



**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sait Ozan YILMAZ

**İNCE SAÇLARDAN YAPILMIŞ
PRİZMATİK YAPILARIN ENERJİ EMİLİM
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE –2022

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İNCE SACLARDAN YAPILMIŞ PRİZMATİK YAPILARIN ENERJİ
EMİLİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Sait Ozan YILMAZ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
AĞUSTOS -2022**

TEZ ONAYI

İNCE SAÇLARDAN YAPILMIŞ PRİZMATİK YAPILARIN ENERJİ EMİLİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sait Ozan YILMAZ tarafından Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Seha TATLIER danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Seha TATLIER
Mekanik Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Volkan ARIKAN
Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Kerimcan ÇELEBİ
Mekanik Anabilim Dalı, ÇÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Sait Ozan YILMAZ



ÖZET

İNCE SACLARDAN YAPILMIŞ PRİZMATİK YAPILARIN ENERJİ EMİLİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Sait Ozan YILMAZ

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Seha TATLIER

AĞUSTOS, 2022, 64 sayfa

Bu çalışmada, araçların ön şase kısmında çarpışmalardan kaynaklı enerjiyi absorbe etmek için kullanılan farklı geometrilere sahip ince cidarlı alüminyum tüplerin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Farklı geometrilere sahip alüminyum tüplerin absorbe ettiği enerjiyi görmek için deneysel yöntemle basma deneyi ve teorik yöntemle analiz programından olan Abaqus programından simülasyon yapılmıştır. Deneysel yöntemle yapılan test sonuçlarından oluşturulan grafikler ile teorik deneyler sonucu elde edilen grafiklerden faydalanılarak farklı geometrilere sahip alüminyum tüplerin absorbe ettiği enerji miktarları hesaplanmıştır. Simülasyonlarda sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Gerçekte ve simülasyondan elde edilen grafikler birbirleriyle karşılaştırılmış olup, araçların kaza esnasında daha fazla enerji absorbe etmek için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İnce cidarlı tüpler, sonlu elemanlar yöntemi, absorbe edilen enerji miktarı, enerji sönümleme kapasitesi, ortalama çarpışma kuvveti.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF ENERGY ABSORPTION CHARACTERISTICS OF PRISMATIC STRUCTURES MADE OF THIN SHEET

Sait Ozan YILMAZ
M.Sc., Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Mehmet Seha TATLIER

AUGUST, 2022, 64 pages

In this study, a comparative analysis of thin-walled aluminum tubes with different geometries used to absorb the energy from collisions in the front chassis of the vehicles was made. In order to see the energy absorbed by aluminum tubes with different geometries, a compression test with experimental method and a simulation from the Abaqus program, which is one of the analysis program, were made with the theoretical method. The amount of energy absorbed by aluminum tubes with different geometries was calculated by using the graphs created from the test results with the experimental method and the graphs obtained as a result of the theoretical experiments. The finite element method was used in the simulations. Real and simulated graphs were compared with each other, and suggestions were made for vehicles to absorb more energy during an accident.

Key Words: Thin-walled tubes, finite element method, amount of energy absorbed, energy dissipation capacity, average collision force.



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi M. Seha Tatlıer'e, çalışmalarım sırasında sabır gösterdiği ve bana destek oldukları için babam Mehmet Yılmaz'a ve abim Kazım Burak Yılmaz'a, çalışmalarım sırasında ümit verdiği ve destek olduğu için iş arkadaşım Mehmet Berk Karademir'e, manevi desteklerinden dolayı arkadaşım Zeynep Tuğbanur Akarsu'ya, testler konusunda yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Cem Boğa'ya, program öğrenmeme yardımcı olan Dr. Fehime Hayal Geçit'e ve çalışmam sırasında küçük veya büyük yardımını esirgemeyen herkese çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT	i
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
1.GİRİŞ	1
1.1. Enerji Sönümleyici Yapılar	1
1.2. Enerji Sönümleyici Yapıların Tasarım Kriterleri	3
1.3. Çarpışma Dayanımı.....	4
1.4. Tampon Sistemleri	5
1.5. Enerji Sönümleyici Yapıların Çarpma Performansının Belirlenmesinde Kullanılan Parametreler	7
1.5.1. Çarpışma Dayanıklılığı Sabitleri.....	7
1.5.2. Enerji Absorbsiyonu.....	7
1.5.3. Ortalama Ezilme Kuvveti	7
1.5.4. Spesifik Enerji Absorbsiyonu (SEA)	8
1.5.5. Ezilme Kuvveti Verimliliği (CFE).....	8
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	9
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	14
3.1. Basma Testleri	14
4.TEORİK ÇALIŞMALAR	19
4.1. Kullanılan yazılımlar.....	19
4.1.1. Solidworks Programı	19
4.1.2. Abaqus Programı.....	20
4.2. Analiz Dosyalarının Hazırlanması	21
4.2.1. Tasarımın oluşturulması	21

4.2.2. Eleman yapısının oluşturulması	21
4.2.3. Analiz ortamının hazırlanması	31
5.BULGULAR VE TARTIŞMALAR	36
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR.....	622
ÖZGEÇMİŞ.....	64



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Alüminyum profillerin mekanik özellikleri.....	15
Çizelge 5.1. Dikdörtgen kesit profilin deneysel ve teorik sonuçları.....	54
Çizelge 5.2. Yuvarlak kesit profilin deneysel ve teorik sonuçları.....	55
Çizelge 5.3. Dikdörtgen kesit profilin spesifik enerji absorpsiyonu	56
Çizelge 5.4. Yuvarlak kesit profilin spesifik enerji absorpsiyonu.....	57
Çizelge 5.5. Kare kesitli profil, kare kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve kare kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu	58
Çizelge 5.6. Üçgen kesitli profil, üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu	58
Çizelge 5.7. Altıgen kesitli profil, altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu	58
Çizelge 5.8. Sekizgen kesitli profil, sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Volvo firmasına ait olan aracın iskelet yapısı ve enerji sönümleyici elemanlar [2]	6
Şekil 2.1. İnce cidarlı kare profile yapılmış basma testi [4]	9
Şekil 3.1. Basma testinin yapıldığı cihaz.....	14
Şekil 3.2. Basma testinde alüminyum profilinin sabit kalmasını ve kuvvetin eşit yayılmasını sağlayan rijit alt ve üst plaka.	15
Şekil 3.3. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki test	16
Şekil 3.4. Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki test	16
Şekil 3.5. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki test	16
Şekil 3.6. Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki test	17
Şekil 3.7. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki test	17
Şekil 3.8. Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki test.....	17
Şekil 3.9. Deneysel çalışmada kullanılan alüminyum tüplerin teknik resimleri	18
Şekil 4.1. Solidworks programı arayüzü	20
Şekil 4.2. Abaqus programı arayüzü	21
Şekil 4.3. Dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici yapı	22
Şekil 4.4. Yuvarlak kesitli enerji sönümleyici yapı	23
Şekil 4.5. Kare kesitli enerji sönümleyici yapı	23
Şekil 4.6. Kare kesitli ortarlardan desteklenmiş enerji sönümleyici yapı.....	24
Şekil 4.7. Kare kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapı.....	24
Şekil 4.8. Üçgen kesitli enerji sönümleyici yapı.....	25
Şekil 4.9. Üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş enerji sönümleyici yapı	25
Şekil 4.10. Üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapı	26
Şekil 4.11. Altıgen kesitli enerji sönümleyici yapı	26
Şekil 4.12. Altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş enerji sönümleyici yapı.....	27
Şekil 4.13. Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapı.....	27
Şekil 4.14. Sekizgen kesitli enerji sönümleyici yapı.....	28
Şekil 4.15. Sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş enerji sönümleyici yapı	28
Şekil 4.16. Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapı.....	29
Şekil 4.17. A-) Üçgen kesitli profil B-) Üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil C-) Üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profil D-)Kare	

kesitli profil E-)Kare kesitli ortarlardan desteklenmiş profil F-)Kare kesitli köşelerden desteklenmiş profil G-) Altıgen kesitli profil H-) Altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil İ-) Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profil J-) Sekizgen kesitli profil K-) Sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil L-) Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profil	30
Şekil 4.18. Dikdörtgen kesit profile ait analiz görüntüsü	31
Şekil 4.19. Yuvarlak kesit profile ait analiz görüntüsü	31
Şekil 4.20. Kare kesit profile ait analiz görüntüsü	32
Şekil 4.21. Kare kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü	32
Şekil 4.22. Kare kesitli köşelerden desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü	32
Şekil 4.23. Üçgen kesit profile ait analiz görüntüsü	33
Şekil 4.24. Üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü	33
Şekil 4.25. Üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü	33
Şekil 4.26. Altıgen kesit profile ait analiz görüntüsü	34
Şekil 4.27. Altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü	34
Şekil 4.28. Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü	34
Şekil 4.29. Sekizgen kesit profile ait analiz görüntüsü	35
Şekil 4.30. Sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü	35
Şekil 4.31. Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü ...	35
Şekil 5.1. Dikdörtgen 25 mm/dk test 1	36
Şekil 5.2. Dikdörtgen 25mm/min Test 2	37
Şekil 5.3. Dikdörtgen 25mm/min Test 3	37
Şekil 5.4. Yuvarlak 25 mm/dk test 1	38
Şekil 5.5. Yuvarlak 25 mm/dk test 2	38
Şekil 5.6. Yuvarlak 25 mm/dk test 3	39
Şekil 5.7. Dikdörtgen 50 mm/dk test 1	39
Şekil 5.8. Dikdörtgen 50 mm/dk test 2	40
Şekil 5.9. Dikdörtgen 50 mm/dk test 3	40
Şekil 5.10. Yuvarlak 50 mm/dk test 1	41
Şekil 5.11. Yuvarlak 50 mm/dk test 2	41
Şekil 5.12. Yuvarlak 50 mm/dk test 3	42
Şekil 5.13. Dikdörtgen 100 mm/dk test 1	42

Şekil 5.14. Dikdörtgen 100 mm/dk test 2.....	43
Şekil 5.15. Dikdörtgen 100 mm/dk test 3.....	43
Şekil 5.16. Dikdörtgen 100 mm/dk test 4.....	44
Şekil 5.17. Yuvarlak 100 mm/dk test 1	44
Şekil 5.18. Yuvarlak 100 mm/dk test 2	45
Şekil 5.19. Yuvarlak 100 mm/dk test 3	45
Şekil 5.20. Yuvarlak 100 mm/dk Test 4.....	46
Şekil 5.21. Dikdörtgen kesit profilin simülasyon sonuç grafiği	46
Şekil 5.22. Yuvarlak kesit profilin simülasyon sonuç grafiği	47
Şekil 5.23. Kare kesitli profilin simülasyon sonuç grafiği	47
Şekil 5.24. Kare kesit ortalarından desteklenmiş profilin simülasyon sonuç grafiği	48
Şekil 5.25. Kare kesitli köşelerden desteklenmiş profilin simülasyon sonuç grafiği.....	48
Şekil 5.26. Üçgen kesitli profilin simülasyon sonuç grafiği.....	49
Şekil 5.27. Üçgen kesitli ortalarından desteklenmiş profilin simülasyon sonuç grafiği.....	49
Şekil 5.28. Üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin simülasyon sonuç grafiği.....	50
Şekil 5.29. Altıgen kesitli profilin simülasyon sonuç grafiği	50
Şekil 5.30. Altıgen kesitli ortalarından desteklenmiş profilin simülasyon grafiği	51
Şekil 5.31. Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin simülasyon grafiği	51
Şekil 5.32. Sekizgen kesitli profilin simülasyon sonuç grafiği	52
Şekil 5.33. Sekizgen kesitli ortalarından desteklenmiş profilin simülasyon grafiği	52
Şekil 5.34. Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin simülasyon grafiği	53

SİMGELER ve KISALTMALAR

c	: Genişlik (mm)
CAD	: Computer aided design
CAE	: Computer aided engineering
CFE	: Ezilme kuvveti verimliliği (-)
EA	: Enerji absorpsiyonu (J)
F	: Ezilme yükü (N)
h	: Yükseklik (mm)
m	: Kütle (kg)
P_m	: Ortalama ezilme kuvveti (N)
P_{max}	: Maksimum tepki kuvveti (N)
SEA	: Spesifik enerji absorpsiyonu (J/kg)
δ	: Yer değiştirme (mm)

1.GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada bir yerden bir yere yük taşıma amacıyla insanoğlunun ihtiyaçları doğrultusunda araç kullanımı hızla artmaktadır. Araç kullanımının hızla artması sonucu maddi ve manevi kayıplar da hızla artmaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2020 yılına ait verilerine göre ülkemiz karayolu ağında 983.808 adet trafik kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların 833 bin 533 adedi maddi hasarlı, 150 bin 275 adedi ise ölümlü yaralanmalı trafik kazasıdır. Türkiye'de 2020 yılında meydana gelen 150 bin 275 adet ölümlü ve yaralanmalı trafik kazası sonucunda 2 bin 197 kişi kaza yerinde, 2 bin 669 kişi ise yaralanıp sağlık kuruluşlarına sevk edildikten sonra kazanın sebep ve tesiriyle 30 gün içinde hayatını kaybetmiştir [1].

Türkiye İstatistik Kurumu'nun açıklamış olduğu verilere göre araçların ve araç içindeki kişi veya kişilerin kaza durumundan en az etkilenmesi için çarpışma güvenliğini en ön planda tutulmasını göstermektedir.

1.1. Enerji Sönümleyici Yapılar

Geçmişte ve günümüzde enerji sönümleyici yapılar denizcilik, havacılık, otomotiv ve raylı sistemler gibi birçok yerde güvenlik ekipmanı adı altında kullanılmaktadır. Kullanılan bu yapılar, kinetik enerjiyi başka bir enerjiye dönüştürerek sönümlemektedir. Enerji sönümleyici yapıların kullanım amacı çarpışma anında çarpışma enerjisini sönümleyerek aracın ve araç içerisindeki yolcuların olası çarpışma enerjisinden minimum düzeyde etkilenmesini sağlamayı amaçlamaktadır.

Enerji sönümleyici yapılarda çarpışma enerjisi plastik şekil değiştirme yardımıyla sönümlenebilmektedir. Bulunan kinetik enerjinin sönümlenmesi, plastik şekil değiştirme sırasında malzemenin kalıcı şekil değiştirmesiyle mümkün olup plastik şekil değiştirme enerjisine dönüşmesiyle gerçekleşmektedir.

Enerji sönümleyici yapılar, mühendislik uygulamalarında genellikle ince cidarlı tüpler kullanılmaktadır. İnce cidarlı tüplerin kullanılma amacı mühendislik ve endüstriyel anlamda hafif olması ve bunun yanı sıra yüksek enerji sönümleme, yüksek yük taşıma kapasitesi ve düşük üretim maliyeti sebebiyle kullanımı günden güne artış göstermektedir. İnce cidarlı tüpler, dairesel, kare, dikdörtgen, gibi farklı şekillerde ve alüminyum, çelik gibi sünek yapılı malzemelerden oluşmaktadır. Kullanılan tüpler arasında en yaygın kullanılanı ise dairesel ve kare kesitli tüplerdir. Kullanılan diğer tüpler ise konik kesitli, s şekilli tüpler, kompozit malzemelerden üretilen tüpler ve köpük dolgulu tüpler de enerji sönümleyici olarak kullanılan ince cidarlı tüpler kategorisine girmektedir. İnce cidarlı tüpler arasında kullanımı en yaygın olan bir diğer tüpler ise metalik silindirik tüpler; yüksek enerji sönümleme kabiliyeti, hafiflik, düşük maliyet ve kolay ulaşılabilirlik açısından oldukça yaygındır. Bunun yanı sıra çarpma anında meydana gelen maksimum çarpma kuvveti bir diğer adıyla ilk pik kuvveti, araç içerisindeki yolculara ilk anda maksimum etki etmekte olup, ciddi yaralanmalara neden olmaktadır. Bu nedenle çarpışma kuvveti bir diğer adıyla ilk pik kuvveti değerinin düşürülmesi çarpışma güvenliği çalışmalarında ilk amaçlardan biri haline gelmektedir. Yapılan çalışmalarda bu sebepten dolayı araştırmacılar çarpışma kuvvetinin düşürülmesi için ince cidarlı tüplerden meydana gelen yapılar geliştirmektedir. Kullanılan tüplere örnek olarak, değişken cidar kalınlıklı, oluklu ve çentikli tüpler verilebilir. Kullanılan tüplerdeki oluk ve çentik deformasyon oluşumunu tetikler ve maksimum çarpma kuvvetini azaltır.

Son yıllarda süregelen egzoz emisyonlarının küresel ısınma ve hava kirliliğine sebep olmasından dolayı araç iskeletini oluşturan yapıların ağırlığı dikkate alınmakta olup, araç iskeletini oluşturan yapıların ağırlıklarının azaltılması yeni bir hedef haline gelmiştir. Çarpışma güvenliğinin sağlanması nedeniyle araştırmacılar, hafif ve yüksek enerji sönümleyebilen ince cidarlı tüpler geliştirmek için çalışma yürütmüşlerdir. Dolayısıyla bu amaç doğrultusunda tüp ağırlığı arttırılmadan tüp boşluğu polimerik köpük ve metalik malzemelerle doldurulmuştur.

1.2. Enerji Sönümleyici Yapıların Tasarım Kriterleri

Enerji sönümleyici yapılar kullanıldıkları alanlara göre farklı karakteristik özelliklere sahip olmaktadır. Enerji sönümleyici yapılar bu nedenle çalışma koşulları, çalışma ortamı ve kullanım amacı göz önünde tutularak tasarlanmaktadır. Ancak ortak amaç farklı performans özelliklerine sahip olması istenen bu yapıların aynı zamanda her koşulda üzerine etki eden kinetik enerjiyi kendi içerisinde sönümlemesidir.

Enerji sönümleyici yapılarda enerji dönüşümünün her zaman tersinmez olması gerekir. Bu sebeple de ince cidarlı tüpler çarpışma sırasında kinetik enerjiyi tersinmez olarak sönümler. Enerji sönümleyici yapılar üzerlerine etki eden kinetik enerjiyi plastik şekil değiştirme enerjisi yardımıyla plastik deformasyona uğrayarak tersinmez bir şekilde sönümler.

Çarpışma sırasında meydana gelen pik kuvvetinin belirli bir değeri aşmaması gerekir. Bir diğer deyişle enerji sönümleyici yapıların tasarım sırasında dikkat edilmesi gereken unsur, maksimum çarpma kuvvetinin belli bir sınır değerinin altında tutulmasıdır. Çarpma esnasında çarpma kuvvetinin sınır değerinin üzerinde olması araç içerisindeki yolcuların ciddi yaralanmalarına sebebiyet vermektedir. Araştırmacılara göre maksimum çarpma kuvveti önemli bir kriterdir.

Enerji sönümlemesi sırasında önce cidarlı tüplerin strok uzunluğu araç ve yolcu güvenliği açısından önemli kriterlerdir. Belirli bir kuvvet değeri altında sönümlenen enerji miktarı arttıkça enerji sönümleyici yapıdaki yer değiştirme de büyük olacaktır. Bu durum araç içi yolcu güvenliğinin azalmasına neden olmaktadır.

Enerji sönümleyici yapılarda kullanılan ince cidarlı tüplerin hem düşük ağırlıkta hem de yüksek enerji sönümleme kabiliyetinde olması istenmektedir. Araştırmacılara göre son yıllarda araç ağırlıkları çevre ve hava kirliliği, yakıt tasarrufu gibi konularla ilişkilendirilmiştir. Çarpışma bölgesinde kullanılan enerji sönümleyici yapıların hafif olması birim kütle başına sönümlenen enerji miktarının da artmasına neden olmaktadır. Bu sayede hem araç hafifletilmiş olup hem de enerji sönümleme kabiliyeti arttırılmış olur.

Enerji sönümleyici yapıların çok geniş kullanım alanlarına sahip olması nedeniyle üretim maliyetlerinin düşük olması istenmektedir. Dünya çapında ulaşım ve nakliye amacıyla kullanılan taşıt sayısındaki artış dikkate alındığında enerji sönümleyici yapılara ait hem malzeme hem de üretim ve montaj maliyetlerindeki artış kolayca anlaşılmaktadır. Araç parçaları ve yedek parça üreticileri arasındaki rekabet nedeniyle enerji sönümleyicilerinin maliyeti önemli bir tasarım parametresi haline gelmiştir.

1.3. Çarpışma Dayanımı

Çarpışma dayanımı, çarpışma sırasında yolcuları ve yapıyı koruma yeteneğini ifade etmektedir. Örnek verilecek olunursa bir kaza sırasında sürücü ve yolcuların maruz kaldığı çarpışma şiddeti ve meydana gelen hasarın az olması, çarpışma dayanımının oldukça iyi olduğu anlamına gelmektedir. Bir kaza anında aşağıda belirtilen olaylar yaşanabilmektedir:

- İnsanların ve diğer canlıların zarar görmesi
- Olay anında bulunan aracın zarar görmesi
- Araçta taşınan kargonun zarar görmesi
- Çevrede bulunan yapıların zarar görmesi

Son yıllarda otomotiv sektöründe üreticiler, artan rekabet ve güvenlik parametreleri nedeniyle araç çarpışma dayanımını arttırmak, var olan sistemleri geliştirmek için araştırmalar yapılmaktadır. Taşıtlarda bulunan güvenlik sistemleri ikiye ayrılmaktadır. Bunlar pasif güvenlik sistemleri ve aktif güvenlik sistemleridir.

