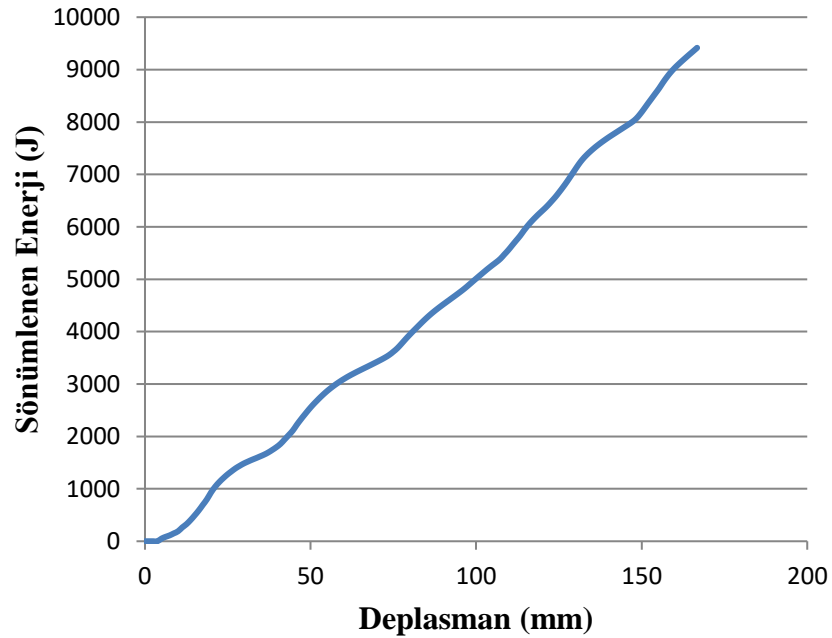


Şekil 4.86 : DP600'den yapılmış koninin 3. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 4. modelinde maksimum kuvvet 109 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.87). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 9420 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.88).

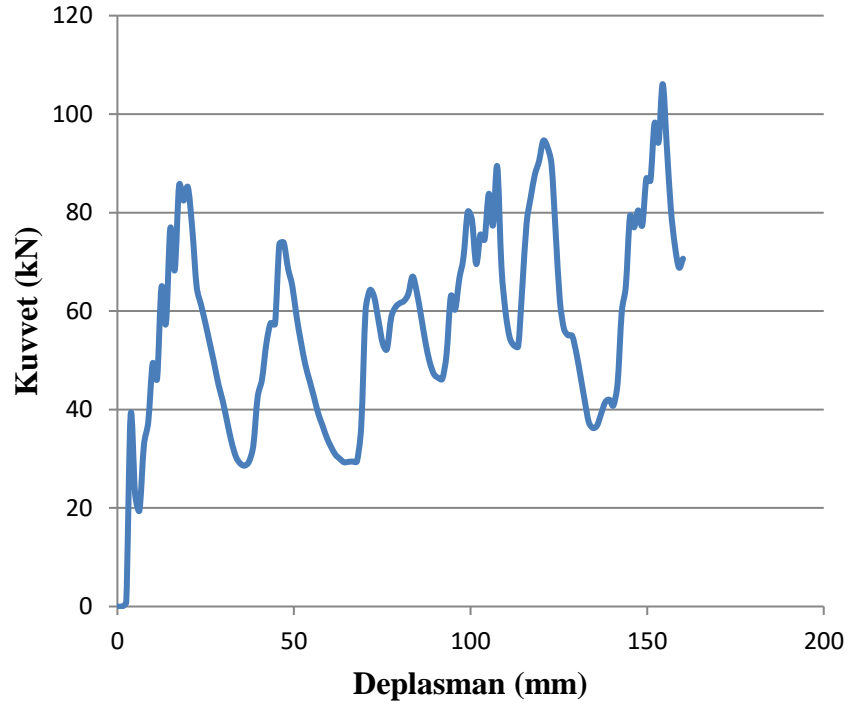


Şekil 4.87 : DP600'den yapılmış koninin 4. modelinin kuvvet-deplasman grafiği.

