



**ARAÇ TAMPONLARINDA FARKLI MALZEME VE
KONSTRÜKSİYONLARIN ÇARPMA DAYANIMINA
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Tevfik Can ÖZGÜR



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARAÇ TAMPONLARINDA FARKLI MALZEME VE
KONSTRÜKSİYONLARIN ÇARPMA DAYANIMINA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Tevfik Can ÖZGÜR

ORCID No: 0000-0002-7749-8551

Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2020

TEZ ONAYI

Tevfik Can ÖZGÜR tarafından hazırlanan "Araç Tamponlarında Farklı Malzeme ve Konstrüksiyonların Çarpma Dayanımına Etkisinin Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Başkan : Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fak,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Betül G. ÇAKAN
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fak,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE
Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bil. Müh. Fak.,
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

...././...

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

.././....

İmza

Tevfik Can ÖZGÜR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ARAÇ TAMPONLARINDA FARKLI MALZEME VE KONSTRÜKSİYONLARIN ÇARPMA DAYANIMINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Tevfik Can ÖZGÜR

Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Bu çalışmada; araçlarda darbe sönümlenme amacıyla kullanılan çarpma kutusu ve tampon raylarının yenilikçi malzeme ve kesit tasarımlarının yapılması ve deneysel geliştirme ile çarpma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Tampon rayının ardında konumlandırılan darbe sönümleyici çarpma kutuları, darbenin aracın şasisine aktarılmasını en aza indirme fonksiyonuna sahiptir. Metal kutularda katlanarak şekil değiştirme yolu ile darbenin absorbe edilmesi veya kutu içerisine konan malzemeler yardımıyla sönümlenmesi ve tampon rayı bölgesinde dayanımın artırılması gibi temel hedefler göz önüne alınmıştır. Araçlarda kullanılan tampon rayları ve çarpma kutuları olası bir kaza durumunda ortaya çıkan çarpma enerjisini sönümleyerek aracın şasi bağlantısına bu etkinin daha az bir şekilde iletilmesini sağlayan sönümleyici komponentlerdir. Bu görevlerinden dolayı araçlarda bu parçalar kritik öneme sahiptir. Gelişen otomobil teknolojisiyle birlikte ağırlık azaltma çalışmaları büyük bir öneme sahip olacaktır. Bu çalışmada, farklı tampon tasarımları yapılarak, bu tasarımlar içerisinde optimum iki tasarım seçilerek aralarındaki yapısal farklar gözlemlenecektir. İlk tasarımda metal çarpma kutuları içerisine sönümlenme kabiliyetini artırma amaçlı alüminyum köpük kullanılacaktır. Tampon rayı ile arka kapak arasında T300 karbon fiber malzeme kullanılarak analizlerde etkisi araştırılacaktır. İkinci tasarımda ise çarpma kutuları için bal peteği yapısı denemesi uygulanacaktır. Çarpma kutusunun dış yanakları metal, içerisine termoplastik malzeme olan TPU malzemesi ile deneme yapılacaktır. TPU termoplastik malzemesinin analizlerde etkisi araştırılacaktır. Tasarım değişkeni olarak bir önceki tasarımda olduğu gibi T300 karbon fiberin de dayanıma etkisi incelenecektir. TPU termoplastik malzemenin kullanıldığı bal peteği yapısının hangi yönde daha fazla enerji sönümlediği konusunda yön tercihi için sonlu eleman analizleri yapılacaktır. Fiziksel testlerle sanal analizlerin doğrulaması yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ön tampon, Çarpma kutusu, Kompozit malzeme, Sonlu elemanlar analizi, T300 Karbon Fiber, Alüminyum köpük, TPU, Bal peteği tasarım, Optimum tasarım, Serbest düşme test

ABSTRACT

MScThesis

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF DIFFERENT MATERIAL AND CONSTRUCTIONS ON CRASH STIFFNESS OF THE VEHICLE BUMPER BEAM

Tevfik Can ÖZGÜR

Bursa Uludağ University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor:Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

In this study; Innovative material and cross-sectional design of crash box and bumper rails used for impact absorption in vehicles and their effect on crashworthiness were investigated. The impact absorber crashboxes located behind the bumper rail have the function of minimizing the transmission of impact to the vehicle chassis. In metal crash boxes, basic objectives such as absorbing the impact by folding deformation or absorption by means of materials placed in the box and increasing the strength in the bumper rail region have been considered. The bumper rails and crash boxes used in vehicles are absorbing components that absorption the impact energy generated in the event of a possible accident and provide less transmission of this effect to the vehicle chassis. Therefore, these parts are critical in the vehicles. Weight reduction studies will be great importance with the developing automotive technology. In this study, different bumper designs will be made, and the optimum two designs will be selected and the structural differences between them will be observed. In the first design, aluminum foam will be used to increase the absorptiongrad in metal crashboxes. T300 carbon fiber material between the bumper rail and the back bumper rail will be investigated in the analysis. In these designs, honeycomb structure test will be applied for crash boxes. The outer side of the crash box will be tested with metal and thermoplastic material of TPU. The effect of TPU thermoplastic material in the analysis will be investigated. The effect of T300 carbon fiber on strength as the design variable in the previous design will be examined. Finite element analysis will be performed to determine the direction in which the honeycomb structure using TPU thermoplastic material absorbs more energy. Verification of virtual analysis with physical tests will be performed.

Key Words: Front Bumper, Crash Box, Composite Material, Finite Element Analysis, T300 Carbon fiber, Aluminium Foam, TPU, Honeycomb Design, Optimum Design, Drop Test

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve tezin oluŐun aşamasında bilgi ve desteğini hiğbir zaman esirgemeyen, saygıdeğer hocam ve danıŐmanım Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR'a ve tım diğer hocalarıma sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalıŐmalarım ve tez çalıŐmalarımda yardımlarını esirgemeyen Őirketim AKA Otomotiv ve AKA Otomotiv'de bulunan tım çalışma arkadaşlarıma baŐta Serkan ÖZŐAHİN'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1. Çalışmada Kullanılan Numune Gruplarının Belirlenmesi	8
3.2. Ön tampon tasarımda kullanılan malzemeler hakkında bilgiler	8
3.2.1. Saç Malzemeler Hakkında Genel Bilgiler.....	8
3.2.2. Carbon Fiber Hakkında Genel Bilgiler	10
3.2.3. Alüminyum Hakkında Genel Bilgiler	11
3.2.4. TPU Mazlemesi Hakkında Genel Bilgiler	12
3.3. Grup 1: 2 tane tasarlanmış ön tampon çalışması.....	13
3.3.1. Ön tampon tasarımlarının incelenmesi.....	13
3.3.2. Ön tampon tasarımlarının sonlu elemanlar modeli incelemesi	15
3.3.3.Öntampon tasarımının testi	17
3.4. Grup 2: Bal Peteği Çalışması	19
3.4.1. Bal Peteği tasarımlarının incelenmesi.....	19
3.4.2. Bal Peteği tasarımlarının sonlu elemanlar modeli incelemesi	21
3.4.3. Bal Peteği tasarımlarının test çalışması.....	22
3.5. Grup 2: Bal Peteği Çalışması	23
3.5.1. Serbest düşme test düzeneği çalışmaları	23
4. BULGULAR.....	25
4.1. Grup 1: 2 tane tasarlanmış ön tampon çalışması	25
4.2. Grup 2: Bal peteği tasarımı çalışması.....	26
4.3. Grup 3:Farklı kalınlıklardaki darbe sönümleyici çarpma kutularının serbest düşme testi düzeneğinde değerlerinin incelenmesi	27
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	29
KAYNAKLAR	31
EKLER.....	32
EK 1. 1 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Gerilme Değeri	35
EK 2. 1 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Stres Değeri	35
EK 3. 1 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Gerilme Değeri	36
EK 4. 1 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Stres Değeri	36
EK 5. 1 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Gerilme Değeri	37

EK 6. 1 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Stres Değeri	37
EK 7. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri.....	38
EK 8. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri.....	38
EK 9. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.	39
EK 10. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Degeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.	39
EK 11. 2 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Gerilme Değeri	40
EK 12. 2 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Stres Değeri	40
EK 13. 2 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Gerilme Değeri	41
EK 14. 2 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Stres Değeri	41
EK 15. 2 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Gerilme Değeri	42
EK 16. 2 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Stres Değeri	42
EK 17. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri.....	43
EK 18. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri.....	43
EK 19. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.	44
EK 20. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Degeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır	44
EK 21. Bal peteği üstten uygulanan yük	45
EK 22. Bal peteği yandan uygulanan yük	45
EK 23. Bal peteği tasarımı parça boyu iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük...46	
EK 24. Bal peteği tasarımı parça boyu iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük.46	
EK 25. Bal peteği tasarımı hücre sayısı iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük .47	
EK 26. Bal peteği tasarımı hücre sayısı iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük47	
EK 27. Bal peteği tasarımı hücre boyutu iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük48	
EK 28. Bal peteği tasarımı hücre boyutu iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük	48
Ek 29. Bal peteği tasarımı kalınlık iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük	49
Ek 30. Bal peteği tasarımı kalınlık iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük	49
Ek 31. Bal peteği tasarımı basma x ve y yönü test sonucu	50
Ek 32. Bal peteği tasarımı basma z yönü test sonucu	51
Ek 33. Darbe sönümleyici ince cidarlı 1kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği	52
Ek 34. Darbe sönümleyici ince cidarlı 0,5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği	52
Ek 35. Darbe sönümleyici ince cidarlı 1 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği	53
Ek 36. Darbe sönümleyici kalın cidarlı 0,5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği	53
Ek 37. Darbe sönümleyici kalın cidarlı 1 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği	54
Ek 38. Darbe sönümleyici kalın cidarlı 3 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği	54
Ek 39. Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 3 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği.....	55
Ek 40. Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği.....	55