Aktif güvenlik sistemlerine örnek verilecek olunursa kilitleyici önleyici sistem, çekiç kontrol sistemleri ve park sensörleri aktif güvenlik sistemlerine örnek olarak verilmektedir. Aktif güvenlik sistemleri kaza olma olasılığını azaltan güvenlik sistemleridir. Kazadan önce bu güvenlik sistemleri devreye girerek kazanın engellenmesini sağlar. Pasif güvenlik sistemlerine örnek olarak hava yastığı, emniyet kemeri, yan, ön ve arka bileşenlerinde kullanılan ince cidarlı yapılar verilebilir. Pasif

güvenlik sistemleri, aktif güvenlik sistemlerinin yanı sıra kaza sonrası devreye girer ve yolcuların kazayı minimum hasarla atlamaı sağlanmaktadır. Kaza sırasında aracın arkasında bulunan ince cidarlar, aracın sahip olduğu kinetik enerjiyi plastik deformasyona uğrayarak emer. Pasif güvenlik sistemleri sınıfında yer alan tampon ve çarpışma kutusu gibi ince cidarlı yapılar feda edilerek aracın çarpışma dayanımını arttırabilir.

Enerji emici yapıların geometrisi ve malzeme seçiminin kullanım alanlarına göre uygun olması gerekmektedir. Geometrisi ve malzeme seçimi kullanım alanlarına göre her ne kadar farklılık gösterse de kinetik enerjiyi emmesi gereken enerji emicinin amacına uygun olarak seçilmesi ortak amaçlar arasında yer almaktadır. Bu sebeple bazı kurallar tüm enerji emiciler için ortaktır ve aynı amaca göre kullanılmaktadır.

1.4. Tampon Sistemleri

Tampon otomobillerin ön ve arka aksamına yerleştirilmiş ve amacı otomobili korumak olan parçalardır. Deformasyon alanları oldukça geniş olan tamponlar, kaza esnasında ortaya çıkan etkileri azaltır ve tasarım esnasında da kaza anında ortaya çıkan kuvvetlerin emmesi ve deforme olması yönünde çalışmalar yapılmıştır. Tamponlarda kullanılan malzemeler genellikle çelik, alüminyum, plastik ve kauçuk yapıllı malzemelerdir.

Tampon sistemleri aşağıdaki yapılardan meydana gelmektedir:

- Kaplama
- Tampon kirişı
- Enerji sönümleyici



Şekil 1.1. Volvo firmasına ait olan aracın iskelet yapısı ve enerji sönümleyici elemanlar [2]

Kaplama denilen yapı tamamen tasarım ve görsellik ön planda olup, görsellik ön planda tutulmaktadır. Çok yüksek enerji emilimi gerçekleştirmemektedir. Tampon kirişi, kaplamanın iç kısmında bulunmaktadır. Kaplamaya destek olmakla birlikte enerji sönümleyici ile kaplamayı birbirine bağlamaktır. Enerji sönümleyici yapılar, tampon kirişi ile şase arasında bulunmaktadır. Amacı kaza esnasında ortaya çıkan kinetik enerjiyi sönümleyip şaseye gitmesini engellemektir. Pasif güvenlik ekipmanı sınıfında yer almaktadır.

Günümüzde tampon sistemleri birçok yerde kullanılmaktadır:

- Plastik kaplı ve kiriş takviyeli
- Metal dış tampon
- Mekanik enerji sönümleyicili, plastik kaplı ve kiriş takviyeli
- Plastik kaplı, kiriş takviyeli, köpük ya da petek enerji sönümleyici takviyeli

Tampon sistemlerinin performansını ve kullanılabilirliğini test etmek adına belli başlı ölçütler vardır. Bunların başında maksimum çarpışma kuvveti, enerji sönümleme kapasitesi, spesifik enerji absorpsiyonu, ortalama çarpışma kuvveti ve çarpışma kuvveti verimidir.

1.5. Enerji Sönümleyici Yapıların Çarpma Performansının Belirlenmesinde Kullanılan Parametreler

1.5.1. Çarpışma Dayanıklılığı Sabitleri

Tüm deneylerin standart yük altındaki yer değiştirme eğrilerinden, çarpışmaya dayanıklılık ve korelasyonunu belirlemek için elde edilen sonuçlardan; enerji absorpsiyonu (EA), ortalama ezilme kuvveti (P_m), spesifik enerji absorpsiyonu (SEA), maksimum tepki kuvveti (P_{max}) ve ezilme kuvveti verimliliği (CFE) gibi oldukça önemli sabitler türetilmiştir.

1.5.2. Enerji Absorpsiyonu

Enerji emilimi (EE), çarpışmaya dayanıklılığın gücünü ölçen ana unsurdur. Kuvvet-yer değiştirme eğrisinin altındaki alan toplam enerji emilimini verir. Alternatif olarak, bileşenin maksimum iç enerjisi de enerji absorpsiyonu olarak kabul edilebilir. Analitik olarak bu sabit, denklem (1.1) 'deki bağlantı kullanılarak hesaplanabilir:

$$EA = \int_0^d F(\delta) d\delta \quad (1.1)$$

Burada; d, ezilme miktarı, δ yer değiştirme ve F ezilme yüküdür [3].

1.5.3. Ortalama Ezilme Kuvveti

Ortalama ezilme kuvveti (P_m), enerji absorpsiyonu (EA) ile maksimum yer değiştirme δ arasındaki oran olarak tanımlanabilir. Denklem (1.2) ortalama ezilme kuvvetini göstermektedir:

$$P_m = \frac{EA}{\delta} \quad (1.2)$$

Ortalama ezilme kuvveti (P_m), bir yapının toplam enerji emme kapasitesini belirler [3].

1.5.4. Spesifik Enerji Absorbsiyonu (SEA)

Test numunelerindeki geometri veya malzeme uyumsuzluğunu incelemek için kütlece dengeli toplam enerji absorpsiyonu gerekir. Bunun için SEA parametresini kullanılır. Daha büyük SEA değeri, çarpışma kutusunun daha hafif olabileceğini gösterir. Spesifik enerji absorpsiyonu (SEA), Denklem (1.3) kullanılarak formülize edilebilir:

$$SEA = \frac{EA}{m} \quad (1.3)$$

Burada m numunenin kütlesidir. Daha yüksek SEA, kütleye göre çarpma kutusunun daha iyi enerji emme kapasitesine yol açar [3].

1.5.5. Ezilme Kuvveti Verimliliği (CFE)

Bir yapının ezilme kuvveti verimliliği (CFE), yapısal bileşenlerin çarpışmaya dayanıklılık kabiliyetini gösteren temel göstergedir. CFE parametresi, ortalama ezilme kuvveti ile maksimum tepe kuvveti arasındaki oran olarak tanımlanır.

$$CFE = \frac{P_m}{P_{mak.}} \quad (1.4)$$

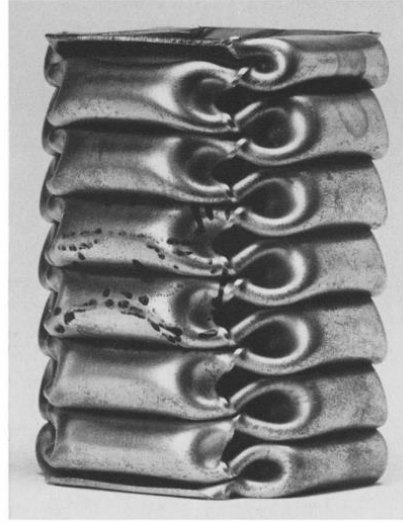
burada P_m ve P_{mak} sırasıyla ortalama ezilme kuvveti ve tepe kuvvetidir. CFE, ezilme sırasında eksenel yön boyunca uygulanan kuvvetin değişmez davranışını yansıtır. Bu nedenle, daha yüksek CFE, daha ideal bir enerji absorpsiyonu olarak tanımlanabilir. Ayrıca, CFE'nin yüksek değeri, kuvvet - yer değiştirme eğrisindeki davranışın ve daha az gürültünün olduğunu gösterir. Bu durumda yolcuların yaralanma ihtimalinin daha az olduğu söylenebilir [3].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Son yıllardaki nakliye ve yük taşımacılığının artmasıyla, kaza oranları da buna bağlı olarak artmıştır. Araştırmacılar kazalardaki ölüm oranını azaltmak amacıyla araçların ön kısmında bulunan, çarpışma anında enerjiyi absorbe edecek ince cidarlı alüminyum tüplerin çarpışma performanslarını incelemişlerdir. Bu bölümde geçmişten bugüne kadar yapılan çarpışma performansı ile ilgili çalışmaları kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır.

Geçmiş yıllarda analiz programlarının, sonlu elemanlar yönteminin ve teknolojinin gelişmediği dönemlerde çalışmalar daha çok deneysel olarak ilerlemiştir.

Abramowicz ve ar. [4] farklı enine kesitlere sahip (c/h) ve çeşitli uzunluklarda ince cidarlı kare çelik borular üzerinde yaptıkları testlerde c/h parametresinin farklı aralıkları için dört deformasyon modunu öngörmüşlerdir.



Şekil 2.1. İnce cidarlı kare profile yapılmış basma testi [4]

Daneshi [5], yük yer değiştirme davranışının tekdüzeliğini geliştirmek ve tüplerin enerji absorpsiyon kapasitesini tahmin etmek amacıyla dairesel oluklar içeren ince cidarlı çelik boruların aksenal ezilme davranışını ve çarpmaya dayanıklılık özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Sonuçlar yük yer değiştirme eğrilerinin ve

boruların eksenel ezilmesi tarafından absorbe edilen enerjinin, oluklar arasındaki mesafeleri değiştirerek kontrol edilebileceğini göstermektedir.

Adachi [6], asimetrik eksenli veya asimetrik eksenli olmayan kırma modunu oluşturmak için nervürler arasında kritik bir mesafe bulunduğunu ve silindir boyutundan bağımsız olarak simetrik eksenli kırışıkların dalga boyunun iki katından fazla olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada simetrik eksenli modların ortalama kırma kuvvetlerinin simetrik eksenli olmayan modların ortalama kırma modlarından yaklaşık 1,3 kat daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Poonaya ve ark. [7] tarafından bükülmeye maruz kalan ince cidarlı dairesel borunun kapalı formda çözümünü geliştirmek üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yaptıkları çalışmada, rijit bir plastik mekanizma analizine ve hız alanı cinsinden enerji dağılma hızına dayanan bir model kullanılmıştır. Çökme modelleri, her biri uzunlamasına boru boyunca dört hareketli, menteşe ve dört eğik menteşe hattından oluşan, deforme olmuş enine kesiti içerir. Bükülmeye maruz kalan ince cidarlı dairesel borunun çökme davranışı için 3 faz olduğu varsayılmaktadır; elastik davranış, ovalleşme platosu ve yapısal çökme.

Mirfendereski ve ark. [8]'lerinin yaptıkları çalışmada ince cidarlı boruların statik ve dinamik yükleme altında ezilme davranışı incelenmiştir. Boş ince cidarlı tüp için bir sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Boş borular için, konik taraf sayısı arttıkça ilk tepe yükü azaldığı gözlemlenmiştir. Hem statik hem de dinamik yüklemelerde eğik kenar sayısı arttırılarak ezilme kuvveti verimliliği de arttırılmıştır. Köpük dolgu borular için, önce tepe yükünün arttığı, eğik kenarların sayısı arttıkça azalmaya başladığı rapor edilmiştir.

Kim ve Wierzbicki [9], çift eksenli bükülmeye maruz kalan ince cidarlı prizmatik kirişlerin dönme tepkisini incelemiştir. Kare ve dikdörtgen kesitli kirişler, 40°'ye kadar menteşe dönüşü ile manivela bükülmesine maruz bırakılmıştır. Düzlemsel eğilme çöküşündeki moment dönüşünün genel özellikleri çift eksenli eğilme çöküşünde de gözlemlenmiştir. Momentin burkulma noktasına kadar arttığı ve bükülme ilerledikçe düştüğü rapor edilmiştir.

Alavi ve ark. [10], çeşitli kesit şekillerine sahip (dairesel, kare, dikdörtgen, altıgen, üçgen, piramidal ve konik) ince cidarlı boruların deformasyonları ve enerji absorpsiyon kapasitelerini hem deneysel hem de teorik olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada kesit geometrisinin enerji absorpsiyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Dairesel boru, incelenen materyaller arasında en fazla enerji absorpsiyon kapasitesine ve ortalama kuvvete sahip olduğu gözlemlenmiştir. Darbe olaylarında maksimum kuvvet söz konusu olduğundan, düzgün yük ve yer değiştirme eğrileri ve dolayısıyla maksimum ve ortalama kuvvetler arasında daha fazla fark olması nedeniyle piramidal ve konik boruların kullanılması tavsiye edilmiştir. Silindirik borular için birim kütle başına emilen enerjinin maksimum olduğu belirtilmiştir. Düzgün çokgen kesitli numuneler için kenar sayısı ne kadar düşükse, enerji absorpsiyon kapasitesinin o kadar düşük olduğu gözlemlenmiş olup bu özelliğin üçgen kesit için en küçük değere sahip olduğu rapor edilmiştir. Tüp kalınlıklarının 1 mm'den 1,5 mm'ye değiştirilmesi enerji absorpsiyonlarının sırasını ve maximum ve ortalama yükünü etkilediği gözlemlenmiştir.

Hou ve ark. [11] yaptıkları çalışmada bir araç gövdesinin çarpmaya karşı dayanıklılığını arttırmak için çarpışmaya dayanıklılık kriterleri ile yeni bir ince cidarlı hücresel konfigürasyonu optimize etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan karşılaştırmalarda ortogonal formun diğer formlara göre dayanıklılık açısından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Alavi [12], alüminyumdan yapılmış basit ve çok hücreli ince cidarlı boru, üçgen, kare, altıgen ve sekizgen kesitler ile yarı statik yüklemeye tabi tutmuştur ve deneysel sonuçlar sayısal simülasyonlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar çok hücreli bölümlerin enerji absorpsiyon kapasitelerinin basit bölümlerden daha büyük olduğunu göstermiştir. Özellikle üçgen geometri için çok hücreli bölümlerin basit bölümlere kıyasla daha büyük SAE'ye sahip olduğu rapor edilmiştir.

Tanlak ve ark. [13] şekil optimizasyonu ile eksenel darbe yükleri altında ince cidarlı boruların çarpışma dayanıklılığını maksimize etmek amacıyla çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Kompozit bir iskeletle güçlendirilmiş dairesel bir alüminyum borunun ve yarı statik eksenel ezilme yüküne maruz kalan alüminyum köpüklerin çarpışmaya dayanıklılık özellikleri Zhu ve ark [14]'lerinin yaptıkları çalışmada araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen tasarımın en iyi enerji absorpsiyon özellikleri sunduğunu ve boş tüpe kıyasla spesifik enerji absorpsiyonunun %32 arttığını ortaya koymuştur. Tüp kalınlığının yapısal optimizasyon için bir temel sağlayan çarpışma dayanıklılığını etkilemede daha önemli olduğu bulunmuştur.

Beytüt ve ark. [15] şekillendirme geçmişi dikkate alınarak, nokta kaynaklı eliptik ince cidarlı yapıların çarpışma dayanıklılığını sonlu elemanlar yöntemi ile dinamik eksenel yük altında sayısal olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, şekillendirme geçmişinin tüpün çarpışmaya dayanıklılığı üzerinde bir etkisi olduğunu göstermiştir. Tüpe eşlenen derin çökme sonuçları ile enerji emilimi % 5,128 ve tepe kırma kuvveti % 3,614 azalmıştır.

Murat Altın [16] yaptığı çalışmada değişik geometrik şekillere sahip (kare ve dikdörtgen) enerji sönümleme tasarımlarının performanslarını farklı açılardaki yüklerde sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Elde edilen verilere dayanarak dairesel kesitli geometriye sahip enerji sönümleyicinin daha yüksek performans sağladığı gözlemlenmiştir.

Rahim ve ark. [17] eksenel olarak yüklü sinüsoidal oluklu ince cidarlı boruların enerji absorpsiyon özelliklerini incelemişlerdir. Aynı çalışmada, merkezi kompozit tasarım kullanan yüzey yanıt metodolojisi kullanılmış ve geometrik parametrelerin etkilerini araştırmak için ANSYS programı kullanılarak simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Daha kalın tüpün absorbe enerjisini arttırdığı fakat artan kütesinin SEA üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

He ve ark. [18] ince cidarlı yapılar için yeni bir hasar yasasının orijinal Lemaitre'nin yerini almak üzere dairesel çelik borular geliştirmişlerdir. Lemaitre modeline dayalı olarak, uzay yapıları için daha doğru bir yapısal model sağlamak üzere, ince cidarlı dairesel çelik boruların gelişmiş bir birleşik plastik yapısal modeli inşa edildi. Yapılan çalışmada Lemaitre'nin modelinin kırılma başlangıcı için doğru konumu

tanımlayabildiği ancak olası kırılma ilerleme yolunun ve kırılmadaki yer değiştirmeyi yakalayamadığı, ayrıca önerilen modelin deneyle iyi bir uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Birkaç farklı silindir için deneysel ve teorik sonuçlar, enerji absorpsiyon özelliklerini iyileştirmek veya ayarlamak için sert nervürlere sahip ince cidarlı bir silindirin yapısal bir eleman olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Kırma modlarının sadece enine kesit boyutuna değil, aynı zamanda nervürler arasındaki mesafelere de bağlı olduğu gösterilmiştir.



2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tezde ince cidarlı alüminyum tüplerin çarpışma performansları dolayısıyla absorbe ettiği enerji miktarları deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada ince cidarlı dikdörtgen ve dairesel kesitli alüminyum profil kullanılmıştır. Alüminyum profillerin çarpışma performansları farklı hızlar ve farklı geometrik profiller incelenmiştir. Deneysel çalışmalar ile sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan sayısal çalışmalar karşılaştırılmış olup, doğruluğu kontrol edilmiştir. İnce cidarlı alüminyum profillere basma testi uygulanmıştır.

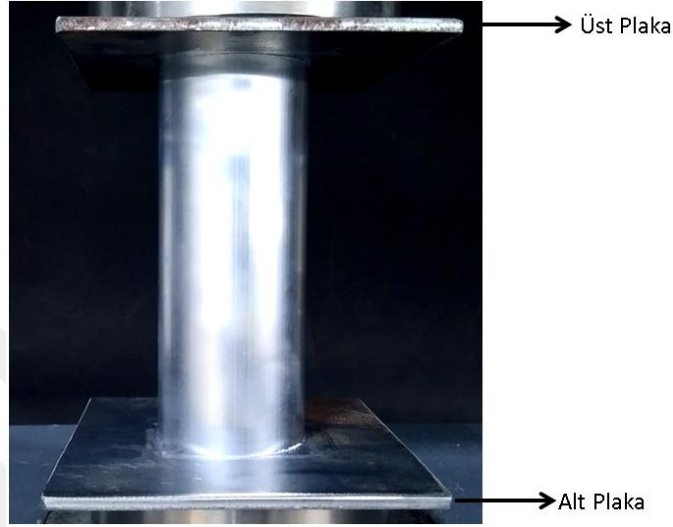
3.1. Basma Testleri

Basma testleri ince cidarlı alüminyum tüplerin çarpma anındaki absorbe ettiği enerji miktarlarını deneysel belirlemek için yapılmıştır. Bu deneyler Shimadzu marka çekme basma test cihazı ile yapılmıştır. Basma deneylerinde 1.2 mm et kalınlığında, 40 mm x 50 mm ebatlarında, 125 mm uzunluğunda dikdörtgen kesitli alüminyum profil ve 1.2 mm et kalınlığında, 40 mm çapında, 125 mm uzunluğundaki dairesel kesitli alüminyum profil kullanılmıştır. Deneyde kullanılan alüminyum profiller derin çekme yöntemiyle üretilen dikişsiz profillerdir. Alüminyum profiller uygun ölçülerde kesilmiş olup basma deneyinde herhangi bir çentik etkisi oluşturmaması için kesilen yerler bant zımpara yardımıyla taşlanmış ve temizlenmiştir. Basma testinin yapıldığı cihaz şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Basma testinin yapıldığı cihaz

Basma testinde kullanılan alüminyum profiller Etial-60 malzemesinden yapılmıştır. Basma test cihazında bağlanan alüminyum profiller alt ve üst kısımlarına eni 80 mm, genişliği 100 mm ve yüksekliği 5 mm kalınlığında rijit düz plaka konularak kuvvet dengeli bir şekilde basılmış ve alüminyum profillerin test esnasında sağa sola hareketi engellenerek sabit kalması sağlanmıştır (Şekil 3.2).