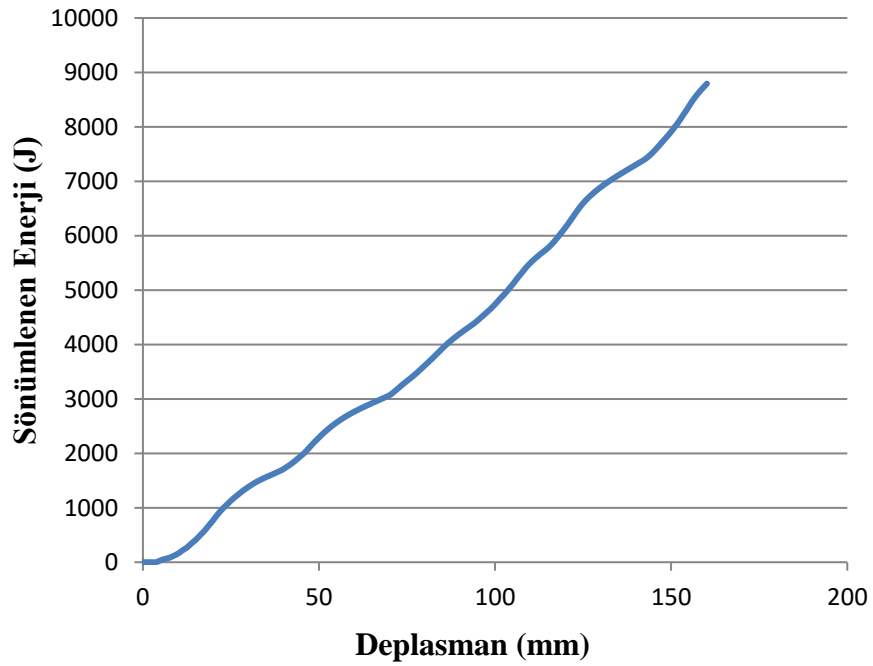


Şekil 4.88 : DP600'den yapılmış koninin 4. modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Çelik alaşımından yapılmış konik enerji sönümleyicinin 5. modelinde maksimum kuvvet 106 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.89). Maksimum kuvvet, ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Toplamda 8790 joule enerji sönümlenmiştir (Şekil 4.90).



Şekil 4.89 : DP600'den yapılmış koninin 5. modelinin kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.90 : DP600'den yapılmış koninin 5. Modelinin sönümlenen enerji-deplasman grafiği.

Analizler sonucunda en iyi sonucu veren modellerin ayrıntılı performans verileri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1: Enerji sönümleyicilerinin ayrıntılı performans verileri.

Malzeme	Ağırlık(kg)	Enerji Sönümleme Kapasitesi (J)	Özgül Enerji Emilimi(kJ/kg)	Model Tipi
DP600	0,81	10700	13,21	Silindir
AZ31B	0,18	4760	26,45	Silindir
Al 7075-T6	0,29	9250	31,89	Silindir

Çizelge 4.2 : Konik enerji sönümleyicilerin ayrıntılı performans verileri.

Malzeme	Ağırlık (kg)	Enerji Sönümleme Kapasitesi (J)	Özgül Enerji Emilimi(kJ/kg)	Model Tipi
DP600	0,81	12700	15,68	Model 2
AZ31B	0,18	6130	34,05	Model 2
Al 7075-T6	0,29	10600	36,55	Model 2

Analiz sonuçlarına göre enerji sönümleyicilerde üç malzeme içinde en iyi sonucu silindir kesitli modeller vermiştir (Çizelge 4.1). Bunun en önemli sebebi simetrik katlanma görülmesidir.

Yine analiz sonuçlarına göre alüminyum 36,55 kJ/kg ile en yüksek özgül enerji emilimine sahip malzeme olmuştur. Magnezyum alaşımının özgül enerji emilimi de alüminyum alaşımı gibi yüksek bir değerdir. Bu iki alaşımın özgül enerji emilimi, çelik alaşımının özgül enerji emiliminin iki katından daha fazladır.