Ek 41. Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 7 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği.....	56
Ek 42. Darbe sönümleyici ince cidarlı alüminyum dolgulu 3 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği.....	56
Ek 43. Darbe sönümleyici ince cidar +alüminyum köpük/ kalın cidarlı/ ince cidarlı braket deplasman grafiği	57
ÖZGEÇMİŞ.....	58



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
FEA	Finite Element Analysis
CAE	Computer Aided Engineering
MPH	Mile Per Hour
ECE R-42	Europe Regulations on Low-Speed Bumper Impact
KM/H	Kilometers Per Hour
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer
RCAR	Research Council for Automobile Repairs
GMT	Glass-Mat Thermoplastic
GM	TexGlass Mat Reinforced Thermoplastics with Continuous Fibres
GMT-UD	Glass-Mat Thermoplastic Unidirectional

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yıllara Göre Hedeflenen Emisyon Değerleri	1
Şekil 1.2. Pendulum Gösterimi	2
Şekil 1.3. Tampon Araç Üstü Konum ve Hızları.....	2
Şekil 2.1. Alüminyum Köpük Dolgusu	4
Şekil 2.2. Çok Malzemeli Süper Hafif Araç(Multi Material- Super Light Car).....	5
Şekil 2.3. Kuvvet-Zaman Grafiği ve Yer Değiştirme-Zaman Grafiği	6
Şekil 3.1. Sıcak Haddeleme Prosesi.....	9
Şekil 3.2. MSC Apex Sonlu Elemanlar Modeli Sac Malzeme Değerleri	10
Şekil 3.3. MSC Apex Sonlu Elemanlar Modeli T300 Karbon Fiber Malzeme Değerleri	11
Şekil 3.4. MSC Apex Sonlu Elemanlar Modeli Alüminyum Malzeme Değerleri	12
Şekil 3.5. MSC Apex Sonlu Elemanlar Modeli TPU Malzeme Değerleri	13
Şekil 3.6. İlk Ön Tampon Tasarımı	14
Şekil 3.7. İkinci Ön Tampon Tasarımı.....	14
Şekil 3.8. Ön Tampon Tasarımlarının Sonlu Elemanlar Modelindeki Sabitleme Noktaları.....	16
Şekil 3.9. Ön Tampon Tasarımlarının Sonlu Elemanlar Modelindeki Yük Uygulama Noktaları.....	17
Şekil 3.10. Ön Tampon Test Mekanizması.....	18
Şekil 3.11. Ön Tampon Tasarımının Test Sonucu.....	18
Şekil 3.12. Ön Tampon Tasarımı Testi Kuvvet-Zaman Grafiği	19
Şekil 3.13. Bal Peteği Tasarım Çalışması 1	20
Şekil 3.14. Bal Peteği Tasarım Çalışması 2	20
Şekil 3.15. 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Bal Peteği Örnekleri	20
Şekil 3.16. Bal Peteği Tasarımı Kuvvet Uygulama Yönleri.....	21
Şekil 3.17. Bal Peteği Tasarımının Sabitleme	22
Şekil 3.18. Serbest Düşme Mekanizması.....	23
Şekil 4.1. Ön Tampon Tasarımının Test Kuvvet Zaman Grafiği	26

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Malzeme Özellikleri.....	6
Çizelge 3.1: Karbon Fiber Malzeme Değeri.....	11
Çizelge 3.2: Serbest Düşme Mekanizmasında Yapılan Testler Hakkındaki Bilgiler.....	24
Çizelge 4.1: Grup 1 Numunelerine Ait Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları.....	25
Çizelge 4.2: Grup 2 Numunelerine ait Sonlu Elemanlar Analizleri Sonuçları.....	27
Çizelge 4.3: Grup 2 Numunelerine Ait Basma Test Sonuçları.....	27
Çizelge 4.4: Grup 3 Numunelerinde Serbest Düşme Düzenğinde Elde Edilen Sonuçlar	28



1.GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde her zaman çarpışma güvenliği en kritik tasarım kriterlerindedir. Birçok çarpışma kazalarında, ön tampon yolcuları ve arabayı koruyan sistem olarak görev alır. Araç ön tamponu iki ana kısımdan oluşur: Ön tamponun rayı ve Çarpma kutusu. Ön tampon tasarımı kamyonlar da dahil bütün araç segmentlerinde hemen hemen benzerdir. Ancak günümüzün yenilikçi tasarımlarında ön tampon tasarımı da önemli bir paya sahip olacaktır.

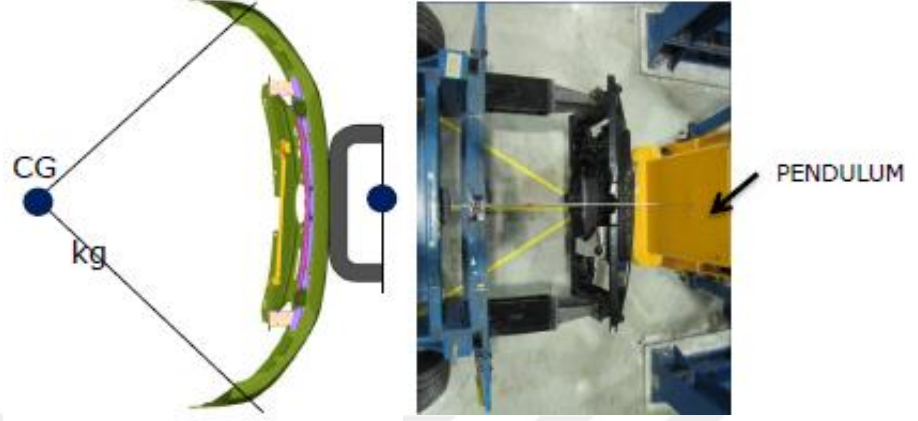
Yakıt tüketiminin egzoz emisyonu ve araç ağırlığı ile direkt ilişkisi vardır. Yeni yasaların düzenlenmesiyle; egzoz emisyonunun düşürülme zorunluluğu ve artan benzin fiyatlarıyla otomotiv sektörünün en önemli kısıtları arasına ağırlık azaltma da eklenmiştir. 2008 yılından beri yürütülen bu ağırlık azaltma çalışmalarında yaklaşık olarak %20 oranında ağırlık azalması gözlemlenmiştir, Şekil 1.1.



Şekil 1.1 Yıllara Göre Hedeflenen Emisyon Değerleri

Sac malzemeler ön tampon tasarımlarında en yaygın kullanılan malzemedir. Günümüzde sac malzemeler yerine alüminyum malzemeler de ön tampon tasarımında kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum malzemelerin kullanımıyla yaklaşık %40 oranında ağırlık azalımı sağlanmıştır. Diğer bir farklı uygulama da daha hafif tasarımlar için kompozit malzeme kullanımıdır. Özellikle elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler yüksek dayanım değerleri ile tampon ve çarpma kutusu tasarımları için yeni alternatifler olarak değerlendirilmeye başlanmıştır.

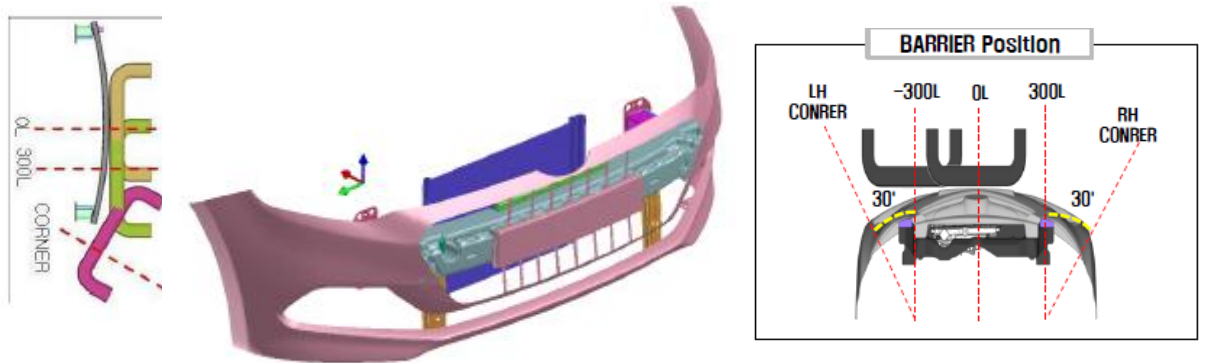
Ön tamponlar için ECE R-42 regülasyonuna uygun olan pendulum sistemi düzeneği Şekil 1.2’de gösterilmiştir. ECE regülasyonları hakkında daha detaylı bilgi için



Şekil 1.2 Pendulum Gösterimi

Düşük hızda çarpışma testinin yön ve hızları; merkezden (0L) 2,7 MPH hızla, 300L veya -300L konumunda 2,7 MPH hızla, sol ve sağ köşeden 1,6 MPH hızla 30°'lik açılarla olmak üzere farklı yönlerde gerçekleşir. Hızlar ve yönler Şekil 1.3’de tampon üzerinde gösterilmiştir.