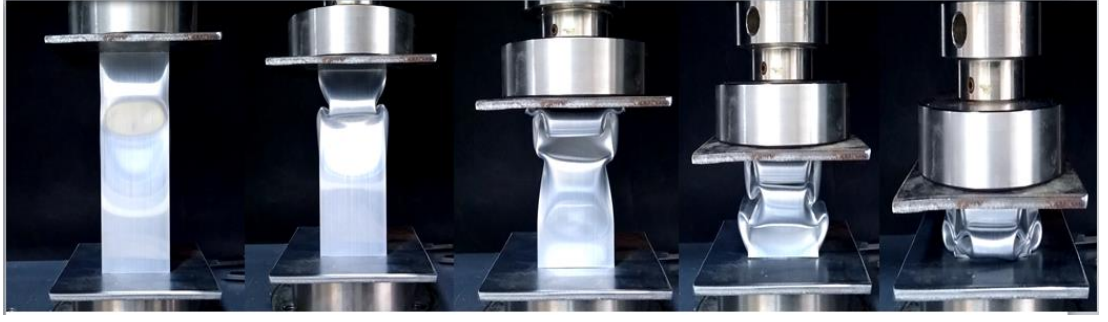
Şekil 3.2. Basma testinde alüminyum profilinin sabit kalmasını ve kuvvetin eşit yayılmasını sağlayan rijit alt ve üst plaka.

Basma testinde kullanılan alüminyum profiller tempersiz yani ısıtılmış ve mekanik özellikleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Alüminyum profillerin mekanik özellikleri

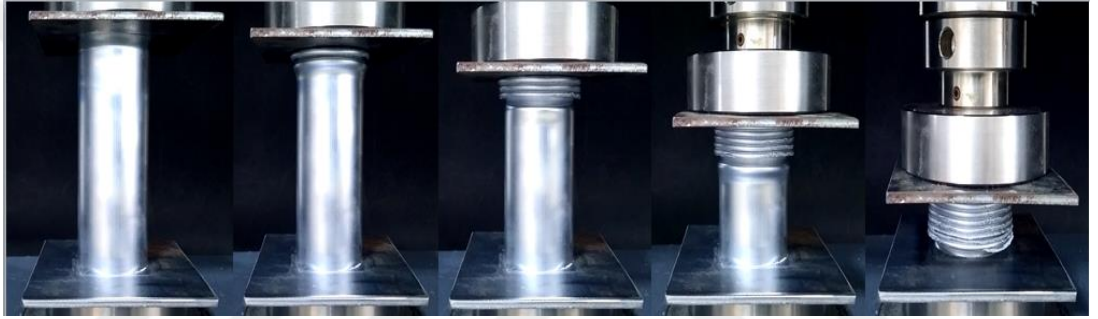
Yoğunluk (kg/m ³)	Elastite Modülü(GPa)	Poisson Oranı(ν)	Akma Gerilmesi(MPa)	Kopma Gerilmesi(MPa)
2700	68	0.27	275	295

Deneyisel çalışmalar sonucunda elde edilen görüntüler aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki test sırasında oluşan görüntüler Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



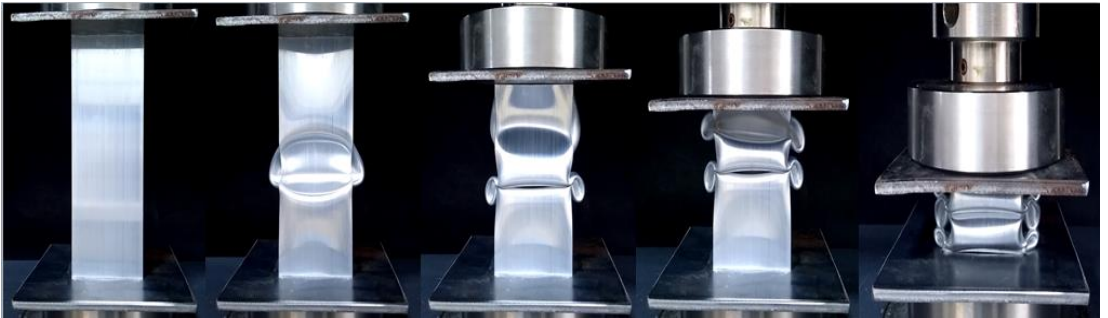
Şekil 3.3. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki test

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki test sırasında oluşan görüntüler Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



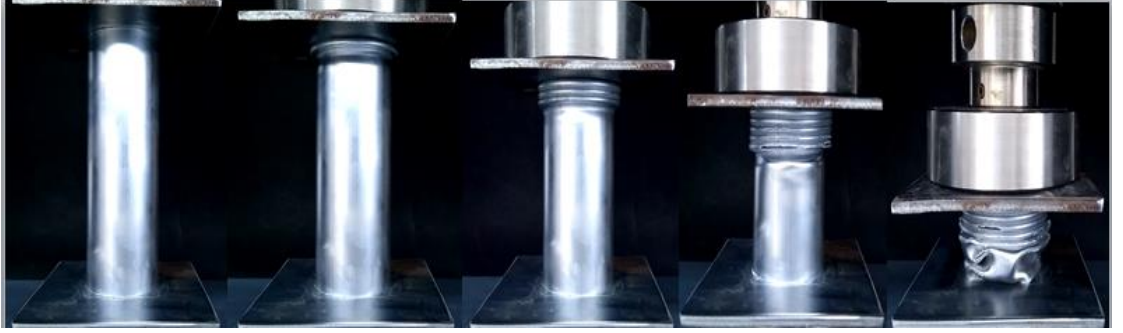
Şekil 3.4. Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki test

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki test sırasında oluşan görüntüler Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



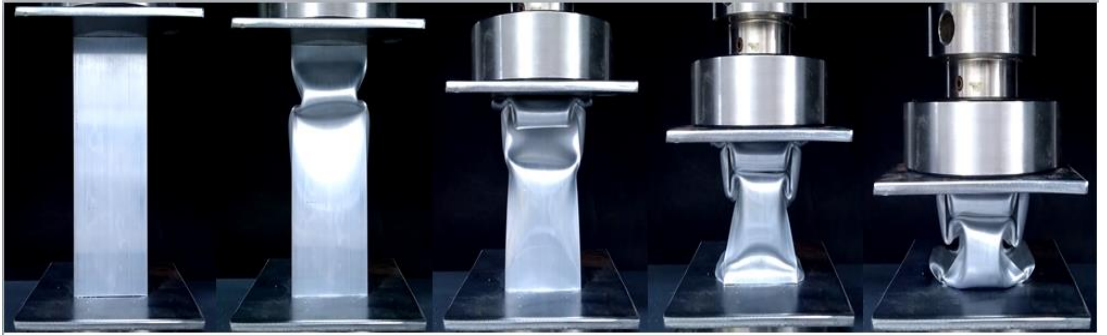
Şekil 3.5. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki test

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki test sırasında oluşan görüntüler Şekil 3.6’de gösterilmiştir.



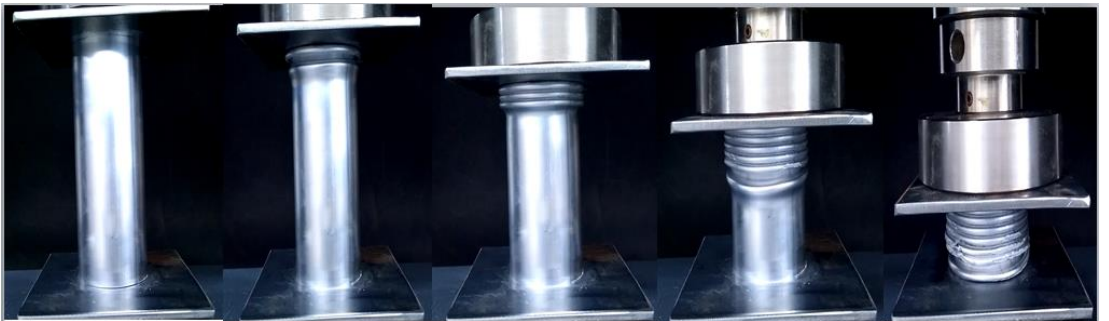
Şekil 3.6. Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki test

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki test sırasında oluşan görüntüler Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



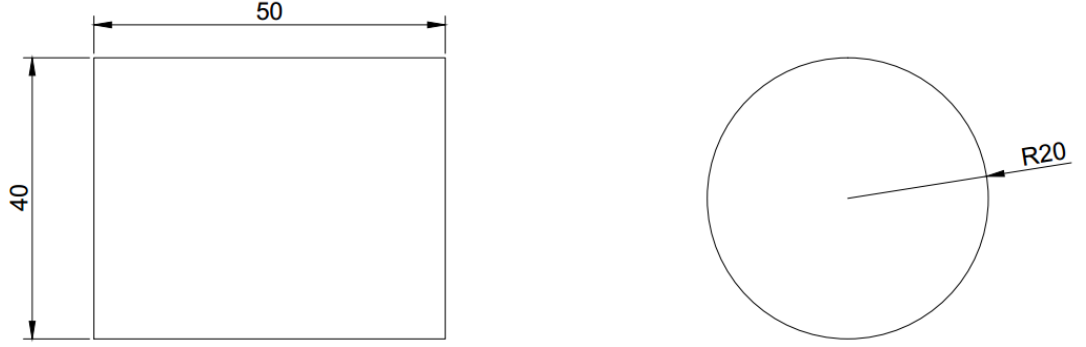
Şekil 3.7. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki test

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki test sırasında oluşan görüntüler Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki test

Şekil 3.9’da ise deneysel çalışmaları yapılan enerji sönümleyici yapılardan olan alüminyum tüplerin teknik resimleri belirtilmiştir. Kullanılan alüminyum tüplerin yükseklikleri her iki şekilde de aynı olup 125 mm’dir



Şekil 3.9. Deneysel çalışmada kullanılan alüminyum tüplerin teknik resimleri

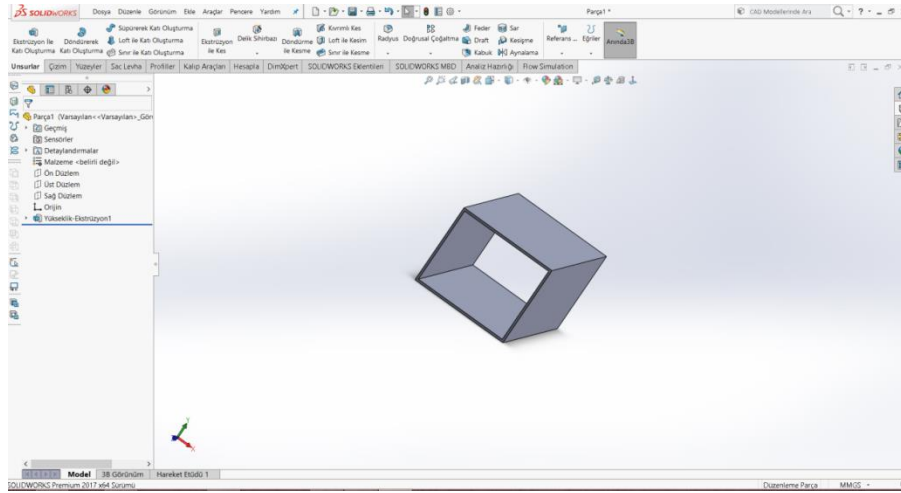
4. TEORİK ÇALIŞMALAR

4.1. Kullanılan yazılımlar

Bu çalışmada analiz programı olarak Abaqus kullanılmış olup, tasarım programı için ise Solidworks kullanılmıştır.

4.1.1. Solidworks Programı

Solidworks programı endüstride en çok kullanılan tasarım programlarından birisidir. Endüstri ve imalatla ilk başlarda teknoloji yetersizliğinden dolayı kara kalem ile iki boyutlu çizim yapılıyordu. Ancak teknolojinin gelişimi ile beraber üretimde herhangi bir sıkıntı olmaması açısından üç boyutlu tasarım programları devreye girmiştir. Üç boyutlu tasarım programlarından en çok kullanılan programlardan birisi olan Solidworks programı bilgisayar destekli dizayn (CAD) ve bilgisayar destekli mühendislik (CAE) programıdır. Solidworks'te hiçbir karmaşıklığa sebep olmadan hem iki boyutlu hemde üç boyutlu katı modelleri oluşturmamızı sağlar. Diğer CAD programlarına göre oldukça kullanışlı bir arayüze sahip olmasıdır. Ayrıca bu programda simülasyon, hareket etüdü, montaj gibi modülleride kolayca yapma imkanı sağlar. Solidworks daha çok makina imalatı ve parça imalatı sektöründe kullanılır. Solidworks programının en büyük avantajlarından biriside 3 boyutlu çizimden iki boyutlu teknik resme kolayca geçiş yapılabilmesidir.

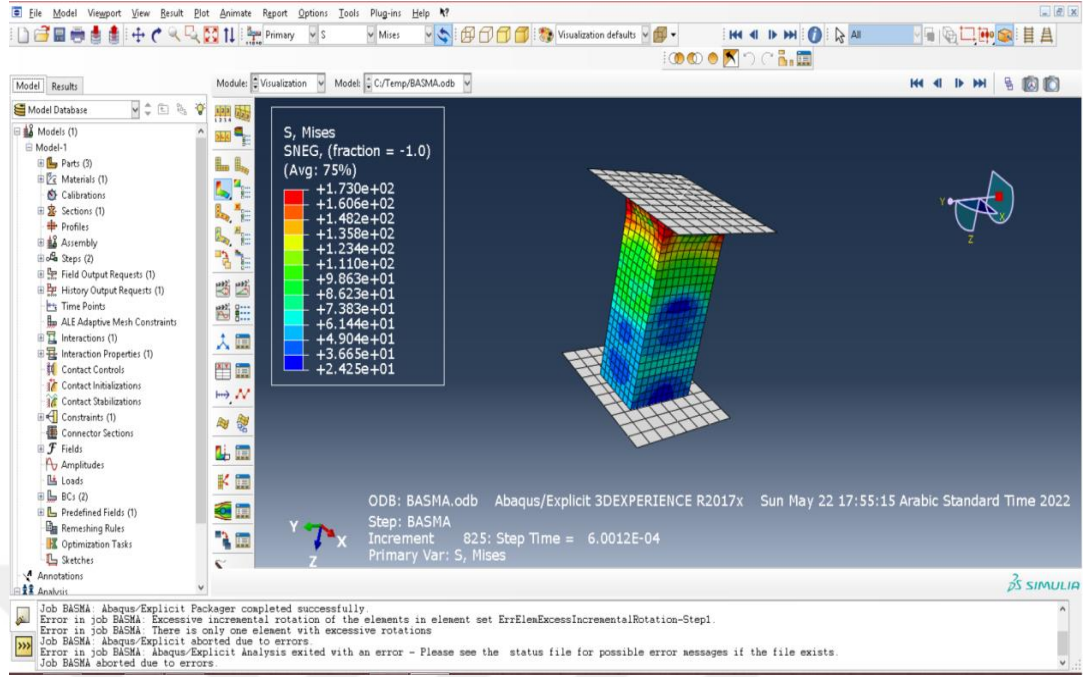


Şekil 4.1. Solidworks programı arayüzü

4.1.2. Abaqus Programı

Abaqus programı sonlu elemanlar metodu ile çalışan bilgisayar destekli analiz programıdır. Gerçekçi modeller oluşturma imkanı sağlayarak çözümlemeler ve simülasyon yapmayı sağlayan bir analiz programıdır. Programda yer alan farklı malzeme tipleri ve farklı hesaplama yöntemleriyle lineer ve non lineer projeleri kolaylıkla çözülmesini sağlamaktadır. Program beş farklı bölümden oluşmaktadır. Bunlar standart, explicit, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Elektromanyetik ve CAE dir. Tezde kullanmış olduğum bölüm Abaqus explicit bölümüdür.

Abaqus Explicit, otomotiv sektöründe çarpışma kabiliyeti ve balistik etki gibi kısa geçici dinamik olayları simüle etmek için kullanışlı bir programdır. Özellikle doğrusal olmayan davranışları etkin bir şekilde ele alma yeteneği ve sıcak metalin yuvarlanması gibi yarı-statik olayların simülasyonu için oldukça etkili bir yazılımdır. Standard bölümü ile entegre bir biçimde çalışma özelliğine sahiptir. Abaqus Explicit zamana bağlı analizleri yapabilen bir sonlu eleman yazılımıdır [19].



Şekil 4.2. Abaqus programı arayüzü

4.2. Analiz Dosyalarının Hazırlanması

4.2.1. Tasarımın oluşturulması

Yapılan çalışmalarda ondört adet değişik şekillerde enerji sönümleyici yapı seçilmiştir. Bunlar yapılan çalışmalarda en çok kullanılan enerji sönümleyici yapılardır. Modellerin uzunluğu 125 mm' dir.

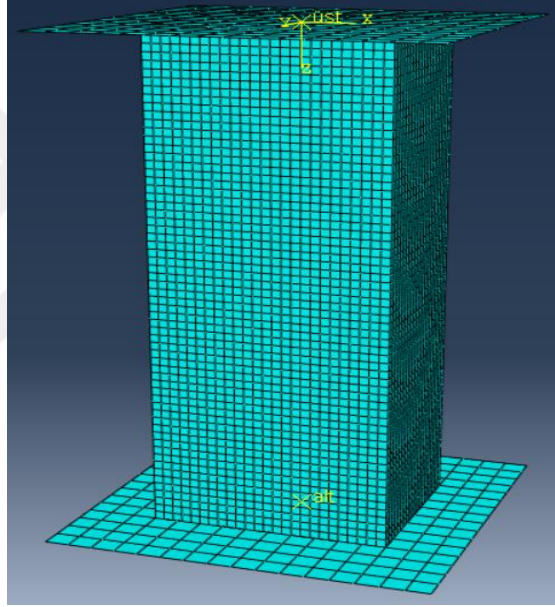
Yapılan çalışmalarda üçgen, kare, silindir, altıgen ve sekizgen şekillerin ortalarından ve köşelerinden destekleyecek şekilde parça atılmış olup, destek parçalarının enerji sönümleme miktarına etkisi incelenmiştir.

4.2.2. Eleman yapısının oluşturulması

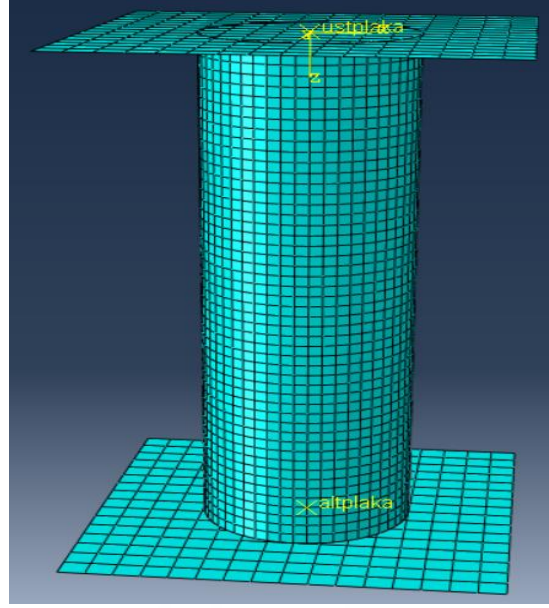
Yapılan çalışmalarda eleman yapısı oluşturulurken kare eleman yapısı kullanılmıştır. Bunun nedeni önceki yapılan çalışmalarda belirtildiği üzere dört düğüm noktalı eleman yapısının daha iyi sonuç vermesidir. [13]

Sonlu elemanlar yönteminde doğru gerçekçi sonuç alabilmek için eleman yapısının oldukça küçük oluşturulması gerekmektedir. Küçük eleman yapısı oluşturulmasının ne kadar gerçekçi sonuç versede yavaş sonuç vermesine neden olmaktadır. Büyük elemanlı yapılar ise gerçek değerden uzak olmasına rağmen daha hızlı sonuçlar vermektedir. Bu avantaj ve dezavantajlardan dolayı eleman yapısının ne küçük ne de büyük olması istenmez. Bu çalışmada eleman yapısının boyutu olarak 3 mm tercih edilmiştir [20].

Şekil 4.3’de dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici yapının, Şekil 4.4’de ise silindir kesitli enerji sönümleyici yapının izometrik görünüşleri verilmiştir.