Bu sonuç iki malzeme üzerine yapılacak kalınlık optimizasyonu çalışmalarının iyi sonuçlar verebileceğini göstermektedir.

Konik yapılar içinde en iyi sonuç 6,46 derecelik konik açısıyla 2. model ile elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Özgül enerji emilimi üç malzeme içinde artmıştır (Çizelge 4.2).

Yine en yüksek özgül enerji emilimi alüminyum malzemede gerçekleşmiştir. Özgül enerji emilimi sonuçları, konik yapılarda magnezyum ve alüminyum için kalınlık optimizasyonu çalışması yapılmasının olumlu bir netice vereceğini göstermektedir. Enerji sönümleme kapasitesinde, çelik alaşımı için %18,7, alüminyum alaşımı için %14,6, magnezyum alaşımı için %28,8'e varan artış gerçekleşmiştir.

Konik yapılarda, büyük açılar maksimum kuvvet değerini düşürdüğü görülmüştür. Bunun en önemli sebebi katlanma yönünün değişmesidir.

Çizelge 4.3 : Kirişlerin ayrıntılı performans verileri.

Malzeme	Ağırlık (kg)	Sönümlenen Enerji Miktarı (J)	Özgül Enerji Emilimi (kJ/kg)	Ana Modele Göre Ağırlıktaki Değişim	Ana Modele Göre Sönümlenen Enerjideki Değişim	Model Tipi
DP600	9.6	8370	0,87	%2,8	%23,6	Model 4
AZ31B	2.16	2830	1,31	%2,8	%22,5	Model 4
Al 7075T-6	3.38	5910	1,75	%1,2	%37,7	Model 1

Analiz sonuçlarına göre tampon kirişlerinde alüminyum alaşımı için en iyi sonuç 1. model ile elde edilirken, magnezyum ve çelik alaşımı için en iyi sonuç 4. model ile elde edilmiştir (Çizelge 4.3). Tampon kirişlerinde ana model üzerinde yapılan ufak oynamaların performans üzerinde ciddi değişiklikler yaptığı görülmüştür. Buna göre 1. model ana modele göre %1,2 daha ağır iken alüminyum alaşımının performansını %37,7 arttırmıştır, 4. model %2,8 daha ağır iken çelik alaşımında %23,6, magnezyum alaşımında ise %22,5 performans artışı sağlamıştır (Çizelge 4.3).

Analizlere göre tampon kirişleri içinde en yüksek özgül enerji emiline sahip alaşım 1,75 kJ/kg ile yine alüminyum alaşımıdır (Çizelge 4.3). Magnezyum alaşımının özgül enerji emilimi değerinde yüksek olması bu iki malzeme üzerine kalınlık optimizasyonu çalışması yapılması için teşvik edici bir nedendir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Otomobiller, günümüzde insan hayatının vazgeçilmez bir unsurudur. Her geçen yıl trafikteki araç sayısı artmaktadır ve bunun sonucu olarak trafik kazası sayısında artış görülmektedir. Bu sebeple, otomobil üreticileri yeni güvenlik ekipman ve sistemleri üzerine çalışmaktadır. Bu noktada en çok aktif güvenlik sistemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Çünkü en iyi kazadan korunma yolu kazanın gerçekleşmesini engellemektir. Bunun yanı sıra otomobil üreticileri var olan güvenlik ekipman ve sistemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmada otomobil pasif güvenlik sistemlerinden olan tampon sisteminin kirişi ve enerji sönümleyicisinin çarpışma performansı incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda silindir kesitin tüm enerji sönümleyicilerde en iyi sonucu verdiği görülmüştür, burdaki en büyük etken simetrik katlanmadır. Bunun yanı sıra koniklik açısının çarpışma performansını ciddi ölçüde etkilediği gözlenmiştir, büyük açıların maksimum kuvvet değerini düşürdüğü görülmüştür. Tampon kirişinde ise, model üzerinde yapılan ufak şekil değişikliklerinin performansı önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Malzemeye bağlı olarak %37,7'e varan performans artışı gözlenmiştir. Malzemeye bağlı olarak en iyi sonucu veren modellerin değiştiği görülmüştür. Analizler neticesinde alüminyum ve magnezyum alaşımlarının özgül enerji emilimlerinin, çelik alaşımına oranla çok daha büyük olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda alüminyum ve magnezyum alaşımlarının yapılacak optimizasyon çalışmaları ile otomobil üreticileri için alternatif malzeme olmaktan çıkıp ana malzeme statüsüne geçebileceği söylenebilir. Bu malzemelerin üretim, şekillendirme, birleştirme yöntemleri üzerine çalışmalar yapılabilir. Özellikle birleştirme yöntemi üzerine yapılacak çalışmalar önemli sonuçlar verebilir. İki alaşım türünün ergime sıcaklığının yakın derecelerde olması, kaynak teknolojisi açısından önemli bir unsurdur. Yapılacak çalışmalar ile çok yüksek mukavemetli hibrit yapılar üretilebilir.