- 0L : 2,7 MPH
- 300L : 2,7 MPH
- Corner : 1,6 MPH



Şekil 1.2 Tampon Araç Üstü Konum ve Hızları

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Wang ve Li (2015) çalışmalarında, ECE R-42 normuna göre düşük hızda çarpışma analizinde sonlu elemanlar modeli ile kalınlık ve malzeme üzerinde inceleme yapmıştır. Yapılan çalışmada ana hedef ürünün ağırlığının azaltılmasıdır. Bu nedenle, öncelikle karbon fiber kompozit ve sac malzeme için yer değiştirmeler, ağırlıklar ve enerji sönümlenme değerleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, karbon fiber malzemedan yapılmış tasarımın daha uygun sonuçlar verdiği anlatılmaktadır. Ayrıca farklı kalınlıklardaki tampon tasarımları için de analizler gerçekleştirilmiş ve en uygun değerlerin 5,4 mm kalınlıktaki tasarımla elde edileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Niyazi Tanlak, Fazıl Sönmez, Mahmut Şenaltun (2015) çalışmalarında yüksek hızda darbe yüklerinin altında tampon çarpma kutularının şekil optimizasyonunu araştırmışlardır. Yüksek hızda darbe testi 64 km/h hızla bariyere çarpma testi için kaza modeli sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanmıştır. Genetik ve Nelder&Mead algoritmalarıyla optimizasyonlar yapılmıştır. Mevcut tampon tasarımının bu çalışma ile iyileştirildiği görülmüştür.

Zhao Liu, Jiahai Lu, Ping Zhu (2016) yapmış olduğu çalışmalarda, ön tampon tasarımında ağırlık azaltma için kompozit malzeme kullanımını araştırmışlardır. Kompozit malzemeler yüksek enerji sönümü ve yüksek mukavemete ulaşabilmektedir. Kompozit malzemelerin kullanılmasının çarpışma güvenliği ve ağırlık azaltma için en uygun yol olduğu savunulmaktadır. Ancak kompozit malzemelerin büyük çelişki yarattığı konular olduğu da vurgulanmıştır. Örneğin; kompozitlerin doğrusal olmayan malzeme davranışları ve birçok diğer tasarım girdileri. Çalışmada PSO algoritmasıyla optimum kombinasyon hesaplanmış ve %31,5 oranında ağırlık azaltımı sağlanabileceği görülmüştür.

Guohua Zhu, Zhen Wang, Aigue Cheng ve Guangyao Li (2016) tarafından bu yayında, otomobil egzoz emisyonunu düşürmek için karbon fiber malzeme kullanımı konusu incelenmiştir. Makalede, araç ön tampon tasarımının karbon fiber malzeme kullanılarak

yapılmasının hem en etkili hem de en hafif çözüm olduğu savunulmaktadır. Çalışmada rijitlik değeri en yüksek olan tasarım, düşük hızda çarpışma testinde 2 farklı yükleme hali için test edilmiştir.

A. G. Hanssen, O. S. Hoperstad ve M. Langseth (2001) tarafından bu çalışmada, düşük hızlarda oluşan kazalar için çarpışma kutusu içine alüminyum dolgusunun önemi incelenmiştir. Alüminyum köpük dolgu kullanılan çarpışma kutularının enerji sönmleme değerlerinin tespiti için deneyler yapılmış olup bu deneyler ile ilgili görseller Şekil 2.1’de görülmektedir.

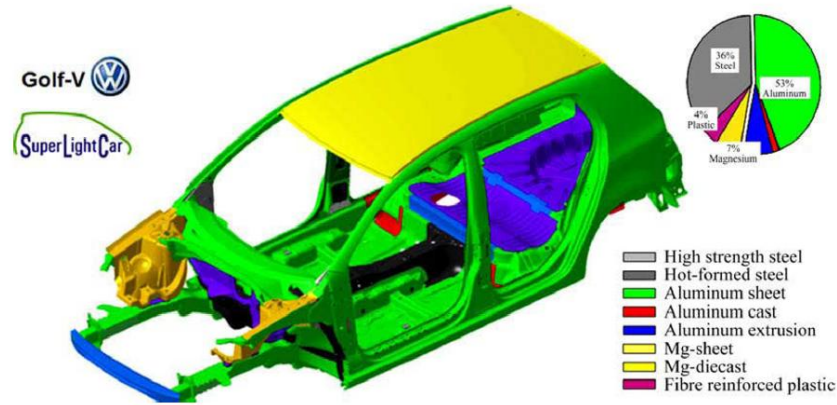


Şekil 2.1. Alüminyum Köpük Dolgusu

M.M. Davoodi, S.M. Sapuan, A. Aidy, N.A. Abu Osman, A.A. Oshkour ve W.A.B. Wan Abas (2012) tarafından sunulan çalışmada, düşük hızlarda oluşan kazalarda oluşan kinetik enerjinin ön tampon tarafından absorbe edilmesi ve yasalarla zorlaştırılan ön tampon tasarımı üzerinde incelemeler yapılmıştır. Yeni tampon tasarımları yolcuların yaralanmalarını engellemeli, düşük hızlı çarpışmalarda şekil değişikliğine uğramamalı, yüksek hızlı çarpışmalarda ise kinetik enerjiyi sönmlemelidir. Tasarım üzerinde yapılan analizler sonucunda, ön tampon tasarımının hem dayanıklı, hem de geri dönüşümü yüksek hafif malzemelerden yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Hee Chul Kim, Dong Kil Shin, JungJu Lee ve Jun Beom Kwon (2014) tarafından sunulan çalışmada, dinamik yük altında alüminyum ve CFRP malzemelerinin aksel katlanması ve çarpışma dayanıklılığı incelenmiştir. Düşük hızda çarpışma testi RCAR regülasyonuna göre 5 farklı diziliş için gözlenmiştir. Her farklı karbon fiber dizilimi farklı darbe dayanım özelliği göstermiştir. Sönümlenen enerji miktarı belirlenip, yapılan testler sonucunda %38 kadar iyileşme sağlanabileceği gözlenmiştir. Bunun yanında, katman kalınlıklarının artırılmasıyla daha iyi sonuçlara ulaşılabileceği anlaşılmıştır.

Jürgen HIRSCH (2014) tarafından yapılan çalışmada ise yenilikçi konsept araç tasarımlarında seçilebilecek en iyi malzemenin alüminyum olabileceği savunulmaktadır. Alüminyum 5xxx ve 6xxx serilerinin yüksek dayanım ve kolay şekillendirebilme özellikleriyle araçlarda ağırlık azaltma için iyi bir alternatif olacağı düşünülmektedir. Makalede, araçların genel olarak ağırlık azaltmak amacıyla kullanılabileceği “çok malzemeli süper hafif araç konsepti” açıklanmıştır. Şekil 2.2’de Volkswagen Golf aracında hangi malzemeler kullanıldığı gösterilmiştir.



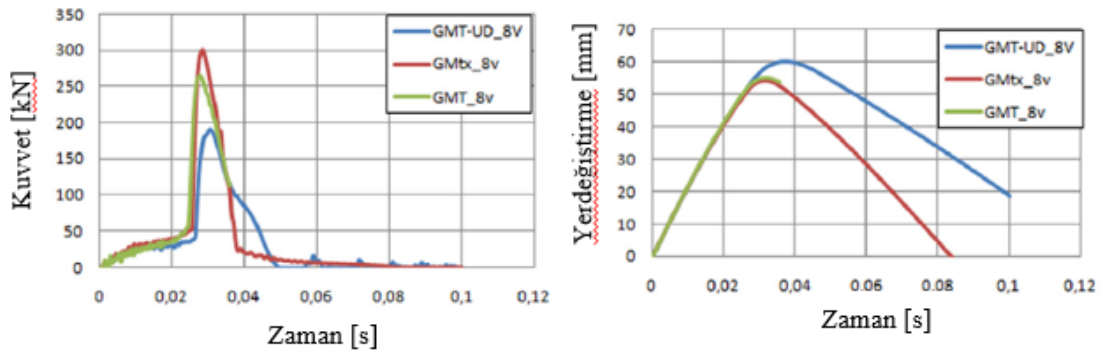
Şekil 2.2. Çok Malzemeli Süper Hafif Araç(Multi Material- Super Light Car)

G. Belingardi, A.T. Beyene, E.G. Koricho, B. Martorana (2015) tarafından yapılan çalışmada, taşıtlarda ağırlık azaltma sürecinde üzerinde çalışılabilecek en uygun parçalardan birinin ön tampon olduğu savunulmaktadır. Ön tamponun kaza anında yolcuları korumak için geliştirildiği ve kaza anında enerjiyi sönümlemek için tasarlandığı anlatılmakta ve üç farklı malzeme kullanılarak imal edilen tamponlar

üzerinde yapılan testlerin sonuçları verilmektedir. Denemelerde; GMT, GMTex ve GMT-UD malzemeleri kullanılmıştır. Çalışmalarda; darbe enerjisi, kaza direnci, enerji sönmleme ve rijitlik değerleri değerlendirme kriteri olarak ele alınmıştır. Çizelge 2.1’de kullanılan malzeme özellikleri gösterilmiştir. Şekil 2.3’de test sonuçlarının kuvvet zaman ve yer değiştirme zaman grafikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1: Malzeme Özellikleri

Özellikler	GMT	GMT UD Boylamasına	GMT UD Enine	GMTex Boylamasına	GMTex Enlemesine
Gerilme Direnci	80,7	180,4	59,2	174,77	170,6
Modül	5,81	11,07	6,48	9,24	6
Poisson Oranı	0,284	0,307	0,217	0,389	0,15



Şekil 2.3. Kuvvet-Zaman Grafiği ve Yer Değiştirme-Zaman Grafiği

Zhi Xiao, Jianguang Fang, Guanyong Sun ve Qing Li (2015) tarafından yapılan çalışmada, ön tampon parçası ölümcül kazalarda araçta bulunan yolcuları koruyan en önemli parça olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışmada, alüminyum köpük dolgulu ön tamponların araç hafifletmedeki ve enerji sönmlemedeki önemi kritik bir şekilde vurgulanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, alüminyum köpük dolgulu ön tamponun mekanik değerleri ve araç üzerindeki konumda sönmleme değerleri incelenmiştir. Alüminyum köpük yoğunluğunun en büyük etkenlerden biri olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonunda, kalınlık değeri azaltılmış alüminyum köpük dolgulu tamponların mevcut tamponlarla karşılaştırmasında % 14,4 oranında ağırlık azaltıldığı tespit edilmiştir.