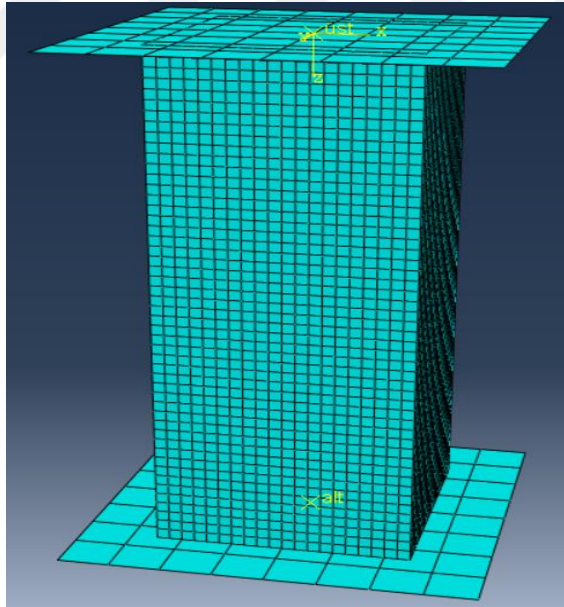


Şekil 4.3. Dikdörtgen kesitli enerji sönümleyici yapı

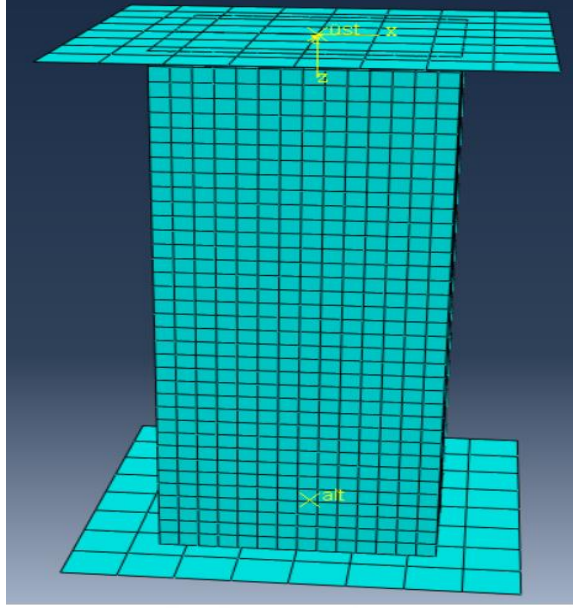


Şekil 4.4. Yuvarlak kesitli enerji sönümleyici yapı

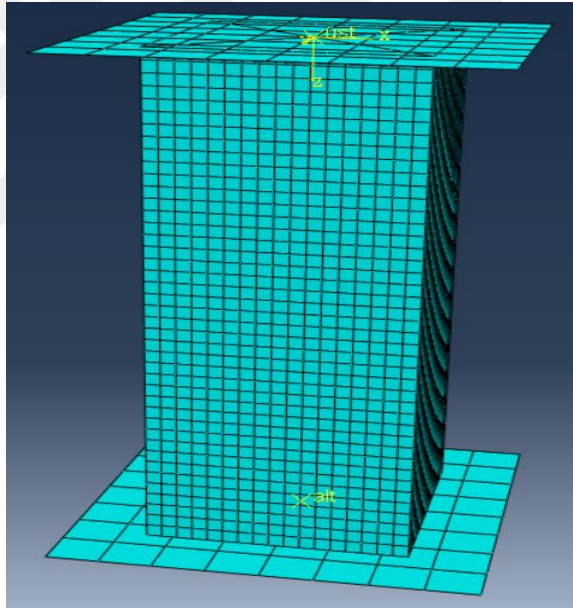
Şekil 4.5’de kare kesitli enerji sönümleyici yapının, Şekil 4.6’de kare kesitli ortalarından desteklenmiş, Şekil 4.7’de ise kare kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapının izometrik görüşleri verilmiştir.



Şekil 4.5. Kare kesitli enerji sönümleyici yapı

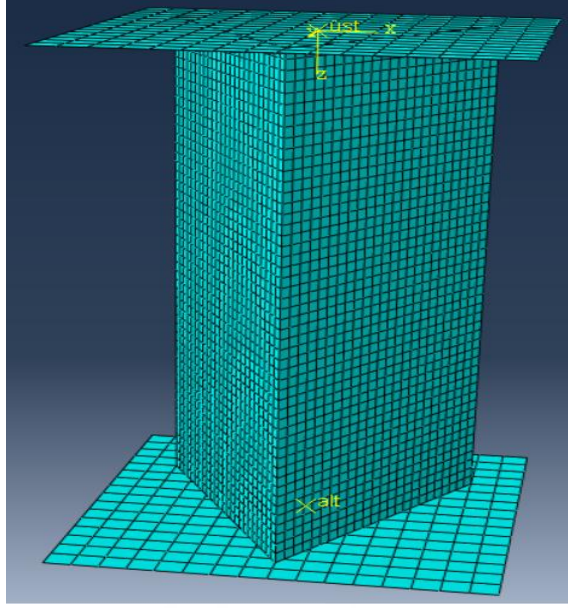


Şekil 4.6. Kare kesitli ortalarından desteklenmiş enerji sönümleyici yapı

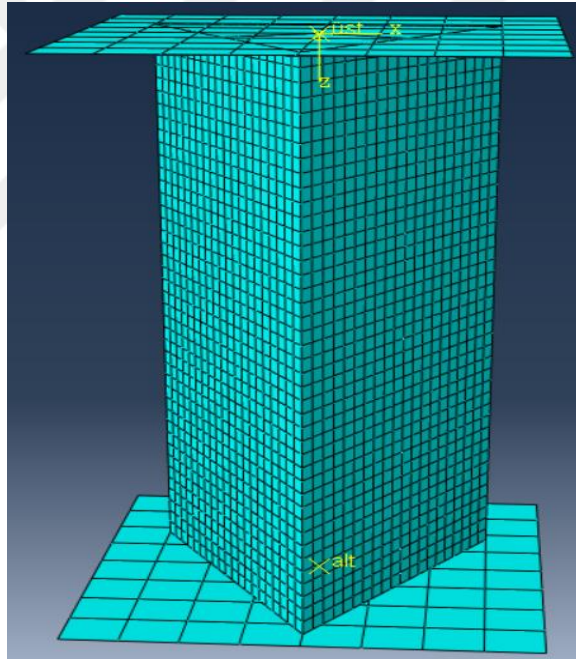


Şekil 4.7. Kare kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapı

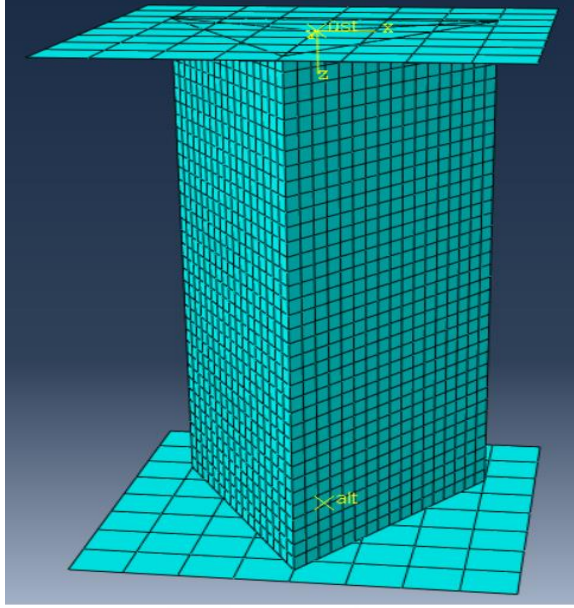
Şekil 4.8’de üçgen kesitli enerji sönümleyici yapının, Şekil 4.9’da üçgen kesitli ortalarından desteklenmiş, Şekil 4.10’da ise üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapının izometrik görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.8. Üçgen kesitli enerji sönümleyici yapı

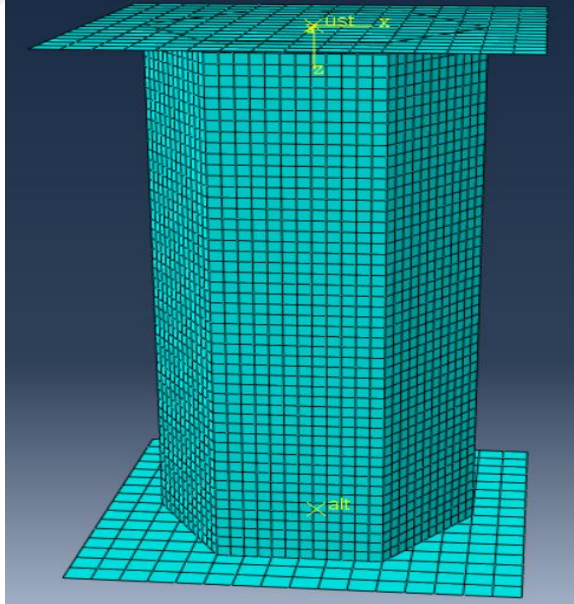


Şekil 4.9. Üçgen kesitli ortalarından desteklenmiş enerji sönümleyici yapı

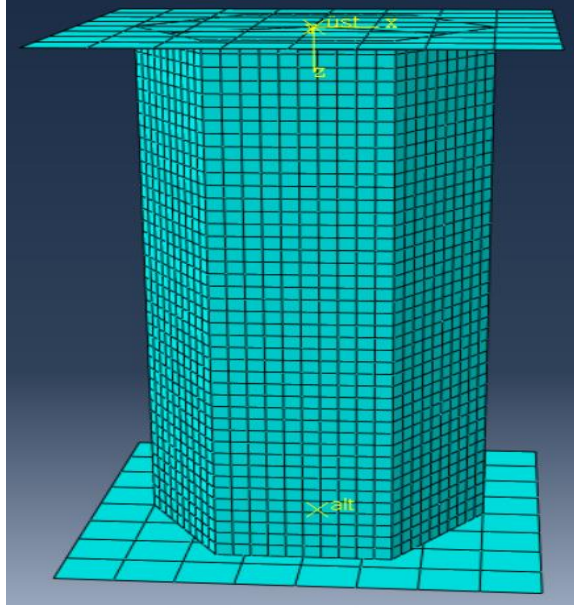


Şekil 4.10. Üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapı

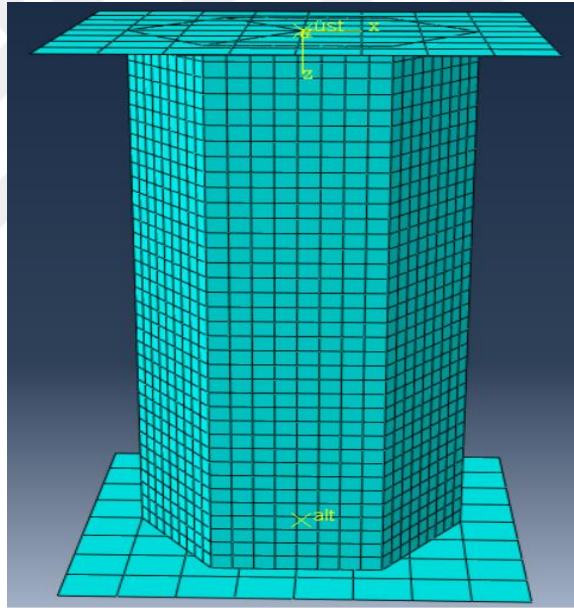
Şekil 4.11’de altıgen kesitli enerji sönümleyici yapının, Şekil 4.12’de altıgen kesitli ortalarından desteklenmiş, Şekil 4.13’de ise altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapının izometrik görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.11. Altıgen kesitli enerji sönümleyici yapı

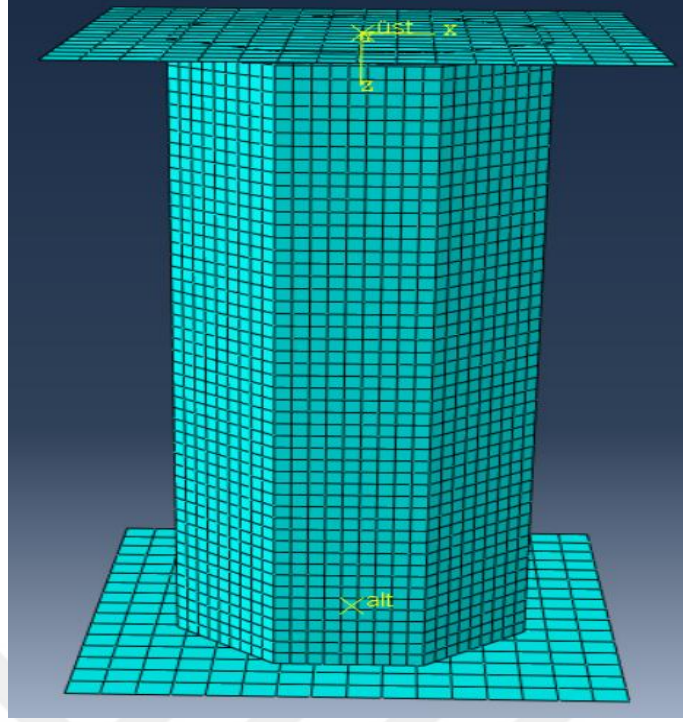


Şekil 4.12. Altıgen kesitli ortalarından desteklenmiş enerji sönümleyici yapı

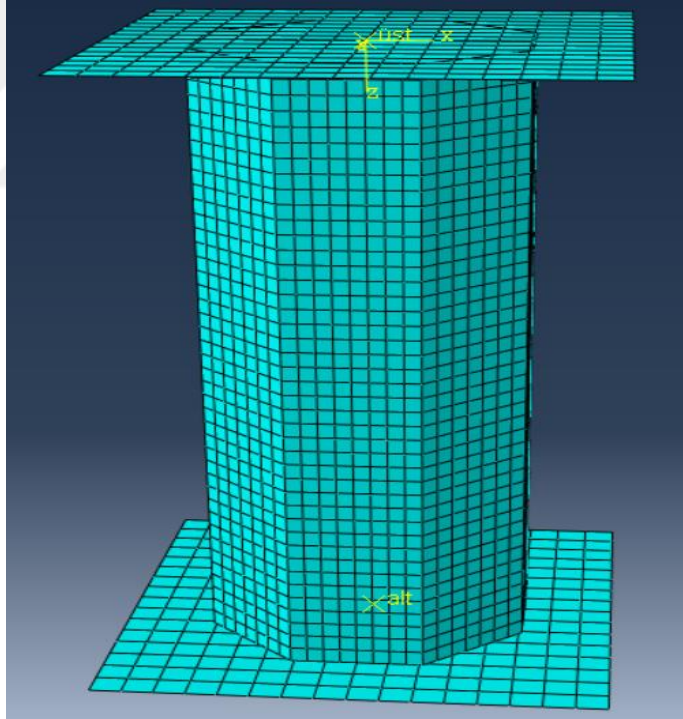


Şekil 4.13. Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapı

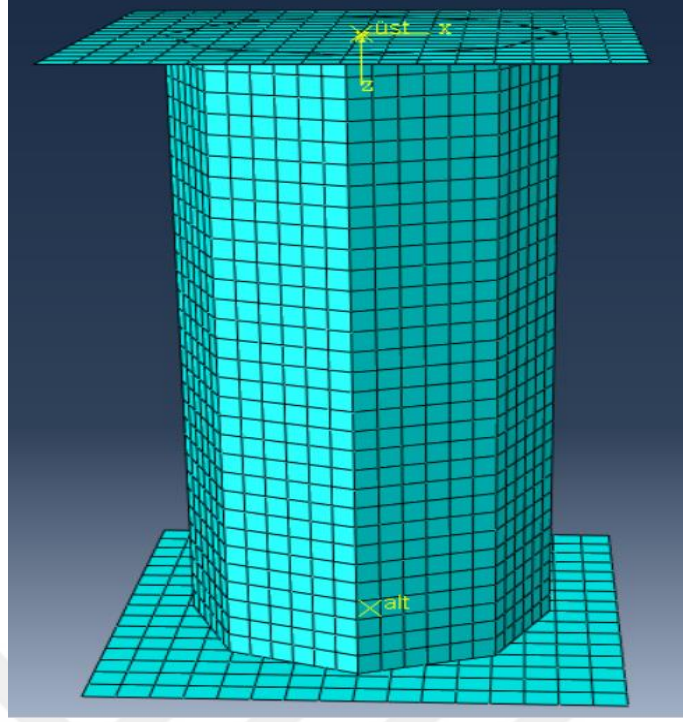
Şekil 4.14’de sekizgen kesitli enerji sönümleyici yapının, Şekil 4.15’de sekizgen kesitli ortalarından desteklenmiş, Şekil 4.16’da ise sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapının izometrik görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.14. Sekizgen kesitli enerji sönümleyici yapı

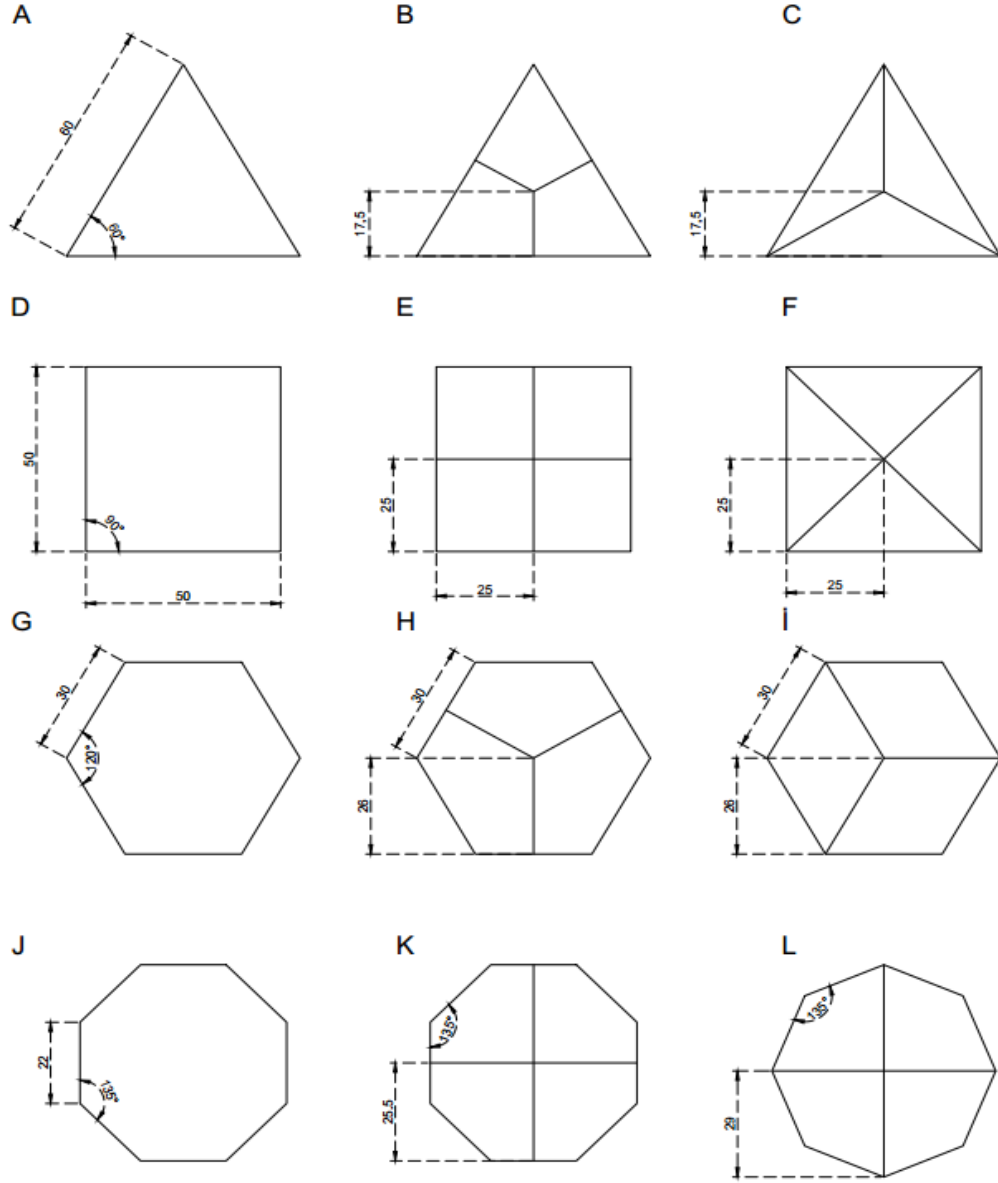


Şekil 4.15. Sekizgen kesitli ortalarından desteklenmiş enerji sönümleyici yapı



Şekil 4.16. Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş enerji sönümleyici yapı

Bu çalışmada kullanılan profillerin teknik resimleri Şekil 4.17’gösterilmiştir.

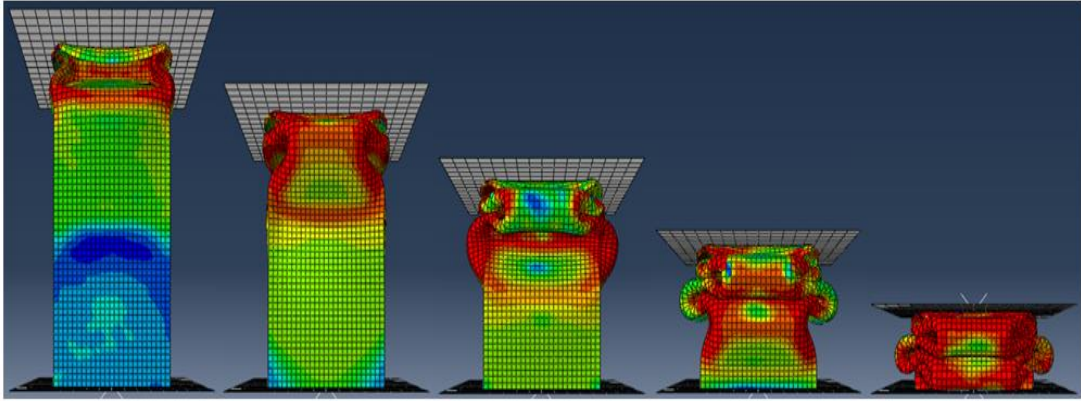


Şekil 4.17. A-) Üçgen kesitli profil B-) Üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil C-) Üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profil D-)Kare kesitli profil E-)Kare kesitli ortarlardan desteklenmiş profil F-)Kare kesitli köşelerden desteklenmiş profil G-) Altıgen kesitli profil H-) Altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil İ-) Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profil J-) Sekizgen kesitli profil K-) Sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil L-) Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profil

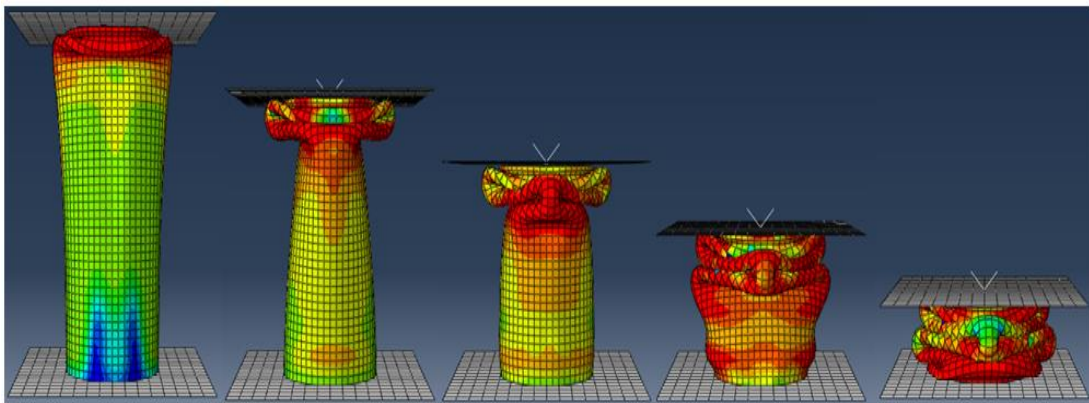
4.2.3. Analiz ortamının hazırlanması

Yapılan çalışmada ilk olarak parça çizimleri yapılmıştır. Daha sonra malzeme özellikleri oluşturulmuştur. Alt ve üst plakalar rijit yapılarak herhangi bir deformasyona uğraması önlenmiştir. Parçada alt taraf tüm yönlerden sabitlenerek dönmesi ve eksenel hareket yapması sınırlandırılmıştır. Döngü süresi 0,06 saniye olarak ayarlanmıştır. Daha sonra üst taraftan yer değiştirmesi 100 mm olacak şekilde analiz başlatılmıştır. Analiz yaklaşık olarak 500.000 artımla sonuçlanmıştır. Teorik çalışmalar sonucunda elde edilen görüntüler aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.