KAYNAKLAR

Bolar, G., Joshi, S. N. (2014). 3D Finite Element Modeling of Thin-Wall Machining of Aluminum 7075-T6 Alloy, *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference*, Assam, Aralık 12-14.

Cheng, J. (2015). *Investigation of The Formability Enhancement of DP600 Steel Sheets in Electrohydraulic Die Forming* (Yüksek Lisans Tezi). University of Windsor, Ontario.

Choiron, M. A., Sudjito, Hidayati, N. A. (2016). Crash Energy Absorption of Two-Segment Crash Box with Holes Under Frontal Load. *Sustainable Energy and Advanced Materials*, 050009, 1-5. doi: 10.1063/1.4943484.

Ciubotariu, V. A. (2014). Analysis of The Collapse Behaviour Regarding TWB Crash-Boxes in Conjunction with The Construction Technique. *Applied Mechanics and Materials*, 657, 634-638. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.657.634.

Company Timeline. (t.y.). Erişim: 21 Mayıs 2018. <http://corporate.ford.com/history.html>

Gronostajski, Z., Kaczyński, P., Polak, S., Bartczak, B. (2018). Energy Absorption of Thin-Walled Profiles Made of AZ31 Magnesium Alloy. *Thin-Walled Structures*, 122, 491-500. doi:10.1016/j.tws.2017.10.035.

Hosseinzadeh, R., Shokrieh, M. M., Lessard, L. B. (2005). Parametric Study of Automotive Composite Bumper Beams Subjected to Low-Velocity Impacts. *Composite Structures*, 68(4), 419-427. doi:10.1016/j.compstruct.2004.04.008.

Hussain, N. N., Regalla, S. P., Rao, Y. V. D. (2017). Comparative Study of Trigger Configuration For Enhancement of Crashworthiness of Automobile Crash Box Subjected to Axial Impact Loading. *Procedia Engineering*, 173, 1390-1398. doi:10.1016/j.proeng.2016.12.198.

Hyperworks. (t.y.). RADIOSS 13.0 Tutorials Kullanım Kılavuzu. Altair Engineering Inc.

İnce, F., Türkmen, H. S., Mecitoğlu, Z., Uludağ, N., Durgun, İ., Altınok, E., Örenel, H. (2011). A Numerical and Experimental Study on The Impact Behavior of Box Structures. *Procedia Engineering*, 10, 1736-1741. doi:10.1016/j.proeng.2011.04.289.

Jones, T. L., Burkins, M. S., Gooch, W. A. (2007). An Analysis of Magnesium Alloy AZ31B-H24 For Ballistic Applications (Rapor No. ARL-TR-4327). Maryland : The U.S. Army Resarch Laboratory.