Fang Zeng, Hui Xie, Qiming Liu, Fan Li ve Wei Tan (2015) tarafından yapılan bu çalışmada, ön tampon tasarımı düşük hızlardaki çarpışmalarda kinetik enerjiyi sönümlerler, yüksek hızlardaki çarpışmalarda ise deformasyon olarak çarpışma enerjisini sönümledikleri anlatılmaktadır. Bu çalışmada, ön tampon tasarımı sonlu elemanlar modeli kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tasarımdaki en önemli etkenlerin malzeme kalitesi, kalınlık ve kompozit tabaka seviyesi olduğu gözlenmiştir.

Do-Hyoung Kim, Hyun-Gyung Kim ve Hak-Sung Kim (2015) tarafından yapılan bu çalışmada, cam elyaf/karbon elyaf katkılı tampon tasarımı incelenmiştir. Bu tasarım, sonlu elemanlar etki analizinde incelenmiştir. Sonrasında yapılan değişikliklerle en uygun tasarım seçilmiştir. GCMT tampon tasarımı, GMT tampon tasarımına kıyasla % 33 oranında daha hafif bir tasarımla aynı etki değerlerini yakalamıştır..

A. G. Hanssen, L. Lorenzi, K. K. Berger, O. S. Hopperstad ve M Langseth (2000) tarafından yapılan bu makalede, alüminyum köpük dolgulu tampon çarpışma kutularını incelemişlerdir. Bu çalışmada doğrusal olmayan sonlu elemanlar programıyla, en uygun tasarım çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, çarpışma kutularının kalınlıkları incelenmiştir. Sonuç olarak araçta ağırlık azalımı sağlanmıştır. Bu çalışmanın çıktıları doğrultusunda, alüminyum köpük kullanımının önemi vurgulanmıştır.

D. K. Park (2014) tarafından yapılan bu makalede, ön tampon tasarımlarının çeşitli darbe koşullarını aynı anda karşılamasının öneminden bahsedilmektedir. En önemli kısmı, darbe etkisi olarak bariyer etkisinden söz edilmektedir. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli kullanılarak, yapılan tasarımların doğruluğu sağlanmıştır. Bu aşamada kullanılan sonlu elemanlar modeli yardımıyla; tasarım optimizasyonu yapılarak, hem zaman hem de maliyet açısından tasarruf yapılabileceğinden bahsedilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan Numune Gruplarının Belirlenmesi

Araç tamponlarında farklı malzeme ve konstrüksiyonların çarpma dayanımına etkisinin araştırılmasında; Yeni tasarımlar, Sonlu elemanlar analizi ve Testler başlıkları altında üç farklı gruptandırma yapılmıştır:

- Grup 1: İki adet ön tampon tasarlanmıştır. Ön tampon tasarımlarının malzeme seçimleri tamamlandıktan sonra sonlu elemanlar analizleri modeli oluşturularak sonuçları incelenmiştir. Ardından bu testlerin fiziksel gerçek testi yapılmıştır.
- Grup 2: Bal peteği tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan bal peteğinin sonlu elemanlar modeli oluşturularak hangi yönde daha fazla enerji sönümlendiği incelenmiştir. Tasarlanan bal peteği üç boyutlu yazıcıda üretilerek çekme testi gerçekleştirilmiştir.
- Grup 3: Farklı kalınlıklardaki darbe sönümleyici çarpma kutularının serbest düşme testi düzeneğinde kuvvet zaman enerji eğrileri ve kuvvet deplasman enerji eğrilerinin oluşturulup incelenmiştir. Ayrıca alüminyum köpük dolgululu darbe sönümleyici çarpma kutusu serbest düşme testi de yapılmıştır.

Yukarıda belirlenen numune grupları sayesinde ön tampon tasarımlarının farklı malzeme ve konstrüksiyonlarının çarpma dayanımına etkisi incelenmiştir.

3.2.Ön Tampon Tasarımında Kullanılan Malzemeler Hakkında Bilgiler

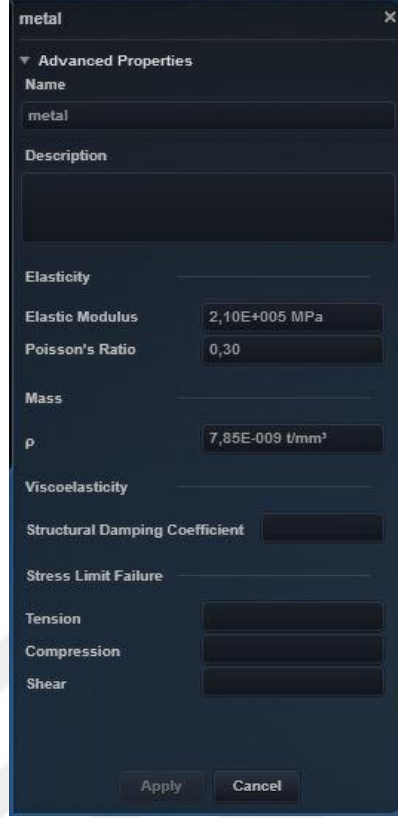
3.2.1. Sac Malzemeler Hakkında Genel Bilgiler

Sac malzemeler otomotiv sektöründe en çok kullanılan malzemelerden biridir. Yalnızca otomotiv alanında değil hemen hemen her sektörde kullanılan sac malzemeler üretim şekillerine göre ikiye ayrılır: 1) Sıcak haddelenmiş saclar ve 2) Soğuk haddelenmiş saclar. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, sıcak haddeleme yüksek fırından ergimiş halde gelen sıvı cevherin slab kalıplarında yüksek sıcaklıkta (1200°C -1400°C) merdaneler

üzerinde yürütülerek kalınlığının ayarlanmasına sıcak haddelenmiş sac lar denir. Soğuk haddeleme ise merdaneler aracılığı ile sacın kalınlığının istenilen kalınlığa getirilmesi işlemidir. Sıcak haddelenmiş sac kalınlığı 1,5 mm altında üretim yapılamamaktadır. Üretim yönteminden dolayı 1,5 mm kalınlığının altındaki sac lar için soğuk haddeleme sac tercihi bulunmaktadır. Sac kalınlığı ne kadar düşük ise o kadar işlemi uzar ve maliyeti artar. Soğuk haddelenmiş sac lar soğutma ve oksidasyon işlemleri olmadığından dolayı daha iyi yüzey elde edilir ve daha hassas toleranslarda üretilebilir. Sıcak haddelenmiş ve soğuk haddelenmiş malzemeler kendi içlerinde içeriğindeki karbon, mangan, fosfor ve kükürt miktarına bağlı olarak farklı kalitelere ayrılır. Sac malzemelerinin en son geldiği teknoloji ise aynı rulo da iki farklı kalınlıkta sac üretimi yapılabilmektedir. Şu an gelişim aşamasında olan süreç, tasarlanan parçanın dayanıklı olması gereken yerinin kalınlığının diğer bölgelerin kalınlığına göre daha ince olması amaçlanmaktadır. Bu sayede sac üretimi yapan firmalar tarafından kalınlık azaltma çalışmalarında alternatif malzeme yerine sac metal malzemesinin kullanılmasının devamlılığı sağlanmaya çalışılacaktır. Sonlu elamanlar analizinde kullanılan sac malzeme özellikleri Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Sac malzemeler hakkında daha detaylı bilgiler kaynaktan mevcuttur.



Şekil 3.1. Sıcak Haddeleme Prosesi



Şekil 3.2. MSC Apex Sonlu Elemanlar Modeli Sac Malzeme Değerleri

3.2.2.Karbon Fiber Hakkında Genel Bilgiler

Karbon fiber yoğunluğu sac malzemeye kıyasla çok düşük olmasıyla birlikte elastisite modülü sac malzemeden daha yüksektir. Karbon fiber ağırlık azaltma çalışmalarına en uygun malzemedir fakat fiyatı sac malzemeye kıyasla bir hayli yüksek olduğundan dolayı günümüzde sadece ultra lüks araçlarda karbon fiber tasarımlarla karşılaşmaktayız. Yapılan 2 tasarımda da karbon fiber takviyesi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan T300 karbon fiber malzeme özellikleri Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. MSC Apex Sonlu Elemanlar Modeli T300 Karbon Fiber Malzeme Değerler

Çizelge 3.1: Karbon Fiber Malzeme Değeri

Özellikler	Yogunluk (10^3 kg/m ³)	Boylamasına Modülü E ₁₁ (GPa)	Enine Modülü E ₂₂ (GPa)	Kesme Modülü G ₁₂ (GPa)	Poisson Oranı V ₁₂	Boylamasına Çekme Direnci X ^t (Mpa)
T300 Karbon Fiber	1,77	75	75	30	0,2	1860

3.2.3. Alüminyum Hakkında Genel Bilgiler

Alüminyum malzemesi ağırlık azaltma çalışmalarında sac parçalarının yerine kullanılması için en önemli alternatif olarak karsımıza çıkmaktadır. Alüminyum görünüşüne, işleme kolaylığına, korozyon direncine, yüksek dayanıma, kaynak edilebilirliğine ve yüksek kopma dayanımına göre sınıflandırılmaktadır. Düşük

yoğunluğu, alüminyum için çok önemli etkenlerden biridir. Sonlu elamanlar analizinde kullanılan alüminyum malzeme özellikleri Şekil 3.4’de gösterilmektedir. Alüminyum hakkında daha detaylı bilgiler kaynakta mevcuttur.