Şekil 4.18’de dikdörtgen kesit profile ait analiz görüntüleri ve Şekil 4.19’da ise yuvarlak kesit profile ait analiz görüntüleri verilmiştir.

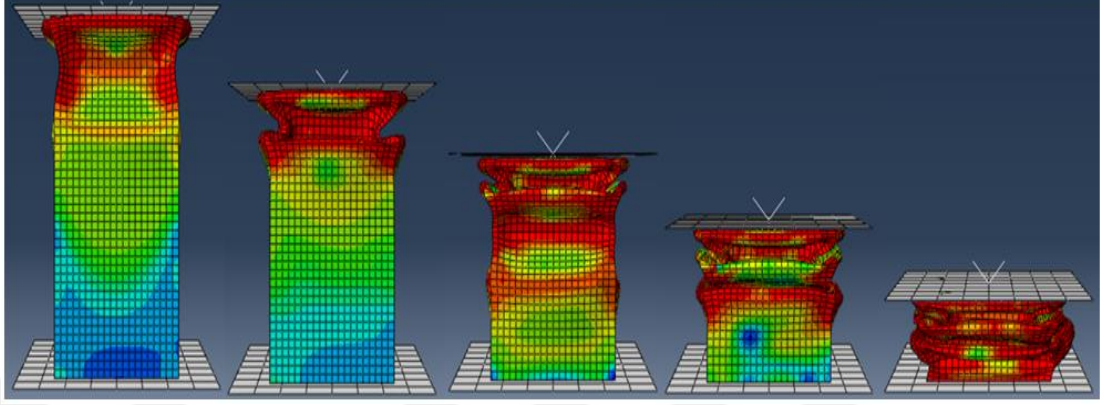


Şekil 4.18. Dikdörtgen kesit profile ait analiz görüntüsü

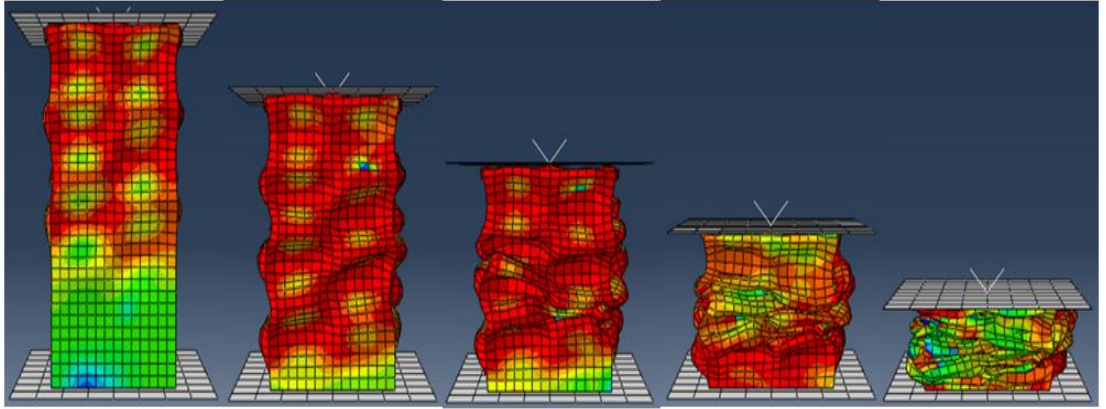


Şekil 4.19. Yuvarlak kesit profile ait analiz görüntüsü

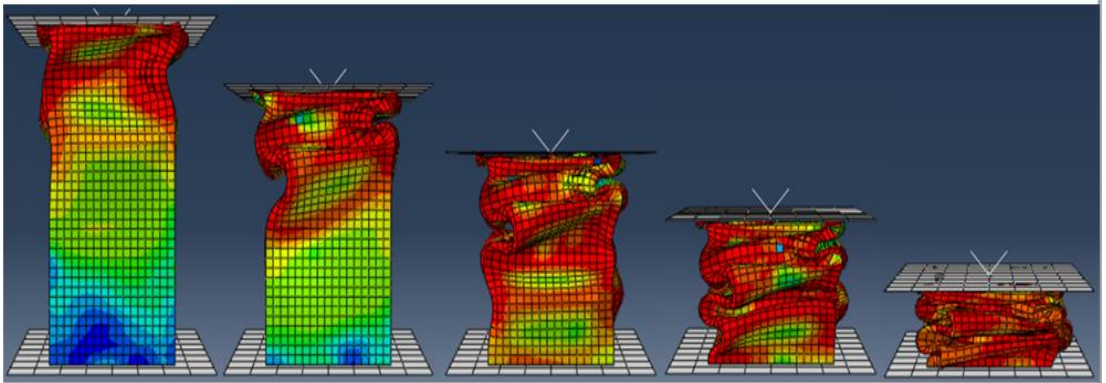
Şekil 4.20’de kare kesit profile ait analiz görüntüleri, Şekil 4.21’de kare kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüleri ve Şekil 4.22’de ise kare kesitli köşelerden desteklenmiş analize ait görüntüler mevcuttur.



Şekil 4.20. Kare kesit profile ait analiz görüntüsü

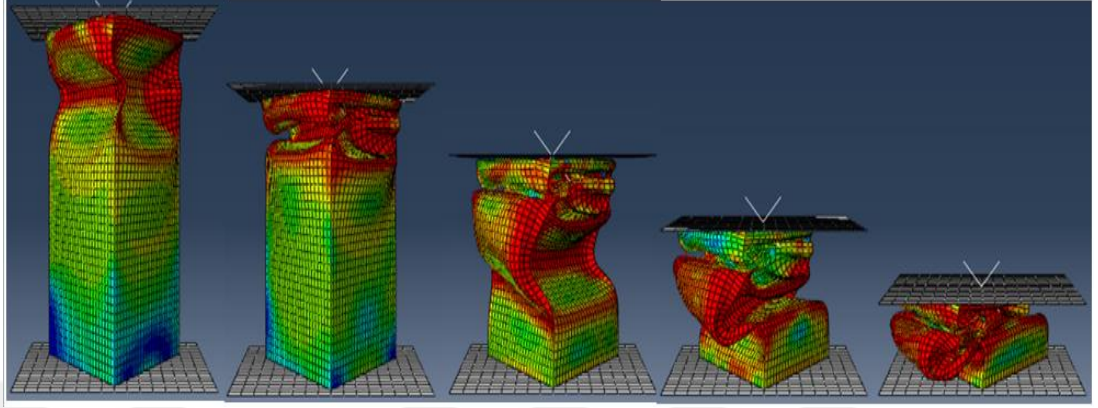


Şekil 4.21. Kare kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü

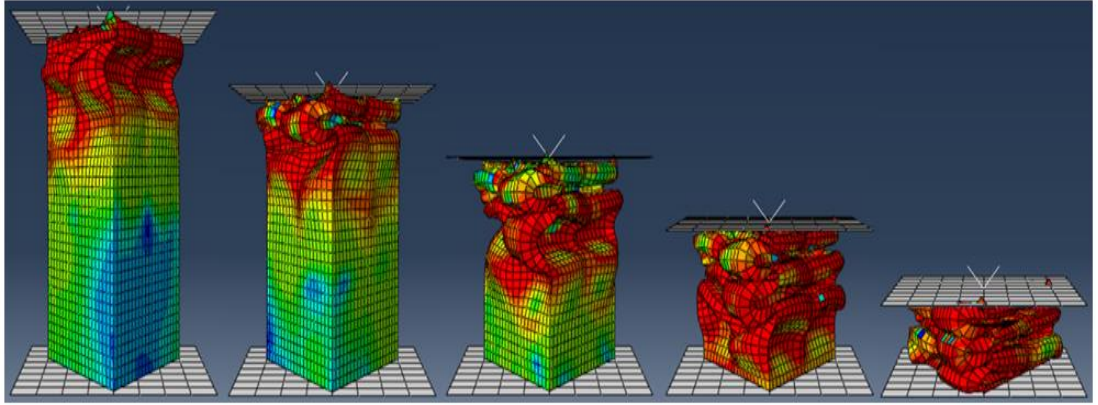


Şekil 4.22. Kare kesitli köşelerden desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü

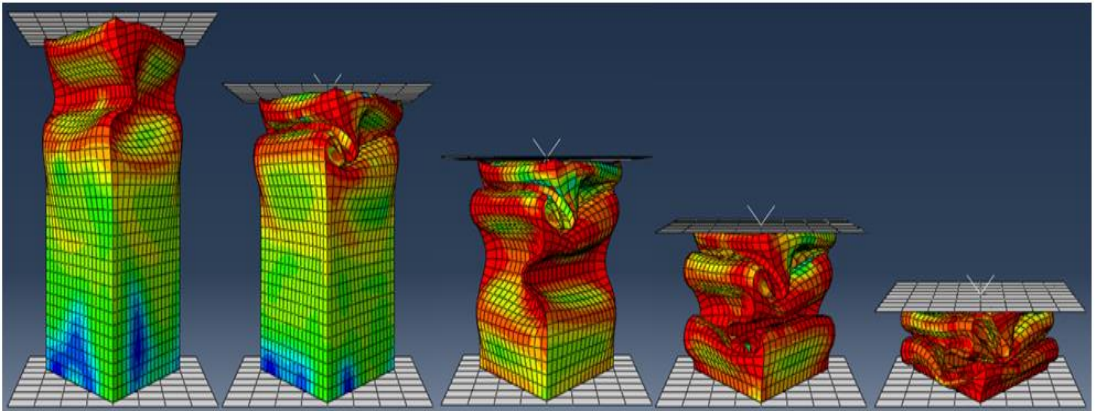
Şekil 4.23’de üçgen kesit profile ait analiz görüntüleri, Şekil 4.24’de üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüleri ve Şekil 4.25’de ise üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş analize ait görüntüler mevcuttur.



Şekil 4.23. Üçgen kesit profile ait analiz görüntüsü

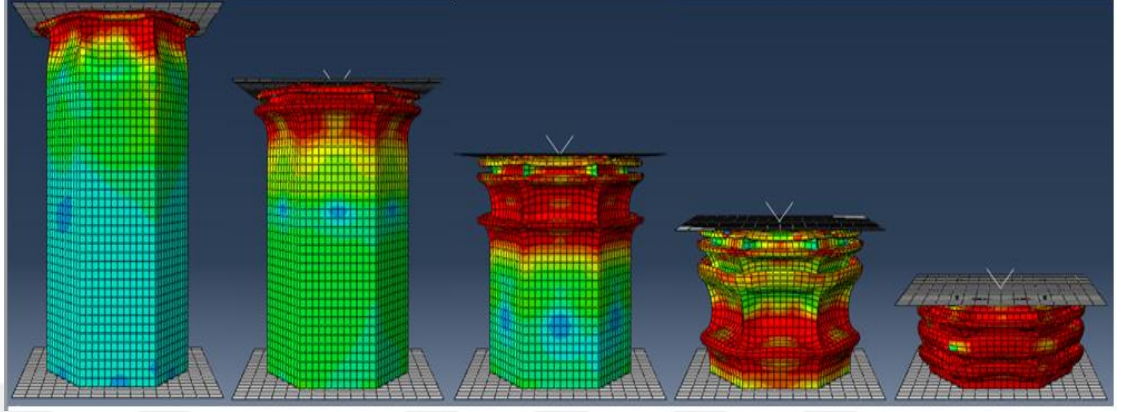


Şekil 4.24. Üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü

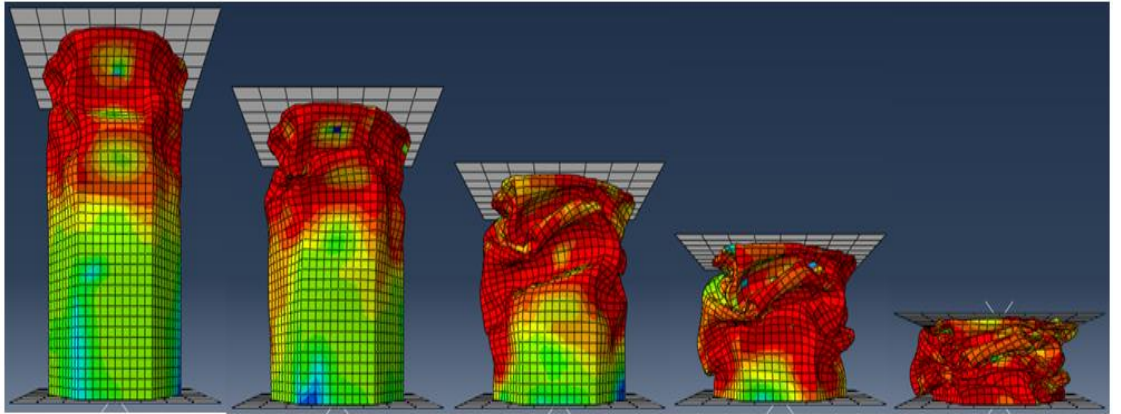


Şekil 4.25. Üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü

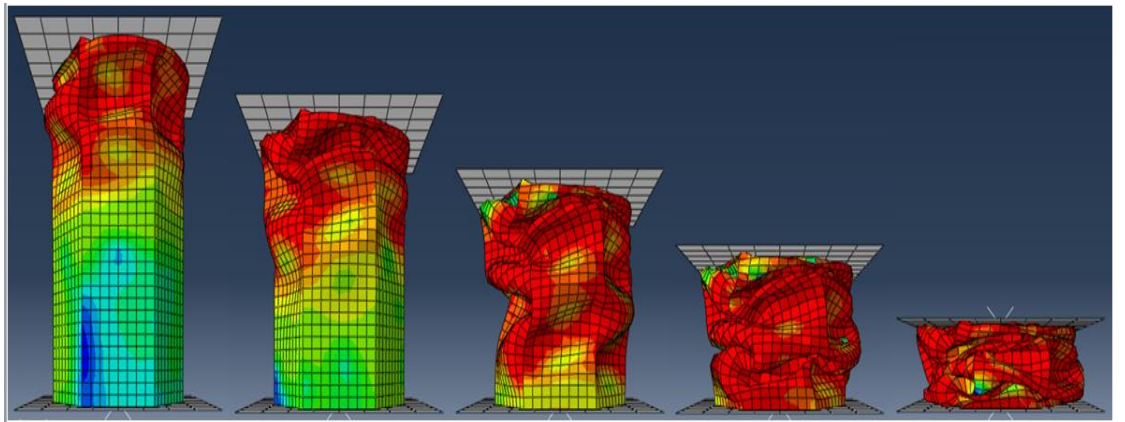
Şekil 4.26’da Altıgen kesit profile ait analiz görüntüleri, Şekil 4.27’de Altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüleri ve Şekil 4.28’de ise Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş analize ait görüntüler mevcuttur.



Şekil 4.26. Altıgen kesit profile ait analiz görüntüsü

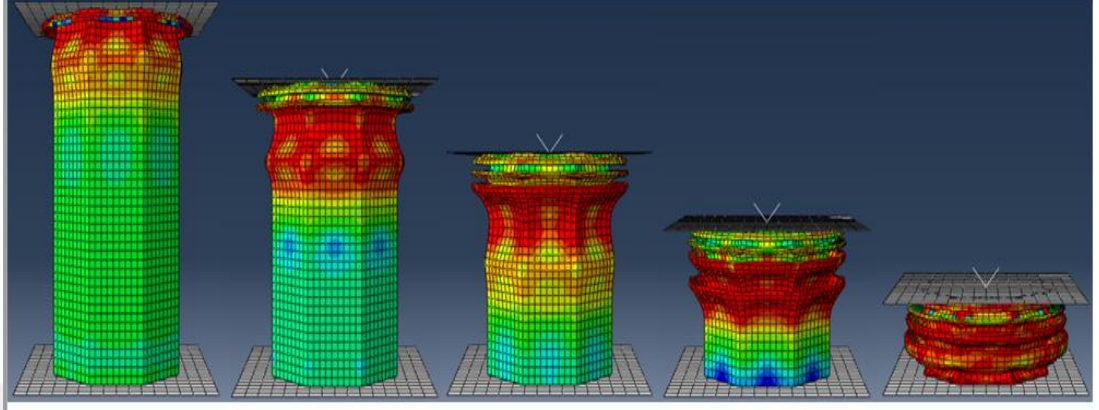


Şekil 4.27. Altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü

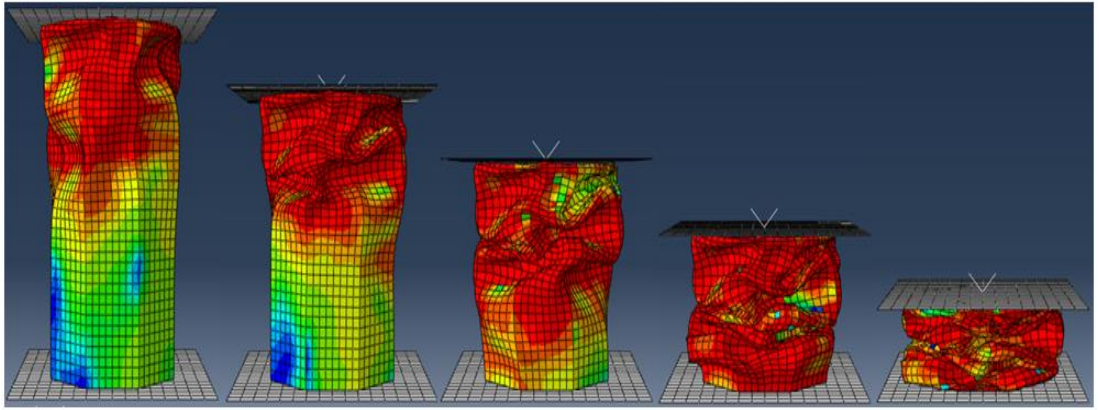


Şekil 4.28. Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü

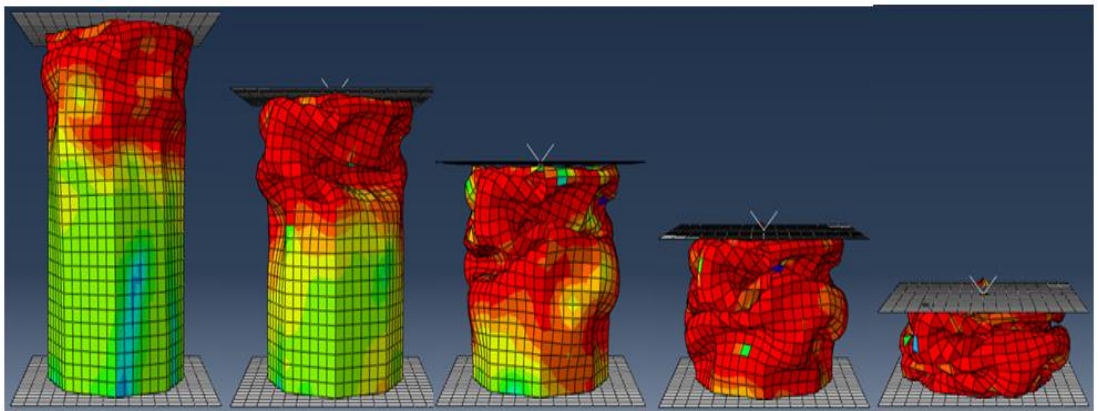
Şekil 4.29’da Sekizgen kesit profile ait analiz görüntüleri, Şekil 4.30’de Sekizgen kesitli ortalardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüleri ve Şekil 4.31’de ise Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş analize ait görüntüler mevcuttur.