Karagöz, S. (2016). *Yüksek Performanslı Taşıt Güvenlik Sistemlerinin Geliştirilmesi* (Doktora Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Karagöz, S., Yıldız, A. R.** (2017). A Comparison of Recent Metaheuristic Algorithms For Crashworthiness Optimisation of Vehicle Thin-Walled Tubes Considering Sheet Metal Forming Effects. *International Journal of Vehicle Design*, 73, 179-188.
- Kim, H. C., Shin, D. K., Lee, J. J., Kwon, J. B.** (2014). Crashworthiness of Aluminum/CFRP Square Hollow Section Beam Under Axial Impact Loading For Crash Box Application. *Composite Structures*, 112, 1-10. doi:10.1016/j.compstruct.2014.01.042.
- Kim, H. Y., Choi, J. G., Kim, M. G.** (2008). Cumulative Impact Damage Evaluation of Automotive Aluminum Bumper Beam. *International Journal of Modern Physics B*, 22, 1584-1591. doi : 10.1142/S0217979208047110.
- Kleisner, V., Zemčík, R.** (2009). Analysis of Composite Car Bumper Reinforcement, *Applied and Computational Mechanics*, 3, 287-296.
- Li, J., Gao, G., Guan, W., Wang, S., Yu, Y.** (2018). Experimental and Numerical Investigations on The Energy Absorption of Shrink Circular Tube Under Quasi-Static Loading. *International Journal of Mechanical Sciences*, 137, 284-294. doi:10.1016/j.ijmecsci.2018.01.019.
- Li, Z., Yang, H., Hu, X., Wei, J., Han, Z.** (2018). Experimental Study on The Crush Behavior and Energy-Absorption Ability of Circular Magnesium Thin-Walled Tubes and the Comparison with Aluminum Tubes. *Engineering Structures*, 164, 1-13. doi:10.1016/j.engstruct.2018.02.083.
- Lou, X. Y., Li, M., Boger, R., Agnew, S., Wagoner, R.** (2007). Hardening Evolution of AZ31B Mg Sheet. *International Journal of Plasticity*, 23(1), 44-86. doi:10.1016/j.ijplas.2006.03.005.
- Marzbanrad, J., Alijanpour, M., Kiasat, M. S.** (2009). Design and Analysis of an Automotive Bumper Beam in Low-Speed Frontal Crashes. *Thin-Walled Structures*, 47(8-9), 902-911. doi:10.1016/j.tws.2009.02.007.
- Nursherida, J. M., Barkawi, S. B., Nuraini, A. A.** (2011). Parametric Study of Automotive Composite Bumper Beams Subjected to Frontal Impacts. *Key Engineering Materials*, 471-472, 484-489. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.484.
- Paralikas, I. N.** (2012). *Cold Roll Forming Process Energy Efficiency Optimisation* (Doktora Tezi). University of Patras, School of Engineering, Patras.
- Parrish, A., Rais-Rohani, M., Najafi, A.** (2012). Crashworthiness Optimisation of Vehicle Structures with Magnesium Alloy Parts. *International Journal of Crashworthiness*, 17(3), 259-281. doi:10.1080/13588265.2011.648518.
- Prabhakaran, S., Chinnarasu, K., Senthil Kumar, M.** (2012). Design and Fabrication of Composite Bumper for Light Passenger Vehicles, *International Journal of Modern Engineering Research*, 2, 2552-2556.
- Qureshi, O. M., Bertocchi, E.** (2012). Crash Behavior Of Thin-Walled Box Beams with Complex Sinusoidal Relief Patterns. *Thin-Walled Structures*, 53, 217-223. doi:10.1016/j.tws.2011.12.006.
- Qureshi, O. M., Bertocchi, E., Qaiser, Z., Aslam Awan, K.** (2014). Frequency Embedded Box Beam Crash Absorbers Under Oblique Impacts. *Thin-Walled Structures*, 75, 1-7. doi:10.1016/j.tws.2013.09.020.