Advanced Properties	
Name	Aluminum
Description	
Elasticity	
Elastic Modulus	68900,00 MPa
Poisson's Ratio	0,33
Mass	
ρ	2,70E-009 t/mm ³
Viscoelasticity	
Structural Damping Coefficient	
Stress Limit Failure	
Tension	
Compression	
Shear	
Apply Cancel	

Şekil 3.4. MSC Apex Sonlu Elemanlar Modeli Alüminyum Malzeme Değerleri

3.2.4. TPU Malzemesi Hakkında Genel Bilgiler

Termoplastik poliüretan, yüksek dayanıklılık ve esnekliğe sahip termoplastik elastomerdir. TPU malzemesinin en büyük özelliği, çok sayıda fiziksel ve kimyasal özellik kombinasyonunu sağlamasıdır. Otomobil dünyasında hızlı prototipleme amacıyla bir hayli kullanılmaktadır. Termoplastik poliüretan malzemesi 3 boyutlu yazıcılarda parça üretiminde tercih edilen malzemelerden biridir. Sonlu elamanlar analizinde kullanılan TPU malzeme özellikleri Şekil 3.5’de gösterilmektedir.

The image shows a software interface for defining material properties. The title is 'Advanced Properties' and the material name is 'TPU'. The 'Elasticity' section includes 'Elastic Modulus' set to 2000,00 MPa and 'Poisson's Ratio' set to 0,49. The 'Mass' section shows 'ρ' (density) as 1,20E-018 t/mm³. The 'Viscoelasticity' section has a 'Structural Damping Coefficient' field. The 'Stress Limit Failure' section has three empty input fields for 'Tension', 'Compression', and 'Shear'. 'Apply' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

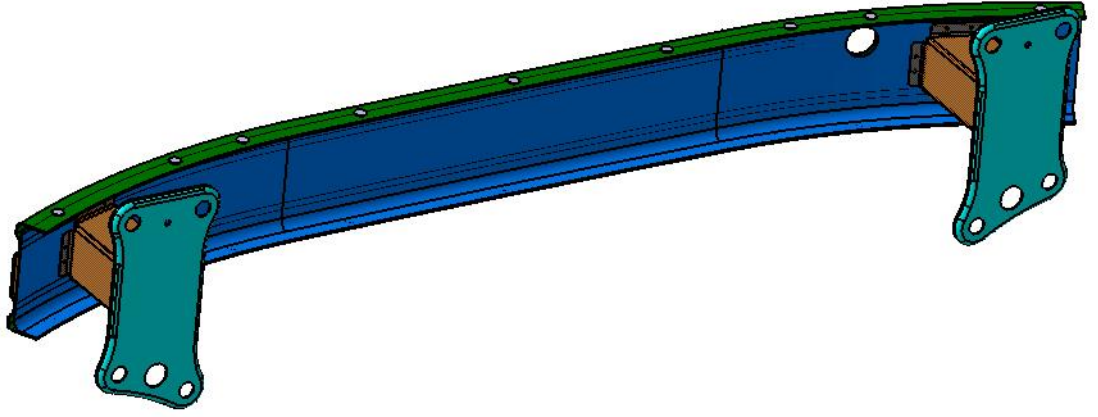
Property	Value
Name	TPU
Description	
Elastic Modulus	2000,00 MPa
Poisson's Ratio	0,49
ρ (Density)	1,20E-018 t/mm³
Structural Damping Coefficient	
Tension (Stress Limit)	
Compression (Stress Limit)	
Shear (Stress Limit)	

Şekil 3.5. MSC Apex Sonlu Elemanlar Modeli TPU Malzeme Değerleri

3.3.Grup 1: 2 Tane Tasarlanmış Ön Tampon Çalışması

3.3.1.Ön Tampon Tasarımlarının İncelenmesi

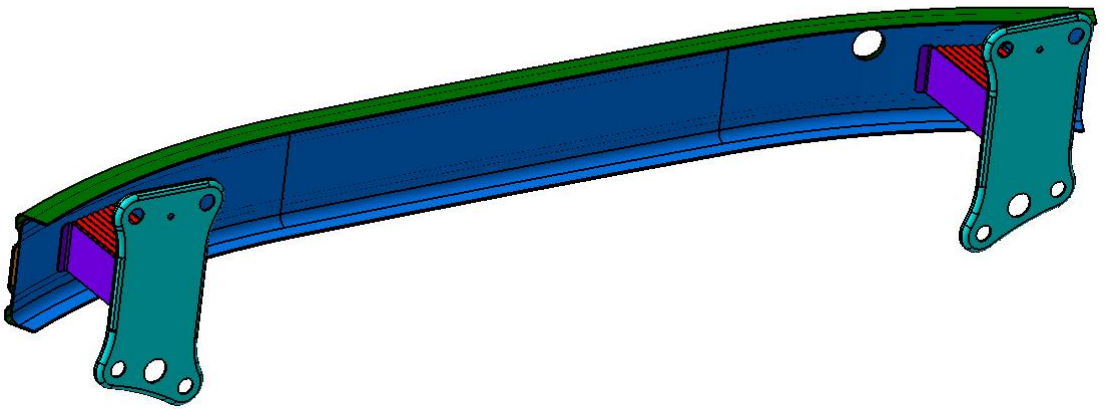
B segmenti ve C segmenti araçlarda genellikle ön tampon tasarımları yaklaşık 6-7 kilogram arasında değişmektedir. Bu segmentlerdeki birçok araçta ön tampon tasarımları sac malzemedен oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında 2 adet tampon tasarlanmıştır. 2 adet ön tampon tasarımında darbe sönümleyen sac tasarımları fark gösterirken, bu iki ön tampon tasarımı arasındaki en büyük fark kullanılan kompozit malzemedir.



Şekil 3.6. İlk Ön Tampon Tasarımı

Şekil 3.6’da ilk ön tampon tasarımı, bu tasarımda ray kısmı iki farklı sac malzemedен tasarlanmıştır. Ön tampon rayları genellikle 2 parçadan veya rollform denilen süreç sonucunda tek parça olarak tasarlanabilmektedir fakat bu rollform olan parçanın kenarlarının çap ölçüsü alınabilmesi için büküm makinelerine ihtiyaç vardır. Ön tampon tasarımının iki sac tasarımdan oluşmasının en büyük nedeni aslında arasına karbon fiber takviyesi yapılmak istenmesidir. Bu sayede dayanım artacaktır. Ek olarak rollform süreci pahalı bir süreç olduğundan farklı kesitte sac tasarımı yapılmıştır.

Bu tampon tasarımında tampon ray sacları arasına karbon fiber takviyesi yapılmıştır. Bu takviyeye ek olarak alüminyum köpük, darbe sönümleyici parçaların içerisine doldurulmuştur.



Şekil 3.7. İkinci Ön Tampon Tasarımı

Şekil 3.7’de ikinci ön tampon tasarımı, bu tampon tasarımında bir önceki tasarımda olduğu gibi ray kısmı iki sac parçadan tasarlanmıştır. İkinci ön tampon tasarımında ilkinden farklı olarak termoplastik poliüretan malzemesinden bal petekleri, darbe emici braketlerin içine eklenmiştir. Bu tasarımda da karbon fiber malzemesi iki rayın arasında kullanılmıştır.

Bu tasarımlarda iki ray arasında, darbe sönümleyici braketlerin bağlantısında ve darbe sönümleyici braketlerin şasi bağlantı braketlerine bağlantılarında punta kaynağı öngörülmüştür. Punta kaynağı dolgu malzemesi gerektirmeden iki parçanın bağlamasını sağlar. Punta kaynağı OHM Kanunu’na göre akım ve dirence bağlı olarak çalışan bir süreçtir:

$$V(\text{voltaj})= I(\text{akım}) \times R (\text{dirence})$$

3.3.2. Ön Tampon Tasarımlarının Sonlu Elemanlar Modeli İncelemesi

Tasarımı yapılan bu iki tamponun sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında, MSC Apex programı kullanılmıştır. MSC Apex programı hakkında daha detaylı bilgi kaynak da mevcuttur. Bu tamponların sonlu elemanlar modelinde, herhangi bir şartname olmadığı için parçaların büyüklüğü göz önüne alınarak 10 mm’lik mesh ile örülmüştür. Genellikle ön tampon sonlu elemanlar modelinde 8-12 mm mesh istenileceği öngörülmüştür. Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken Quatro elemanlar kullanılmıştır. Triangle mesh elemanlar sonlu modellerde genellikle pek tercih edilmemektedir. Sonlu elemanlar modellerinde genellikle triangle mesh yapısıyla ilgili sınır şartı vardır. Örneğin; Renault parçalarının sonlu elemanlar modelinin kıstaslarından biri, modelde en fazla %8 triangle mesh yapısı olması istenmektedir.