Şekil 4.29. Sekizgen kesit profile ait analiz görüntüsü



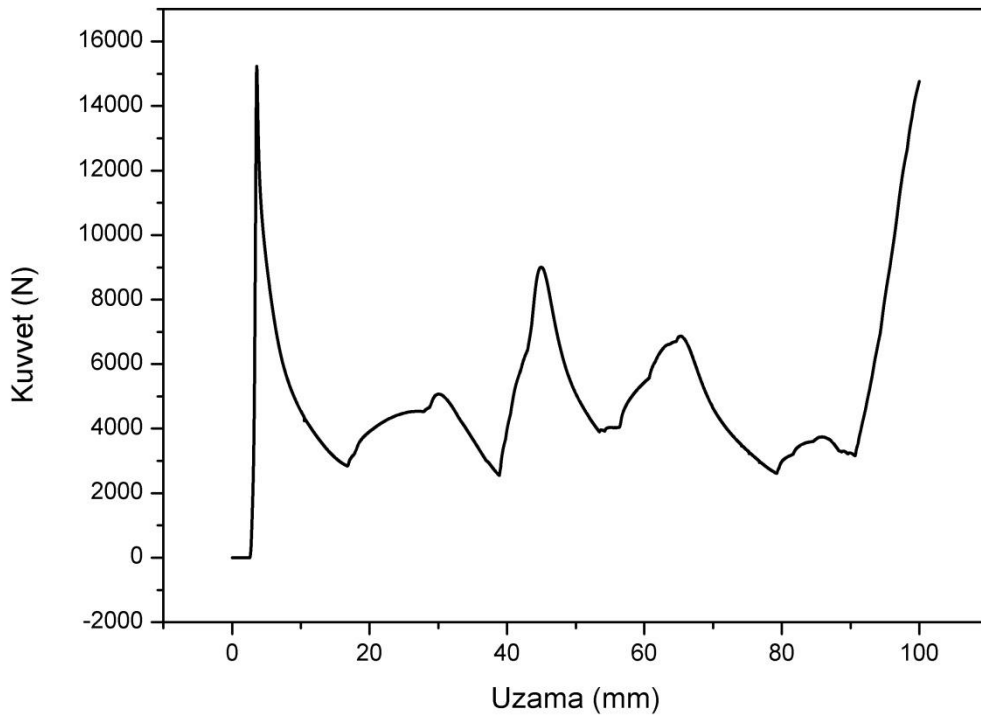
Şekil 4.30. Sekizgen kesitli ortalardan desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü



Şekil 4.31. Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profile ait analiz görüntüsü

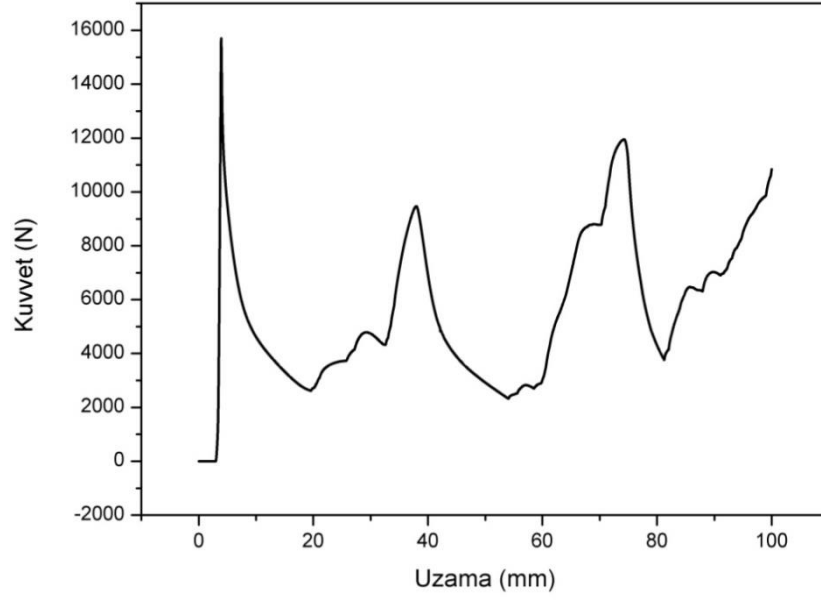
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda elde edilen analiz sonuçları aşağıdaki şekil ve çizelgelerde verilmiştir. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki birinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 15,22 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.1). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 493,7 joule enerji sönmölenmiştir.



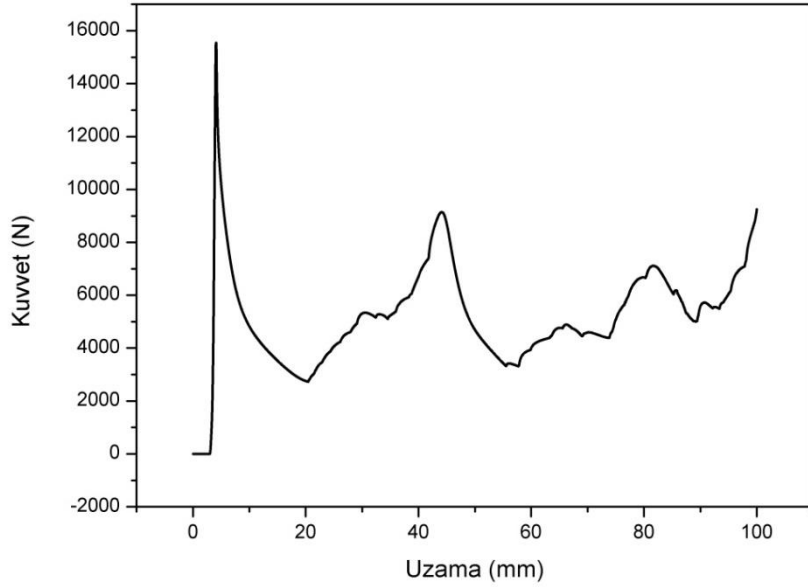
Şekil 5.1. Dikdörtgen 25 mm/dk test 1

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki ikinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 15,70 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.2). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 553,9 joule enerji sönmölenmiştir.



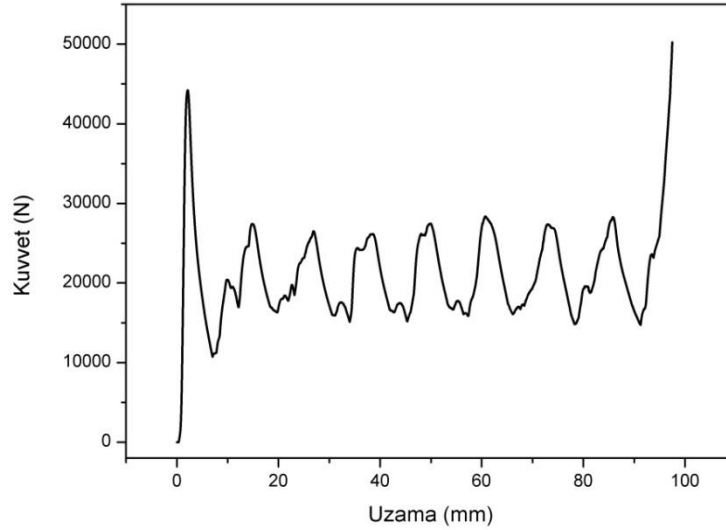
Şekil 5.2. Dikdörtgen 25 mm/dk Test 2

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki üçüncü test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 15,54 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.3). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 516,8 joule enerji sönmülmüştür.



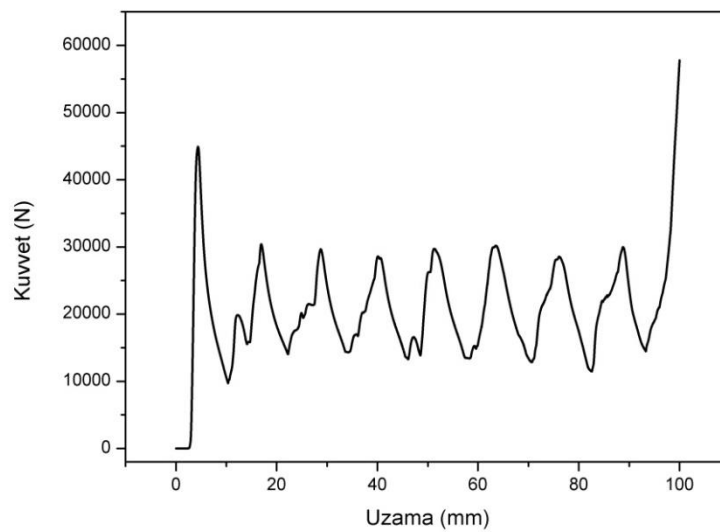
Şekil 5.3. Dikdörtgen 25 mm/dk Test 3

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki birinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 50,23 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.4). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2059 joule enerji sönümlenmiştir.



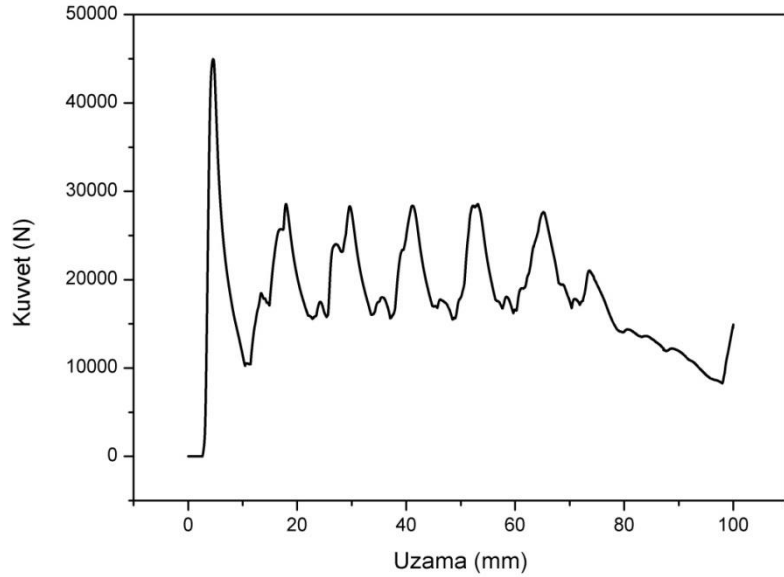
Şekil 5.4. Yuvarlak 25 mm/dk test 1

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki ikinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 57,77 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.5). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2049 joule enerji sönümlenmiştir.



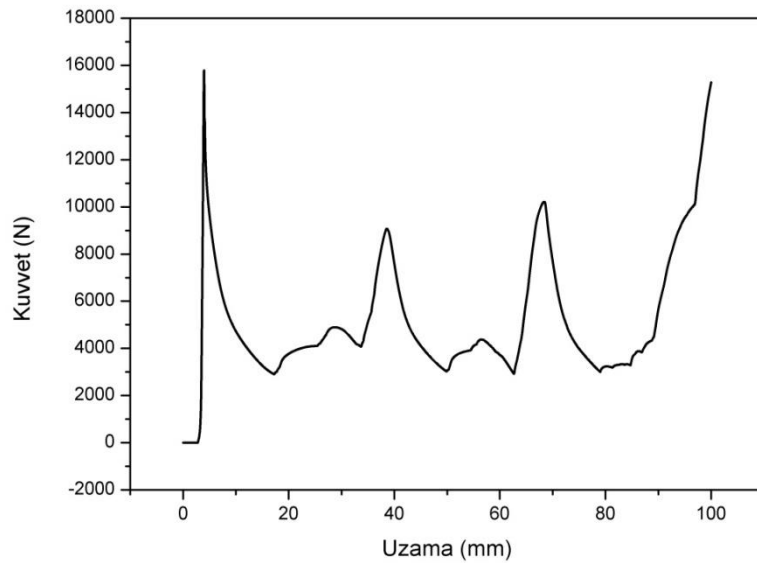
Şekil 5.5. Yuvarlak 25 mm/dk test 2

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 25 mm/dk hızındaki üçüncü test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 44,95 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.6). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1801 joule enerji sönümlenmiştir.



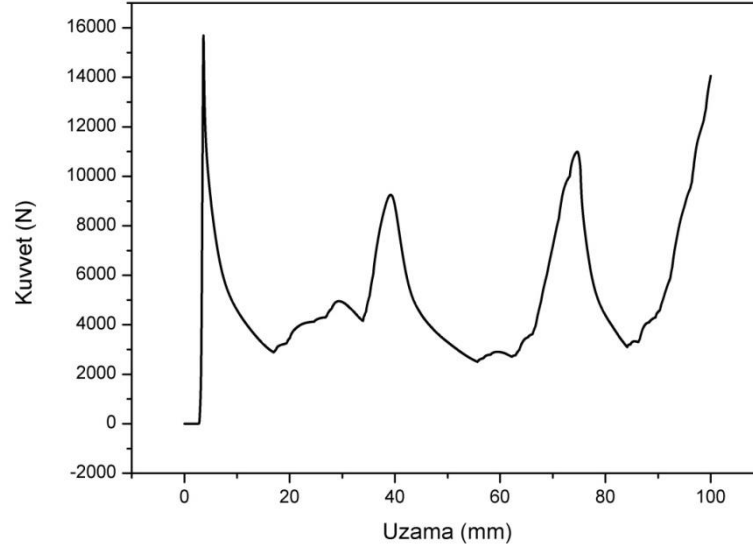
Şekil 5.6. Yuvarlak 25 mm/dk test 3

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki birinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 15,78 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.7). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 520,6 joule enerji sönümlenmiştir.



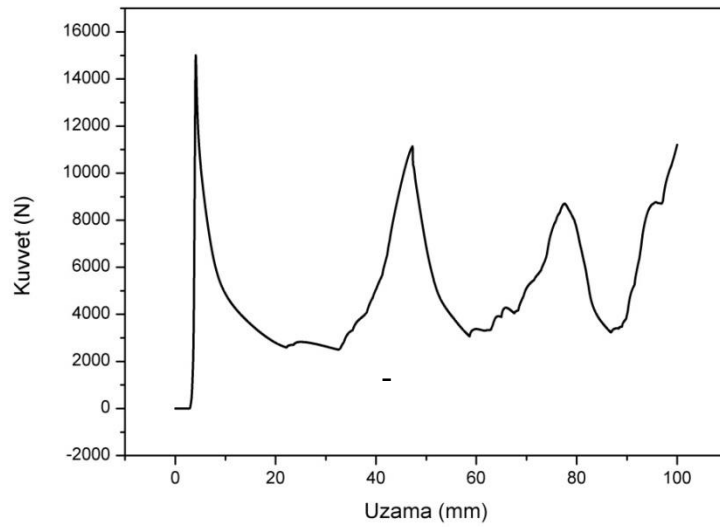
Şekil 5.7. Dikdörtgen 50 mm/dk test 1

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki ikinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 15,68 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.8). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 511,9 joule enerji sönmölenmiştir.



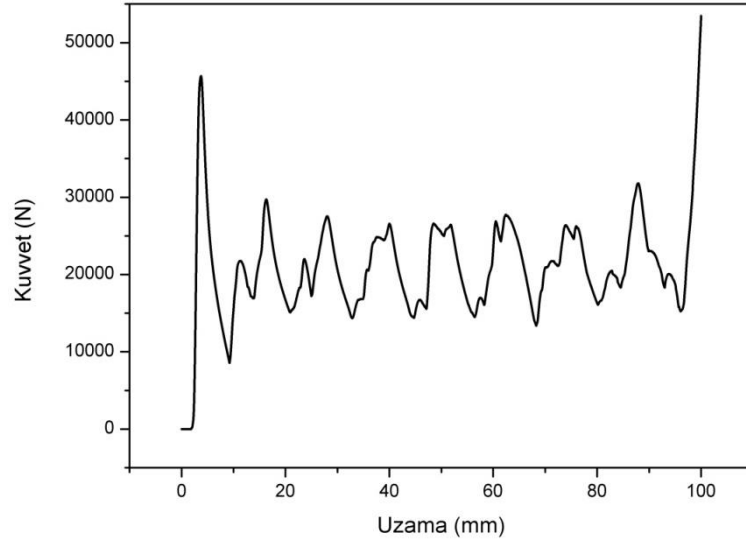
Şekil 5.8. Dikdörtgen 50 mm/dk test 2

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki üçüncü test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 15,02 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.9). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 507,7 joule enerji sönmölenmiştir.



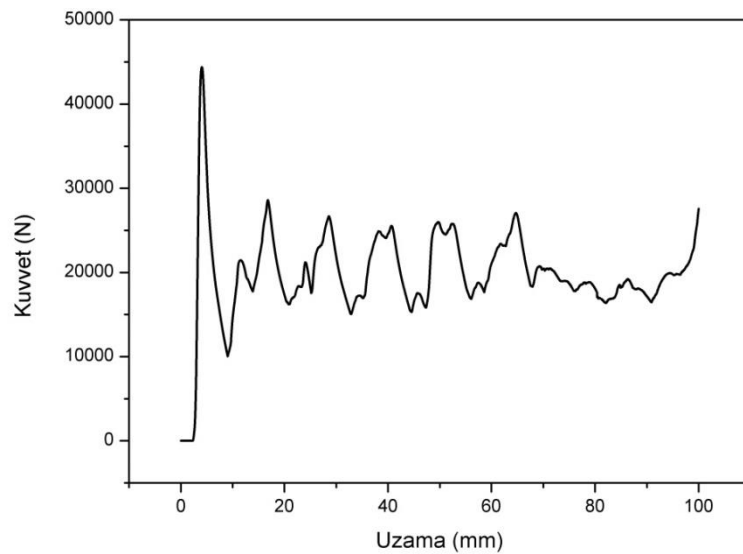
Şekil 5.9. Dikdörtgen 50 mm/dk test 3

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki birinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 53,45 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.10). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2099 joule enerji sönümlenmiştir.



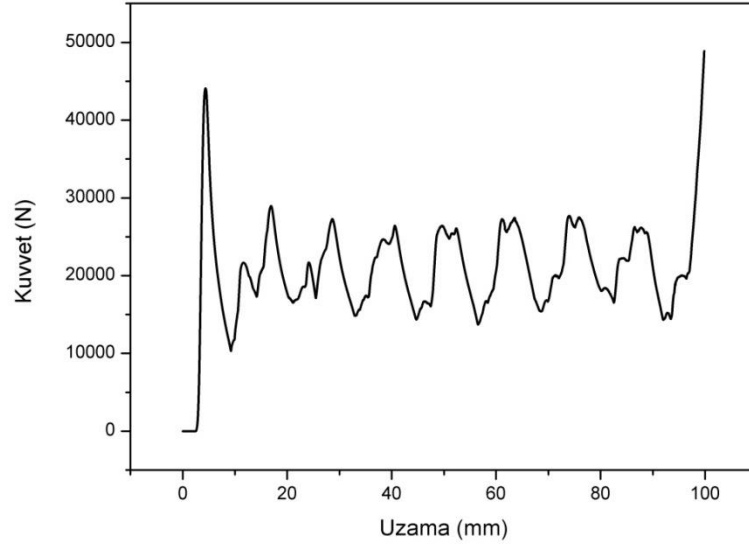
Şekil 5.10. Yuvarlak 50 mm/dk test 1

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki ikinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 44,39 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.11). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1980 joule enerji sönümlenmiştir.



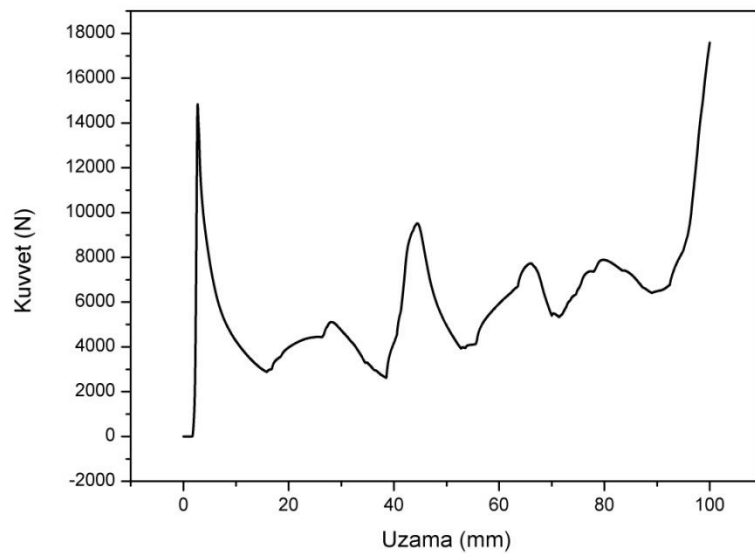
Şekil 5.11. Yuvarlak 50 mm/dk test 2

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 50 mm/dk hızındaki üçüncü test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 48,87 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.12). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2063 joule enerji sönümlenmiştir.