- Shahbeyk, S., Vafai, A., Estekanchi, H. E.** (2004). A Parametric Study of The Bending Crash Performance of Empty and Metal Foam-Filled Box-Beams. *International Journal of Crashworthiness*, 9(6), 643-652. doi:10.1533/ijcr.2004.0318.
- Shinde, S. S.** (2014). Structural Optimization of Thin Walled Tubular Structure For Crashworthiness.(Yüksek Lisans Tezi). Purdue University. Indianapolis.
- Simon, P., Beggs, P. D.** (2010). A Numerical Performance Comparison of a Dual-Phase Steel and Aluminium Alloy Bumper Bar System. *International Journal of Crashworthiness*, 15(4), 425-442. doi:10.1080/13588261003696441.
- Steglich, D., Tian, X., Bohlen, J., Riekehr, S., Kashaev, N., Kainer, K. U., Huber, N.** (2015). Experimental and Numerical Crushing Analyses of Thin-Walled Magnesium Profiles. *International Journal of Crashworthiness*, 20(2), 177-190. doi:10.1080/13588265.2014.996319.
- Tai, Q., Zhang, X. Y.** (2012). Research and Application on Automotive Aluminum Bumper Based on Topology Optimization. *Applied Mechanics and Materials*, 189, 495-499. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.189.495.
- Tanlak, N., Sonmez, F. O.** (2014). Optimal Shape Design of Thin-Walled Tubes Under High-Velocity Axial Impact Loads. *Thin-Walled Structures*, 84, 302-312. doi:10.1016/j.tws.2014.07.003.
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2017). Kara Yolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2016. (24606). Ankara : Türkiye İstatistik Kurumu.
- Ulacia, I., Imbert, J., Salisbury, C. P., Arroyo, A., Hurtado, I., Worswick, M. J.** (2008). Electromagnetic Forming of AZ31B Magnesium Alloy Sheet: Experimental Work and Numerical Simulation, *3rd International Conference on High Speed Forming*, (ss. 191-200). Dortmund, Mart 11-12.
- Vandanapu, M. K., Pandu, R.** (2015). Design Optimization of Passenger Car Front Bumper, *International Journal of Science and Research*, 4, 1411-1417.
- Wang, B., Zhou, C.** (2017). The Imperfection-Sensitivity of Origami Crash Boxes. *International Journal of Mechanical Sciences*, 121, 58-66. doi:10.1016/j.ijmecsci.2016.11.027.
- Xiao, Z., Fang, J., Sun, G., Li, Q.** (2015). Crashworthiness Design For Functionally Graded Foam-Filled Bumper Beam. *Advances in Engineering Software*, 85, 81-95. doi:10.1016/j.advengsoft.2015.03.005.
- Yıldız, A. R., Demirci, E.** (2015). Yüksek Performanslı Enerji Yutucular ile Taşıt Çarpışma Güvenliğinin Geliştirilmesi, *Mühendis ve Makina*, 663, 40-45.
- Zarei, H., Kröger, M., Albertsen, H.** (2008). An Experimental and Numerical Crashworthiness Investigation of Thermoplastic Composite Crash Boxes. *Composite Structures*, 85(3), 245-257. doi:10.1016/j.compstruct.2007.10.028.
- Zarei, H. R., Kröger, M.** (2007). Crashworthiness Optimization of Empty and Filled Aluminum Crash Boxes. *International Journal of Crashworthiness*, 12(3), 255-264. doi:10.1080/13588260701441159.

Zhou, J., Wan, X. M., Li, Y., Zhao, Q. J. (2013). Optimal Design and Experimental Investigations of Aluminium Extrusion Profiles For Lightweight of Car Bumper. *Key Engineering Materials*, 585, 157-164. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.585.157.

Zhu, G., Li, S., Sun, G., Li, G., Li, Q. (2016). On Design of Graded Honeycomb Filler and Tubal Wall Thickness For Multiple Load Cases. *Thin-Walled Structures*, 109, 377-389. doi:10.1016/j.tws.2016.09.017.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Kıvanç TURAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.07.1991 Osmangazi
E-posta : m.kivancturan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2018, Bursa Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Taşıt Tampon Malzemesi Olarak Alüminyum Alaşımlarının Kullanılmasının Taşıt Çarpışma Performansına Etkisi, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18), 2018
- AL2024 ve AZ31 Hafif Metal Alaşımları ile DP600 Çeliğinin Enerji Sönümlenme Kapasitelerinin Araştırılması, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18), 2018