Sonlu elemanlar modelinde, parçaların mesh yapısının oluşturulmasında birden fazla yöntem bulunmaktadır. Örneğin; sac parçaların sabit kalınlığı olduğundan orta yüzey alınarak bu yüzeyde ağ yapısı oluşturulmaktadır. Diğer parçalar için hex mesh uygulanır. Hex mesh parçanın tamamına mesh atılması işlemidir. Bu iki farklı mesh modeli arasında farklılıklar vardır. Orta yüzey modeli oluşturulan yapılar, çözdürücü

olarak zamandan tasarruf sağlar. Otomotiv sektöründe genellikle orta yüzeye mesh atılması yeterli olarak değerlendirilmektedir.

Ön tampon tasarımlarından ilk tasarımda sac parçalar orta yüzey alınarak mesh işlemi yapılmıştır. Karbon fiber yapısı ve alüminyum tasarımlar hex mesh yöntemiyle mesh işlemi yapılmıştır. Şekil 3.8’de, bu hazırlanan modeller gövdeye bağlandığı deliklerin etrafında oluşturulan Washer elemanlarla RBE2 bağlantı yöntemi seçilerek orta noktası oluşturulmuştur ve bu oluşan node’dan sabitlenmiştir. Şekil 3.9’da, aynı şekilde ön tampon sonlu elemanlar modelinde node’lar RBE2 elemanları seçilerek orta nokta oluşturulmuş ve bu noktaya kuvvetler uygulanmıştır.

RBE2 bağlantı metodu genellikle kaynaklar için tanımlanırken, sabitleme ve yük uygulanacak Washer elemanların orta node’larını oluşturmak için de kullanılmaktadır. Bu sonlu elemanlar analizlerinde hex mesh modeli ile oluşturulan karbon fiber ve alüminyum parçaları glue özelliği ile modele sabitlenmiştir.



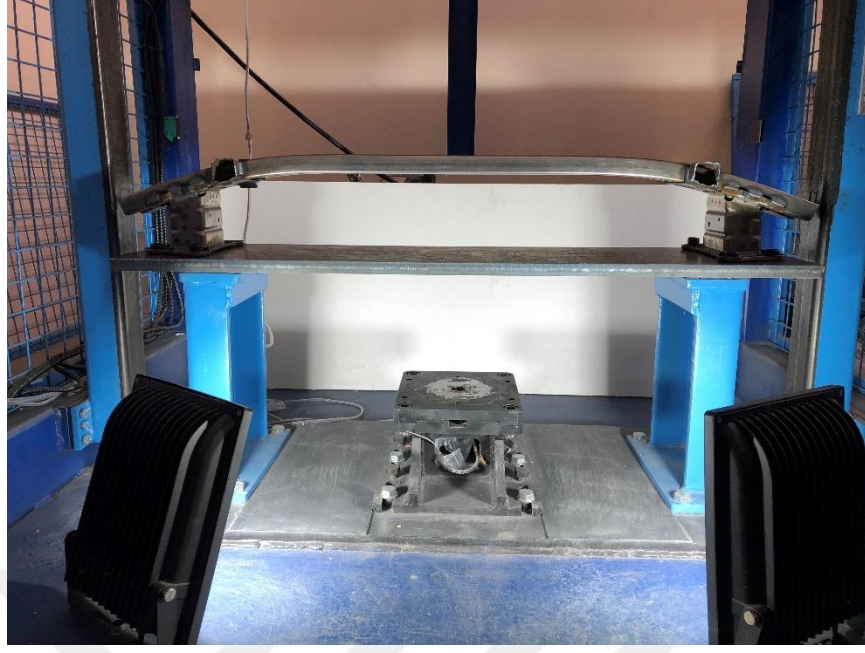
Şekil 3.8. Ön Tampon Tasarımlarının Sonlu Elemanlar Modelindeki Sabitleme Noktaları



Şekil 3.3. Ön Tampon Tasarımlarının Sonlu Elemanlar Modelindeki Yük Uygulama Noktaları

3.3.3.Ön Tampon Tasarımının Testi

Bursa Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen bu testte tampon aşağıda Şekil 3.10'da görüleceği üzere sonlu elemanlar modelindeki gibi plakaya bağlantısı yapılmıştır. Serbest düşme mekanizmasında, 450 kg ağırlık 1,5 metre yükseklikten serbest bırakılarak test gerçekleştirilmiştir. Ağırlığın uç kısmında, 20x20'lik plaka kullanılmıştır. $1,5 \times 450 \times 9,81=6,62$ kJ'lük yük uygulanmıştır. Şekil 3.11'de düşme sonucu oluşan tamponun son hali görülmektedir.



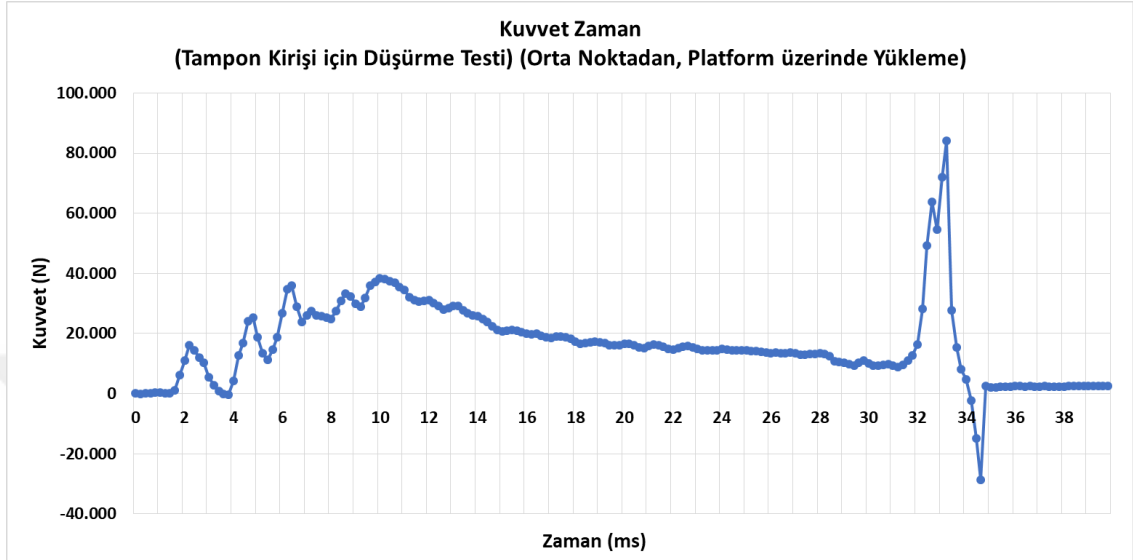
Şekil 3.40. Ön Tampon Test Mekanizması



Şekil 3.51. Ön Tampon Tasarımının Test Sonucu

Ön tampon tasarımının şasiye bağlantısı için hazırlanan plaka koç düşmesi sonrası eğildiği için rayın tam deplasman değerini ölçmeyi engellemiştir. Daha fazla deplasman yapacakken, platforma çarpıp deplasman değeri tam olarak gözlemlenememiştir. Böyle

bir test de darbe sönümleyici braketlerin işlevi ölçülemedi. Ancak bu test sonlu elemanlar modelinin statik yükler altında doğru sonuç verdiğini doğrulanmıştır. Şekil 3.12’de bu test sırasında oluşan kuvvet- zaman grafiği aşağıda görülmektedir.

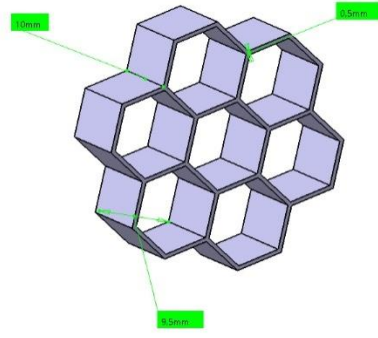


Şekil 3.62. Ön Tampon Tasarımı Testi Kuvvet-Zaman Grafiği

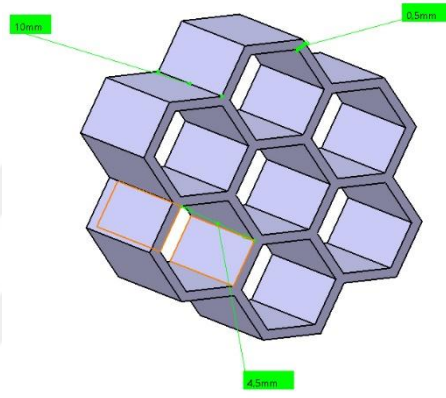
3.4. Grup 2: Bal Peteği Çalışması

3.4.1. Bal Peteği Tasarımlarının İncelenmesi

Bu çalışmada bal peteği tasarımı yapılmıştır. Bal peteği tasarımı günümüzde enerji sönümlemede kullanılan en iyi tasarımlardan birisidir. Günümüzde şuan tasarımcıların en çok ilham aldıkları yapılar arasındadır. Doğadan örnekler alınarak, tasarımlar otomotiv sektöründe denenmektedir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de yapılan farklı tasarımlar görülmektedir.