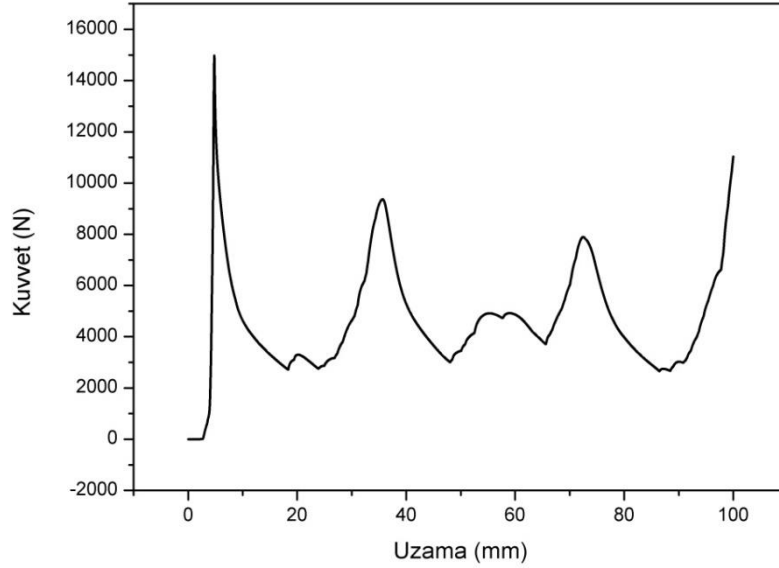
Şekil 5.12. Yuvarlak 50 mm/dk test 3

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki birinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 17,58 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.13). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 593 joule enerji sönümlenmiştir.



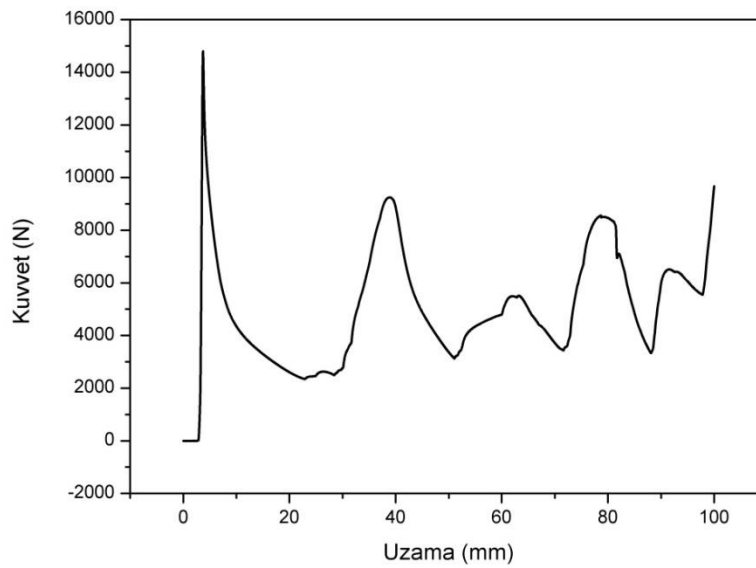
Şekil 5.13. Dikdörtgen 100 mm/dk test 1

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki ikinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 14,97 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.14). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 460,4 joule enerji sönümlenmiştir.



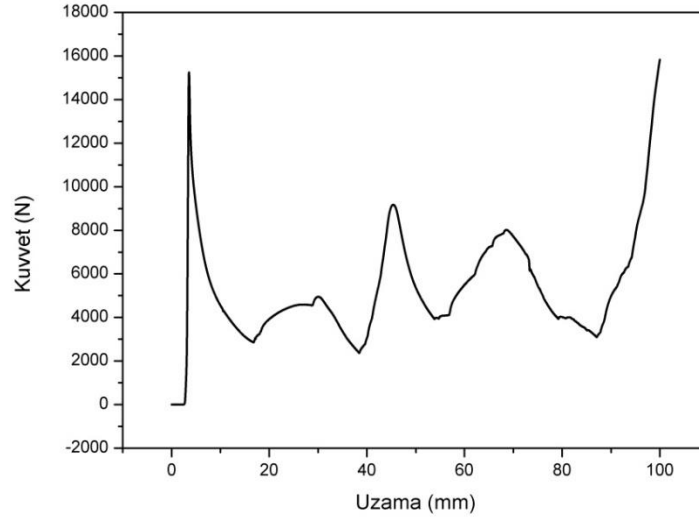
Şekil 5.14. Dikdörtgen 100 mm/dk test 2

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki üçüncü test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 14,79 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.15). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 497,8 joule enerji sönümlenmiştir.



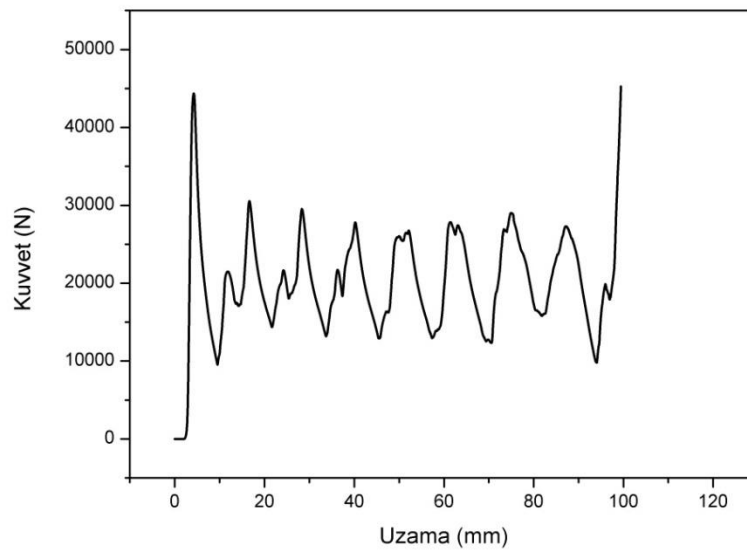
Şekil 5.15. Dikdörtgen 100 mm/dk test 3

Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki dördüncü test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 15,83 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.16). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 529,7 joule enerji sönümlenmiştir.



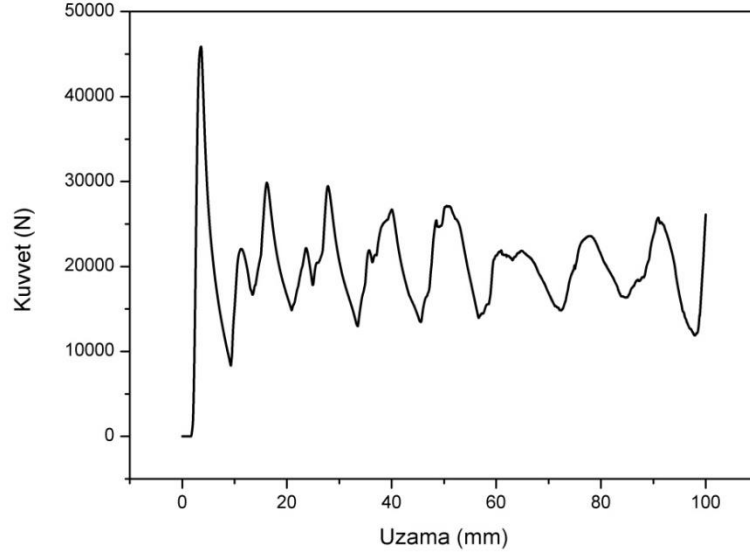
Şekil 5.16. Dikdörtgen 100 mm/dk test 4

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki birinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 45,27 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.17). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1984 joule enerji sönümlenmiştir.



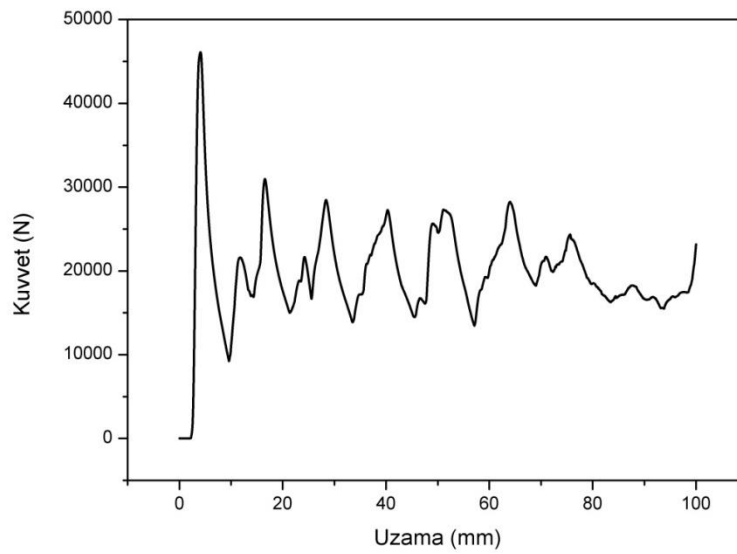
Şekil 5.17. Yuvarlak 100 mm/dk test 1

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki ikinci test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 45,86 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.18). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1970 joule enerji sönümlenmiştir.



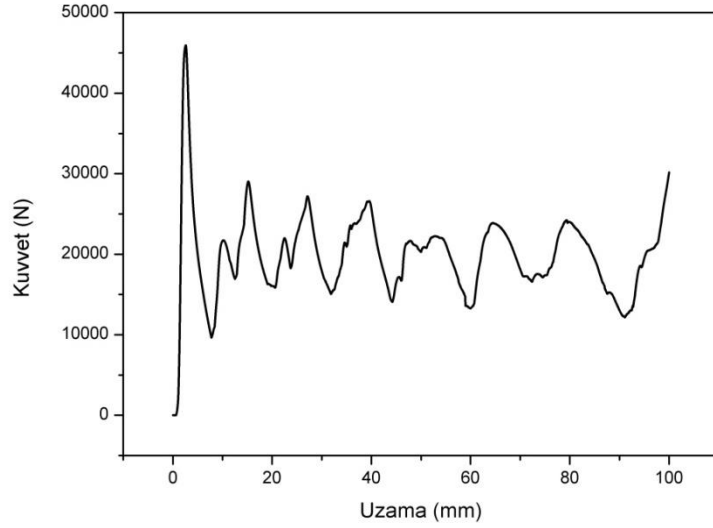
Şekil 5.18. Yuvarlak 100 mm/dk test 2

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki üçüncü test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 46,09 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.19). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1969 joule enerji sönümlenmiştir.



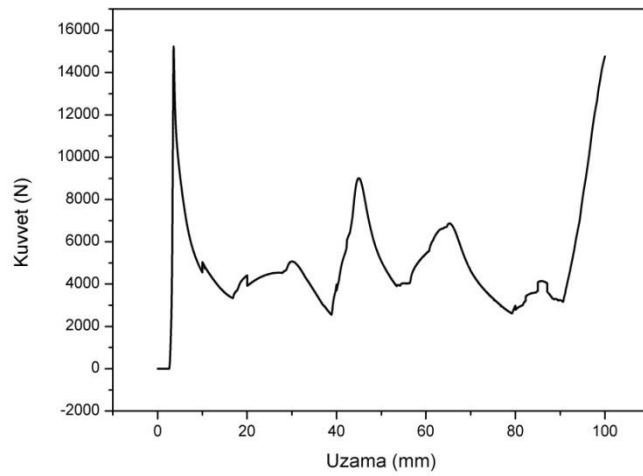
Şekil 5.19. Yuvarlak 100 mm/dk test 3

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan 100 mm/dk hızındaki dördüncü test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 45,93 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.20). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1987 joule enerji sönümlenmiştir.



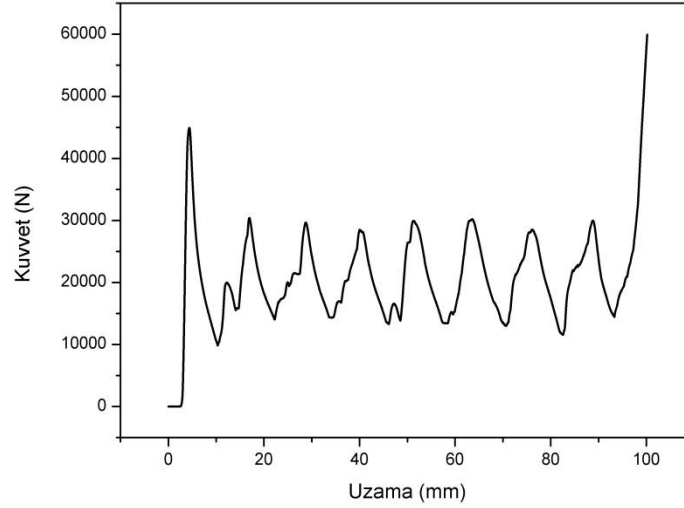
Şekil 5.20. Yuvarlak 100 mm/dk Test 4

Teorik çalışmalarda elde edilen analiz sonuçları aşağıdaki şekil ve çizelgelerde verilmiştir. Alüminyum dikdörtgen profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 15,22 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.21). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 498,4 joule enerji sönümlenmiştir.



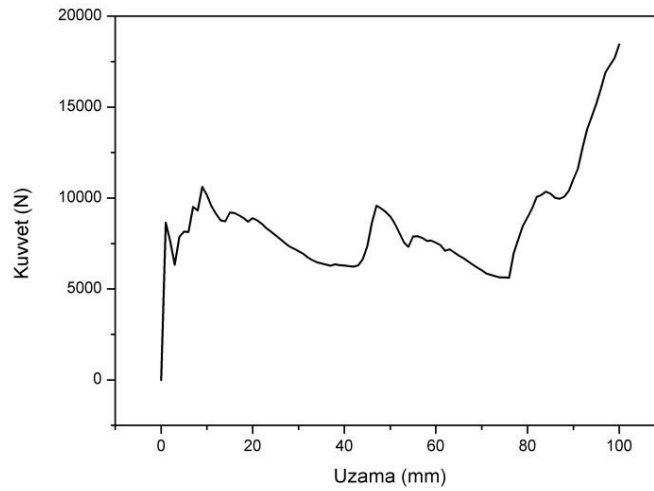
Şekil 5.21. Dikdörtgen kesit profilin simülasyon sonuç grafiği

Alüminyum yuvarlak profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 59,95 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.22). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2061 joule enerji sönümlenmiştir.



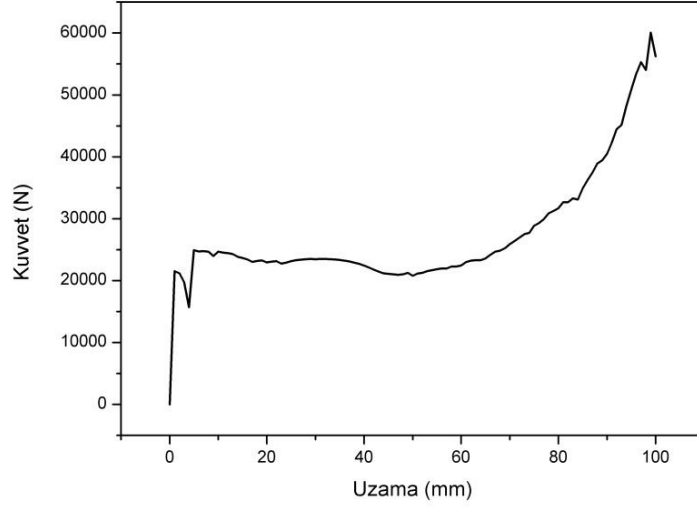
Şekil 5.22. Yuvarlak kesit profilin simülasyon sonuç grafiği

Alüminyum kare kesitli profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 18,44 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.23). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 857 joule enerji sönümlenmiştir.



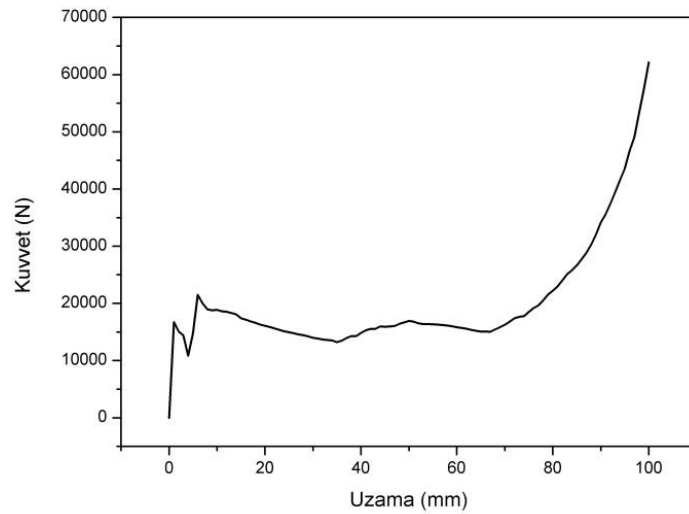
Şekil 5.23. Kare kesitli profilin simülasyon sonuç grafiği

Alüminyum kare kesitli ortalarından desteklenmiş profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 60,05 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.24). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2730 joule enerji sönümlenmiştir.



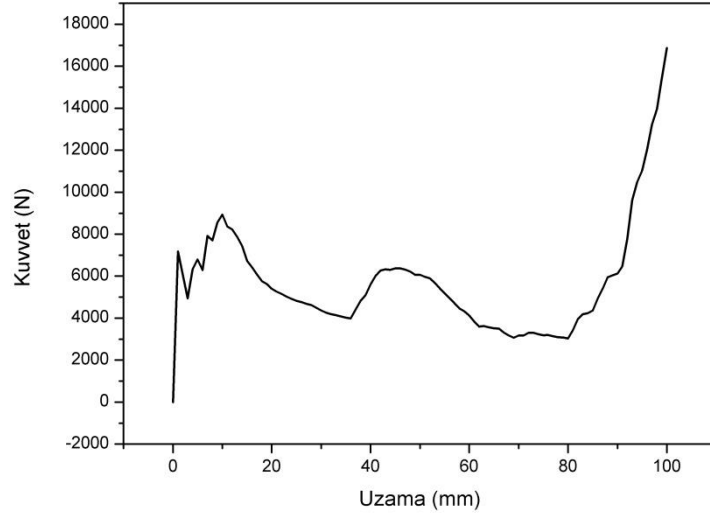
Şekil 5.24. Kare kesit ortalarından desteklenmiş profilin simülasyon sonuç grafiği

Alüminyum kare kesitli köşelerden desteklenmiş profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 62,12 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.25). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2013 joule enerji sönümlenmiştir.



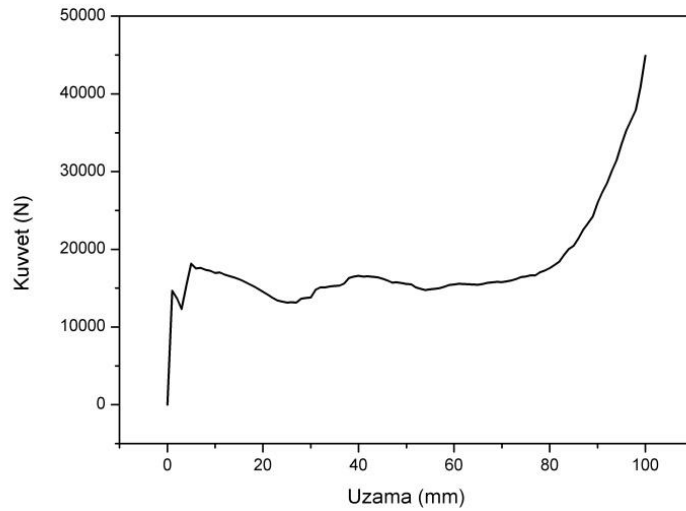
Şekil 5.25. Kare kesitli köşelerden desteklenmiş profilin simülasyon sonuç grafiği

Alüminyum üçgen kesitli profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 16,86 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.26). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 567,5 joule enerji sönmölenmiştir.



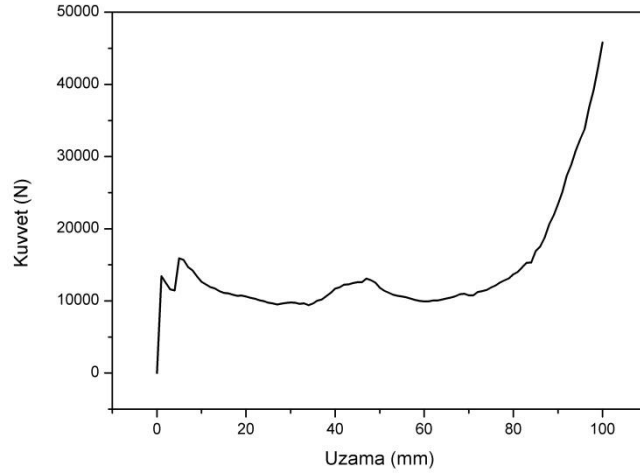
Şekil 5.26. Üçgen kesitli profilin simölasyon sonuç grafiğı

Alüminyum üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 44,91 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.27). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1783 joule enerji sönmölenmiştir.



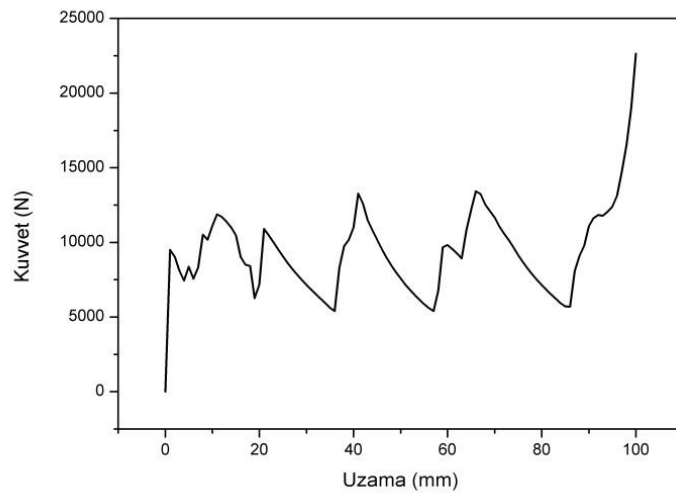
Şekil 5.27. Üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profilin simölasyon sonuç grafiğı

Alüminyum üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 45,81 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.28). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1402 joule enerji sönmölenmiştir.