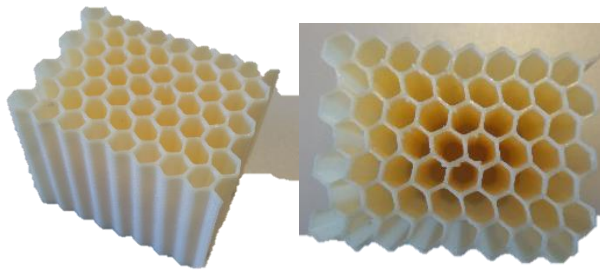


Şekil 3.73. Bal Peteği Tasarım Çalışması 1



Şekil 3.14. Bal Peteği Tasarım Çalışması 2

Şekil 3.15’de 3 Boyutlu yazıcı ile üretilen tasarımlar görülmektedir.

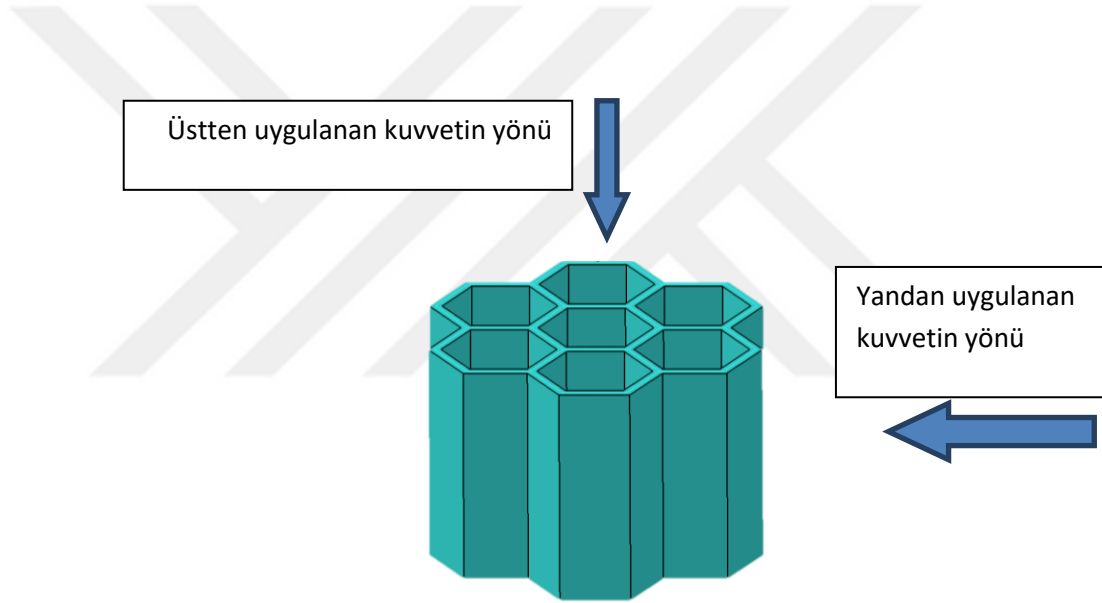


Şekil 3.15. 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Bal Peteği Örnekleri

3.4.2. Bal Peteği Tasarımlarının Sonlu Elemanlar Modeli İncelemesi

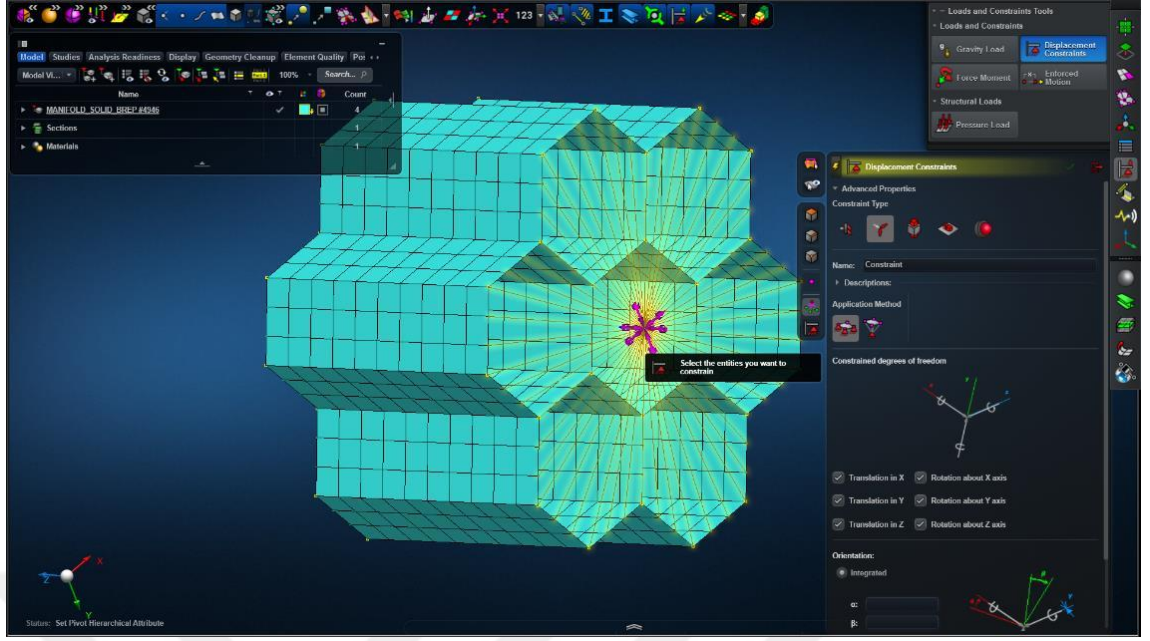
Tasarımı yapılan bal peteği yapısının sonlu elemanlar modeli MSC Apex programında hazırlanmıştır. En uygun bal peteği yapısını bulmak için belli parametreler seçilmiştir. Geometrik analiz için hücre sayısı, hücre büyüklüğü, hücre uzunluğu ve hücre kalınlığının etkileri incelenmiştir.

Standart test parçasının analizi yapıldıktan sonra, bu parça temel alınarak yukarıdaki parametrelere göre statik analizleri yapılmıştır. Şekil 3.16'da baz alınan test parçası da dâhil olmak üzere toplam 5 farklı parçaya üstten yük uygulanmıştır. Bu geometrilerin yatay yüke maruz kaldığında gösterdiği etkileri gözlemek amacıyla da 5 farklı parçaya yandan yüklemeler için statik analiz uygulanmıştır.



Şekil 3.168. Bal Peteği Tasarımı Kuvvet Uygulama Yönleri

Tasarımı yapılan bal peteklerinin sonlu elemanlar modeli orta yüzey modeliyle hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar modelinde, parça boyutu küçük olduğundan mesh boyutu 1 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.17. Bal Peteği Tasarımının Sabitletme

Şekil 3.17’de görüldüğü üzere RBE2 elemanları ile sondaki node’lar seçilerek orta nokta oluşturulmuştur ve bu noktadan model sabitletmiştir. Aynı şekilde yükün uygulanacağı diğer tarafta RBE2 bağlantısı ile orta nokta oluşturulmuştur. Bal peteği tasarımları, darbe sönümleyici braketlerin içerisinde bulunacağı düşünülerek kenarlara sadece Z ekseninde harekete izni verecek şekilde mesnetler tanımlanmıştır.

3.4.3. Bal Peteği Tasarımlarının Test Çalışması

Bal peteği tasarımları, 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Bu üretilen parçalara, Zwick Roell marka test cihazı ile farklı yönlerde basma testi uygulanmıştır. Basma testi; malzemenin sıkışmasına, ezilmesine veya düzleşmesine neden olan kuvvetlerin uygulanmasıyla gerçekleşir. Bu testlerde hangi yönün daha fazla enerji sönümleyeceği araştırılmıştır. Sonuçlar N/ mm grafiğinde sergilenmiştir.

3.5. Grup 2: Bal Peteği alışması

3.5.1. Serbest Düşme Test Düzenegi alışmaları

Bu çalışmada, farklı kalınlıkta üretilmiş iki farklı darbe sönümleyici braketin serbest düşme altındaki değerleri incelenmiştir. Bunlara ek olarak darbe sönümleyici braketlerin içerisine alüminyum köpük eklenerek denemeler yapılmıştır.

Şekil 3.18’de görüldüğü üzere, serbest düşme mekanizmasında uygulanacak kuvvetler ağırlıklar vasıtasıyla ayarlanabilmektedir. Ayrıca yükseklik mesafesi ayarlanarak serbest düşme testinde uygulanmak istenen enerji değerleri yakalanmaktadır.



Şekil 3.18. Serbest Düşme Mekanizması

Çizelge 3.2: Serbest Düşme Mekanizmasında Yapılan Testler Hakkındaki Bilgiler

Parça Adı	Numune	Enerji Yükleme (kj)	Yükseklik (mm)	Et kalınlığı (mm)	Malzeme	Kütle (g)
İnce Cidarlı Darbe Sönümlenme Braketi	Numune 1	1	96	1,2	SPFC590	561
	Numune 2	0,5	96	1,2	SPFC590	556
	Numune 3	1	96	1,2	SPFC590	560
Kalın Cidarlı Darbe Sönümlenme Braketi	Numune 1	0,5	96	1,6	SPFC590	645
	Numune 2	1	96	1,6	SPFC590	640
	Numune 3	3	96	1,6	SPFC590	643
Farklı Darbe Sönümlenme Braketi	Numune 1	3	135	1,6	SPFC780	806
	Numune 2	5	135	1,6	SPFC780	808
	Numune 3	7	135	1,6	SPFC780	808
İnce Cidarlı+Al köpük Darbe Sönümlenme Braketi	Numune 1	3	96	1,2	SPFC590	780

Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere, darbe sönümlenme braketinde malzeme olarak SPFC 590 malzeme kullanılmıştır. İki farklı tasarım karşılaştırma için test edilmiştir. İlk tasarım, ince cidarlı ve kalın cidarlı olmak üzere iki çeşittir. İnce cidarlı tasarımın et kalınlığı 1,2 mm’dir ve kalın cidarlı tasarımın et kalınlığı 1,6 mm’dir. İnce cidarlı darbe sönümlenme braketi içerisine alüminyum köpük dolgusu yerleştirilerek yapılan test de serbest düşme testlerinden birisidir.