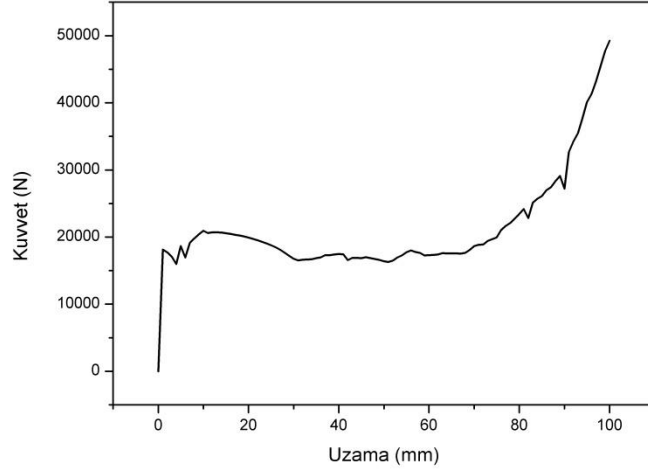
Şekil 5.28. Üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin simölasyon sonuç grafiğı

Alüminyum altıgen kesitli profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 22,63 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.29). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 934,9 joule enerji sönmölenmiştir.



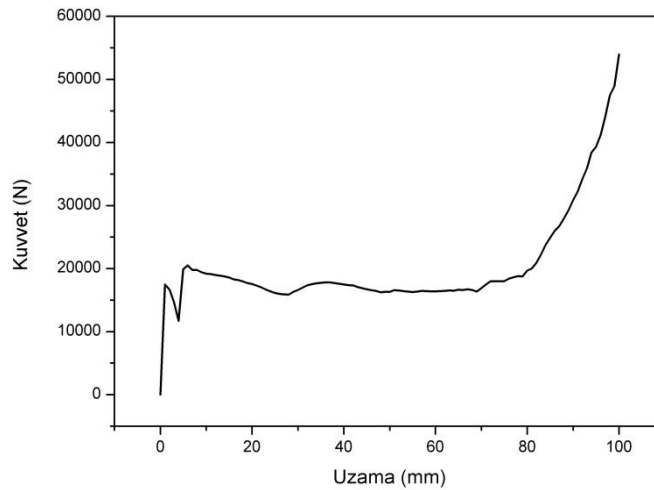
Şekil 5.29. Altıgen kesitli profilin simölasyon sonuç grafiğı

Alüminyum altıgen kesitli ortalarından desteklenmiş profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 49,24 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.30). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2114 joule enerji sönmölenmiştir.



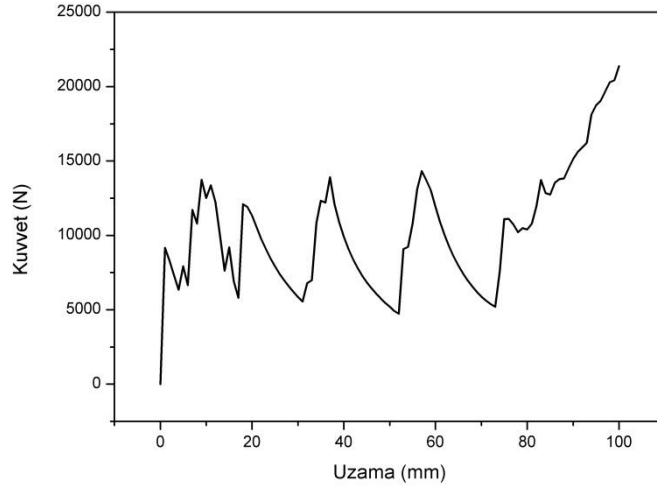
Şekil 5.30. Altıgen kesitli ortalarından desteklenmiş profilin simölasyon grafiğı

Alüminyum altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 53,96 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.31). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2024 joule enerji sönmölenmiştir.



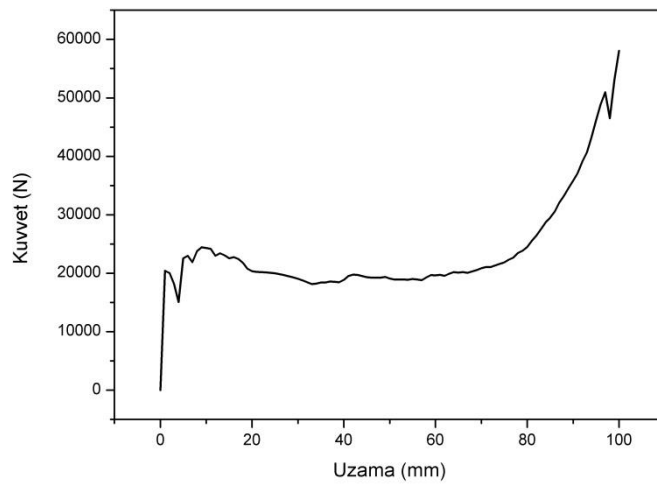
Şekil 5.31. Altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin simölasyon grafiğı

Alüminyum sekizgen kesitli profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 21,37 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.32). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 1024 joule enerji sönmölenmiştir.



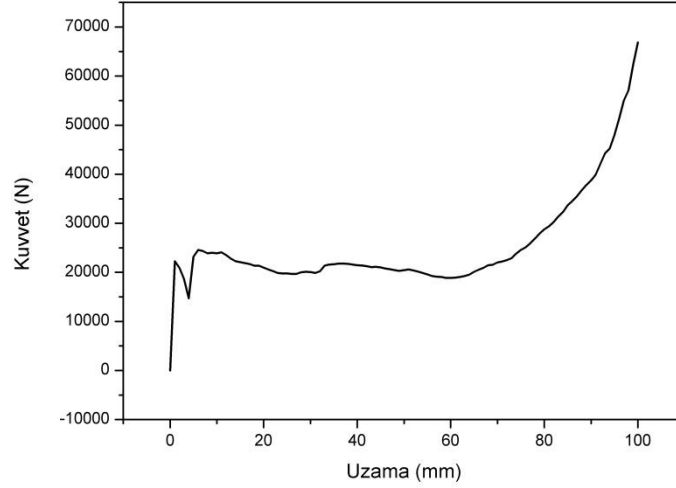
Şekil 5.32. Sekizgen kesitli profilin simölasyon sonuç grafiği

Alüminyum sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 58,04 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.33). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2369 joule enerji sönmölenmiştir.



Şekil 5.33. Sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profilin simölasyon grafiği

Alüminyum sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilden yapılan test sonucunda maksimum çarpışma kuvveti 66,84 kN olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.34). Maksimum çarpışma kuvveti ortalama çarpışma kuvvetinden uzaktadır. Bu testte absorbe edilen enerji miktarı 2532 joule enerji sönümlenmiştir.



Şekil 5.34. Sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin simülasyon grafiği

Dikdörtgen kesit profilin deneysel ve teorik olarak yapılan testlerdeki maksimum çarpışma kuvveti ve absorbe edilen enerji miktarı çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Dikdörtgen kesit profilin deneysel ve teorik sonuçları

		Maksimum Çarpışma Kuvveti (kN)	Absorbe Edilen Enerji Miktarı (Joule)
DENEYSEL	Dikdörtgen 25 mm/dk test 1	15,22	493,7
	Dikdörtgen 25 mm/dk test 2	15,70	553,9
	Dikdörtgen 25 mm/dk test 3	15,54	516,8
	Dikdörtgen 50 mm/dk test 1	15,78	520,6
	Dikdörtgen 50 mm/dk test 2	15,68	511,9
	Dikdörtgen 50 mm/dk test 3	15,02	507,7
	Dikdörtgen 100 mm/dk test 1	17,58	593,0
	Dikdörtgen 100 mm/dk test 2	14,97	460,4
	Dikdörtgen 100 mm/dk test 3	14,79	497,8
	Dikdörtgen 100 mm/dk test 4	15,83	529,7
TEORİK	Dikdörtgen simülasyonu	15,22	498,4

Çizelge 5.1’de dikdörtgen kesit profile yapılan deneysel testler ve yapılan simülasyon sonucunda da görüldüğü üzere test hızının, absorbe edilen enerji miktarına etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Deneysel testlerde absorbe edilen enerji miktarı ortalama 518 Joule’dür. Simülasyon sonucu teorik değer de ise bu değer 498,4 Joule’dür. Deneysel yöntemle yapılan test sonucuna göre % 4 hata değeri vardır.

Yuvarlak kesit profilin deneysel ve teorik olarak yapılan testlerdeki maksimum çarpışma kuvveti ve absorbe edilen enerji miktarı çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Yuvarlak kesit profilin deneysel ve teorik sonuçları

		Maksimum Çarpışma Kuvveti (kN)	Absorbe Edilen Enerji Miktarı (Joule)
DENEYSEL	Yuvarlak 25 mm/dk test 1	50,23	2059
	Yuvarlak 25 mm/dk test 2	57,77	2049
	Yuvarlak 25 mm/dk test 3	44,95	1801
	Yuvarlak 50 mm/dk test 1	53,45	2099
	Yuvarlak 50 mm/dk test 2	44,39	1980
	Yuvarlak 50 mm/dk test 3	48,87	2063
	Yuvarlak 100 mm/dk test 1	45,27	1984
	Yuvarlak 100 mm/dk test 2	45,86	1970
	Yuvarlak 100 mm/dk test 3	46,09	1969
	Yuvarlak 100 mm/dk test 4	45,93	1987
TEORİK	Yuvarlak simülasyonu	59,95	2061

Çizelge 5.2’de yuvarlak kesit profile yapılan deneysel testler ve yapılan simülasyon sonucunda da görüldüğü üzere test hızının, absorbe edilen enerji miktarına etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Deneysel testlerde absorbe edilen enerji miktarı ortalama 1996,1 Joule’dür. Simülasyon sonucu teorik değer de ise bu değer 2061 Joule’dür. Deneysel yöntemle yapılan test sonucuna göre % 3,2 hata değeri vardır.

Dikdörtgen kesit profilin spesifik enerji absorpsiyonu çizelge 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Dikdörtgen kesit profilin spesifik enerji absorbsiyonu

		Spesifik Enerji Absorbsiyonu (Joule/Kg)
DENEYSEL	Dikdörtgen 25 mm/dk test 1	6957,44
	Dikdörtgen 25 mm/dk test 2	7805,81
	Dikdörtgen 25 mm/dk test 3	7282,98
	Dikdörtgen 50 mm/dk test 1	7336,53
	Dikdörtgen 50 mm/dk test 2	7213,92
	Dikdörtgen 50 mm/dk test 3	7154,74
	Dikdörtgen 100 mm/dk test 1	8356,82
	Dikdörtgen 100 mm/dk test 2	6488,16
	Dikdörtgen 100 mm/dk test 3	7015,22
	Dikdörtgen 100 mm/dk test 4	7464,77
TEORİK	Dikdörtgen simülasyonu	7023,67531

Çizelge 5.3’de görüldüğü üzere dikdörtgen kesit profilin deneysel ve teorik testler sonucunda absorbe ettikleri enerji miktarları sonucunda, spesifik enerji absorbsiyon değerleri hesaplanmıştır. Deneysel testlerdeki ortalama spesifik enerji absorbsiyon değeri 7307,63 Joule/kg ‘dır. Simülasyon sonucunda teorik değerde ise bu değer 7023,67 Joule/kg ‘dır.

Yuvarlak kesit profilin spesifik enerji absorbsiyonu çizelge 5.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Yuvarlak kesit profilin spesifik enerji absorpsiyonu

		Spesifik Enerji Absorpsiyonu (Joule/Kg)
DENEYSEL	Yuvarlak 25 mm/dk test 1	41705,49
	Yuvarlak 25 mm/dk test 2	41502,94
	Yuvarlak 25 mm/dk test 3	36479,64
	Yuvarlak 50 mm/dk test 1	42515,70
	Yuvarlak 50 mm/dk test 2	40105,33
	Yuvarlak 50 mm/dk test 3	41786,51
	Yuvarlak 100 mm/dk test 1	40186,35
	Yuvarlak 100 mm/dk test 2	39902,77
	Yuvarlak 100 mm/dk test 3	39882,52
	Yuvarlak 100 mm/dk test 4	40247,11
TEORİK	Yuvarlak simülasyonu	41746,00

Çizelge 5.4’de görüldüğü üzere yuvarlak kesit profilin deneysel ve teorik testler sonucunda absorbe ettikleri enerji miktarları sonucunda, spesifik enerji absorpsiyon değerleri hesaplanmıştır. Deneysel testlerdeki ortalama spesifik enerji absorpsiyon değeri 40431,43 Joule/kg ‘dır. Simülasyon sonucunda teorik değerde ise bu değer 41746 Joule/kg ‘dır.

Kare kesitli profil, kare kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve kare kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Kare kesitli profil, kare kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve kare kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu

		Spesifik Enerji Absorpsiyonu (Joule/Kg)
TEORİK	Kare Kesit Profil	10839,87
	Kare Kesitli Ortarlardan Desteklenmiş Profil	23307,44
	Kare Kesitli Köşelerden Desteklenmiş Profil	16744,30

Üçgen kesitli profil, üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Üçgen kesitli profil, üçgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve üçgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu

		Spesifik Enerji Absorpsiyonu (Joule/Kg)
TEORİK	Üçgen Kesit Profil	8064,52
	Üçgen Kesitli Ortarlardan Desteklenmiş Profil	19727,82
	Üçgen Kesitli Köşelerden Desteklenmiş Profil	12964,68

Altıgen kesitli profil, altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Altıgen kesitli profil, altıgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve altıgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorpsiyonu

		Spesifik Enerji Absorpsiyonu (Joule/Kg)
TEORİK	Altıgen Kesit Profil	13126,93
	Altıgen Kesitli Ortarlardan Desteklenmiş Profil	22175,60
	Altıgen Kesitli Köşelerden Desteklenmiş Profil	19623,81

Sekizgen kesitli profil, sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorbsiyonu çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. Sekizgen kesitli profil, sekizgen kesitli ortarlardan desteklenmiş profil ve sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profilin spesifik enerji absorbsiyonu

		Spesifik Enerji Absorbsiyonu (Joule/Kg)
TEORİK	Sekizgen Kesit Profil	14697,86
	Sekizgen Kesitli Ortarlardan Desteklenmiş Profil	21983,63
	Sekizgen Kesitli Köşelerden Desteklenmiş Profil	21676,23

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ince saclardan yapılmış alüminyum tüplerin enerji emilim performansları incelenmiştir. Çalışmalar deneysel ve teorik olarak iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda dikdörtgen ve yuvarlak kesitli alüminyum profillere basma testi uygulanmıştır. Basma testi üç farklı hızda yapılmıştır. Teorik çalışmalarda ise ondört farklı geometriye Abaqus programında basma testi simülasyonları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Boy, genişlik ve çevre uzunlukları aynı olan farklı kesit geometrisine sahip ince saclardan yapılmış alüminyum tüplerin çarpışma analizleri yapılmış olup kesit geometrisinin absorbe edilen enerji miktarlarında ciddi etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Çarpışma performansı bakımından en iyi sonucu sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş profil vermiştir.
- Spesifik enerji absorpsiyonu sonucuna bakıldığında kenar uzunlukları, boyları ve genişlikleri aynı olan modellerde ortalarından desteklenince, köşelerden desteklenen modellere göre daha iyi sonuç verdiği sonucuna varılmıştır.
- Aynı ağırlığa sahip farklı kesitlerdeki alüminyum tüplerin maksimum çarpışma kuvvetine bakıldığında en iyi sonucu sekizgen kesitli köşelerden desteklenmiş modelin verdiği sonucuna varılmıştır.
- Aynı boy'a sahip farklı hızlarda alüminyum tüplere uygulanan testlerde absorbe ettiği enerji miktarında ciddi bir değişiklik gözlemlenmemiştir.
- Aynı boy'a sahip farklı hızlarda alüminyum tüplere uygulanan testlerde maksimum çarpışma kuvvetinde ciddi bir değişiklik gözlemlenmemiştir.
- İlerde yapılacak tez çalışmalarında aşağıdaki maddeler önerilebilir.
- Farklı kalınlıklarda yapılarak boy / kalınlık oranının çarpma performansına etkisi incelenebilir.
- Farklı simülasyon programları kullanılarak karşılaştırma yapılabilir.
- Tez kapsamında kullanılan geometrilerden farklı geometrilere sahip tüplerin absorbe ettiği enerji miktarları araştırılabilir.

- Farklı boylarda yapılarak, boy'un çarpma performansına etkisi araştırılabilir.
- Üretim yöntemi değişmesinin çarpma performansına etkisi araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2020-37436>, 2020.
- [2] http://www.caricos.com/cars/a/audi/2016_audi_q7/images/97.html 20 Nisan 2018
- [3] Balaji, G. ve Annamalai, K. An experimental and numerical scrutiny of crashworthiness variables for square column with V-notch and groove initiators under quasi-static loading. Cogent Engineering, India, DOI 10.1080/23311916.2017.1364118, 2017.
- [4] Abramowicz W. , Dynamic axial crushing of square tubes, Int.J.Impact Engineering, Great Britain, Vol.2, No.2, pp.179-208, 1984.
- [5] Daneshi, G.H., Energy absorbtion and mean crushing load of thin-walled grooved tubes under axial compression, WIT Press, Iran, ISBN 1-85312-911-9, 2003.
- [6] Adachi, T., Energy absorption of a thin-walled cylinder with ribs subjected to axial impact, Int.J.Impact Engineering, Japan, 35 (2008) 65–79, 2006.
- [7] Poonaya, S., An Analysis of Collapse Mechanism of ThinWalled Circular Tubes Subjected to Bending, World Academy of Science Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, Thailand, Vol:1, No:11, 2007.
- [8] Mirfendereski, L., Parametric study and numerical analysis of empty and foam-filled thin-walled tubes under static and dynamic loadings, International Journal of Mechanical Sciences, Iran, 50 (2008) 1042– 1057, 2008.
- [9] Kim, H., Cumulative Impact Damage Evaluation of Automotive Aluminum Bumper Beam, International Journal of Mechanical Sciences, USA, 42 (2000) 1947-1970 2008.
- [10] Alavi, A., Comparative analysis of energy absorption and deformations of thin walled tubes with various section geometries, Thin-Walled Structures, Iran, DOI 10.1016/j.tws.2010.07.003, 2010.
- [11] Hou, S., Crashworthiness optimization of new thin-walled cellular configurations, Engineering Computations: International Journal for Computer-

- Aided Engineering and Software, Australia, DOI 10.1108/EC-11-2012-0300, 2012.
- [12] Alavi, A., Comparative analysis of energy absorption capacity of simple and multi-cell thin-walled tubes with triangular, square, hexagonal and octagonal sections, Thin-Walled Structures, Iran, DOI 10.1016/j.tws.2013.10.005, 2014.
- [13] Tanlak, N., Optimal Shape Design of Thin-Walled Tubes Under High-Velocity Axial Impact Loads, Thin-Walled Structures, Turkey, DOI 10.1016/j.tws.2014.07.003, 2014.
- [14] Zhu, G., Experimental and numerical investigation into axial compressive behavior of thin-walled structures filled with foams and composite skeleton, International Journal of Mechanical Sciences, China, DOI 10.1016/j.ijmecsci.2016.12.019, 2017.
- [15] Beytüt, H., Effect of forming history on crashworthiness of a spot-welded and double-hat elliptical thin-walled tube, European Journal of Technique, Turkey, DOI 10.36222/ejt.621147, 2019.
- [16] Murat Altın, Investigation of performances of energy absorbing profiles having different geometries under oblique loads, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Turkey, DOI 10.17341/gazimmfd.460549, 2019.
- [17] Rahim, M., Energy absorption characteristics of thin-walled sinusoidal corrugated tube using RSM-CCD, Production Engineering Archives, India, DOI 10.30657/pea.2020.26.27, 2020.
- [18] He, S., Damage-Plastic Constitutive Model of Thin-Walled Circular Steel Tubes for Space Structures, American Society of Civil Engineers, Wales, DOI 10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001844, 2020.
- [19] <https://volkanatabey.com.tr/abaqus-programi-ve-kullanim-alanlari/>
- [20] Simon, P., A Numerical Performance Comparison of a DualPhase Steel and Aluminium Alloy Bumper Bar System, International Journal of Crashworthiness, Australia, DOI 10.1080/13588261003696441, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Sait Ozan Yılmaz
2. Doğum Tarihi :
3. Ünvanı : Makine Mühendisi
4. Öğrenim Durumu : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Çukurova Üniversitesi	2019
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2022



OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

FORM
YL11

OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 02/09/2022

Tez Başlığı / Konusu: **İNCE SACLARDAN YAPILMIŞ PRİMATİK YAPILARIN ENERJİ EMİLİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract, c) Giriş, d) Ana bölümler ve e) Sonuç, f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam **66** sayfalık kısmına ilişkin, 02/09/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme tiplerinden biri uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **% 17** 'dir.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30) ☒

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dahil,
- 4- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10) ☐

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar hariç,
- 4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Sait Ozan YILMAZ

Öğrenci No:

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı:

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

RAPORU DÜZENLEYEN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

(Unvan, Ad Soyad, İmza)