4. BULGULAR

Araç tamponlarında, farklı malzeme ve konstrüksiyonların çarpma dayanımına etkisinin araştırılması, daha önce belirlenen test grupları şeklinde raporlamaları yapılmıştır.

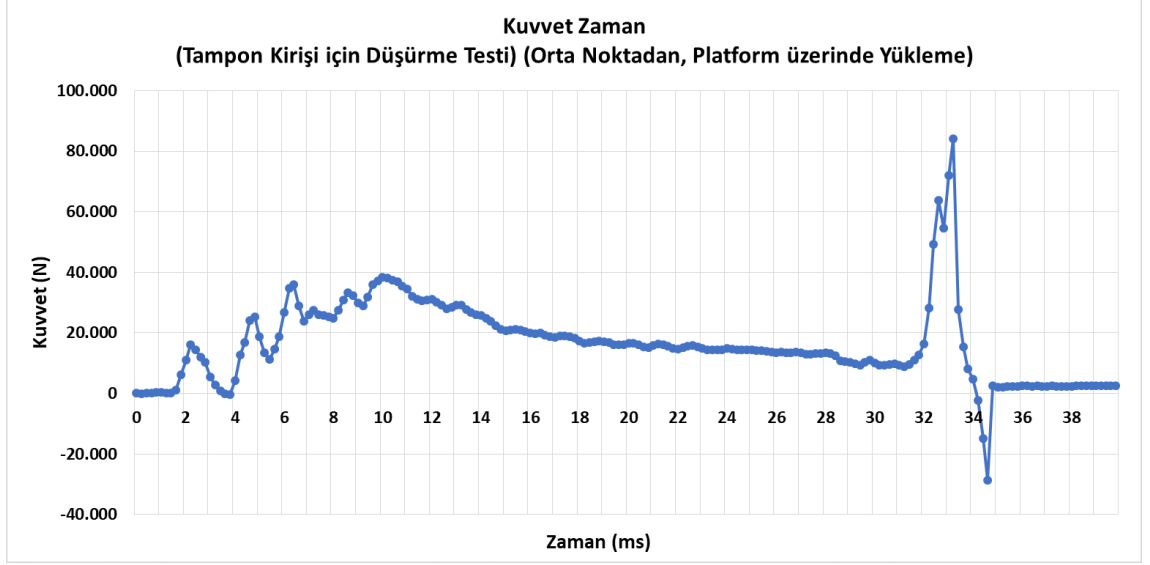
4.1. Grup 1: 2 tane tasarlanmış ön tampon çalışması

2 adet tasarımı yapılan ön tamponların 5 ton, 3 ton, 1 ton 6258 N ve 6258 N kompozit tasarımların olmadığı analizler tamamlanmıştır. Detaylı analiz sonuçları EK1-EK 20 arasında verilmiştir.

Çizelge 2.1: Grup 1 Numunelerine Ait Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları

Özet Tablo	49820 Newton(5 Ton)		29892 Newton (3 Ton)		9964 Newton (1 Ton)		6258 Newton (4kmph)		6258 (4kmph) Newton Kompozit Tasarımlar Hariç	
	Stres	Deplasman	Stres	Deplasman	Stres	Deplasman	Stres	Deplasman	Stres	Deplasman
1. Tasarım	8370 MPa	66,7 mm	5020 MPa	40 mm	1670 MPa	13,3 mm	1050 MPa	8,37 mm	1610 MPa	12,5 mm
2. Tasarım	10800 MPa	88,7 mm	6490 MPa	53,2 mm	2160 MPa	17,7 mm	1360 MPa	11,1 mm	1470 MPa	15,5 mm

Tasarımı yapılmış ve sonlu elemanlar modeli hazırlanmış ve sırasıyla 5 ton, 3 ton, 1 ton 6258N ve 6258 N yük altında kompozit parçaların olmadığı yüklerin stres ve deplasman sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Ön Tampon Tasarımının Test Kuvvet Zaman Grafiği

Şekil 4.1’de ön tamponun serbest düşme altında kuvvet -zaman grafiği gösterilmiştir.

4.2.Grup 2: Bal Peteği Tasarımı Çalışması

Bal peteği tasarımı yapılan parçanın sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Optimizasyon çalışmasıyla pal peteği tasarımın standart, uzun, hücre büyüklüğü artırılmış, hücre sayısı artırılmış ve çeperi kalın şekilde hem dikey hem de yatay kuvvetler uygulanmıştır. Detaylı analiz sonuçları EK 21-EK 30 arasında verilmiştir. Çizelge 4.2’ de sonlu elemanlar analizlerinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.2: Grup 2 Numunelerine ait Sonlu Elemanlar Analizleri Sonuçları

Numune Çeşitleri	Maksimum Stress (Dikey Kuvvet)	Maksimum Stress (Yanal Kuvvet)
Standart	0,203 MPa	0,325 MPa
Uzun	0,203 MPa	0,138 MPa
Hücre Büyüklüğü Arttırılmış	0,101 MPa	0,893 MPa
Hücre Sayısı Arttırılmış	0,11 MPa	0,354 MPa
Çeperi Kalın	0,101 MPa	0,1 MPa

3 boyutlu yazıcıda hazırlanan bal peteği, basma testine tabii tutulmuştur ve detaylı test sonuçları EK 31 ve EK 32 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.3: Grup 2 Numunelerine Ait Basma Test Sonuçları

Basma Testi	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü
Sonuçları	2780 N	1280 N	707 N

Basma pal peteğinin x, y ve z yönlerindeki sonuçları Çizelge 4.3’de paylaşılmıştır.

4.3. Grup 3:Farklı kalınlıklardaki darbe sönümleyici çarpma kutularının serbest düşme testi düzeneğinde değerlerinin incelenmesi

Darbe sönümleyici braketler, serbest düşme mekanizmasında ince cidarlı ve kalın cidarlı olarak iki ana başlık altında incelenmiştir. Bu incelemeye farklı tasarım ve ince cidarlı yapının içine alüminyum köpük dolgulu testler yapılmıştır. Detaylı test sonuçları EK 33-EK 42 arasında verilmiştir.

Farklı kalınlıktaki darbe sönümleyici braketlerin serbest düşme mekanizmasındaki sonuçları ve ince cidarlı çarpma kutusunun alüminyum köpük dolgululu sonuçları Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: Grup 3 Numunelerinde Serbest Düşme Düzeninde Elde Edilen Sonuçlar

Parça Adı	Numune	Enerji Yükleme (kJ)	Yükseklik (mm)	Et kalınlığı (mm)	Malzeme	Kütle (g)	Son Yükseklik (mm)	Deplasman (Maksimum ezilme anı) mm	Süre (Maksimum ezilme anı) ms	Maksimum kuvvet (kN)
AC3 İnce Cidarlı Crash Box	Numune 1	1	96	1,2	SPFC590	561	48	41	28	41
	Numune 2	0,5	96	1,2	SPFC590	556	72	24	29	40
	Numune 3	1	96	1,2	SPFC590	560	46	49	54	56
AC3 Kalın Cidarlı Crash Box	Numune 1	0,5	96	1,6	SPFC590	645	85	13	18	71
	Numune 2	1	96	1,6	SPFC590	640	75	21	19	86
	Numune 3	3	96	1,6	SPFC590	643	39	56	26	93
GB Crash Box	Numune 1	3	135	1,6	SPFC780	806	93	45	23	165
	Numune 2	5	135	1,6	SPFC780	808	65	69	26	162
	Numune 3	7	135	1,6	SPFC780	808	39	98	28	181
AC3 İnce Cidarlı+Al köpük Crash Box	Numune 1	3	96	1,2	SPFC590	780	53	45	23	107

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Araç tamponlarında farklı malzeme ve konstrüksiyonların çarpma dayanımına etkisi incelendiğinden aşağıdaki sonuçlar ortaya koyulmuştur:

- Yapılan tasarımlar arasında 1 numaralı tasarımının daha mukavim olduğu ortaya çıkmıştır (bkz. Tablo 2.).
- Sonlu elemanlar analizi ve fiziksel testte uygulandığı gibi ön tampon sabitlenip ortadan kuvvet uygulandığında veya koç ile ön tamponun tam ortasına serbest düşme testi yapıldığında darbe sönümlleme değerlerine ulaşılammıştır.
- Bal peteği tasarımında, sonlu elemanlar modelinde yükün yandan uygulanması durumunda %60 oranında maksimum stres değeri artışı görülmüştür (bkz Tablo 3.).
- Bal peteği tasarımında, sonlu elemanlar modelinde boyutun iki katına çıkarıldığı modelde yükün yandan uygulanması durumunda %32 oranında maksimum stres değeri azalması görülmüştür (bkz. Tablo 3).
- Bal peteği tasarımında, sonlu elemanlar modelinde hücre sayısı iki katına çıkarıldığı modelde yükün yandan uygulanması durumunda %221 oranında maksimum stres değeri artışı görülmüştür (bkz. Tablo 3).
- Bal peteği tasarımında, sonlu elemanlar modelinde hücre boyutunun iki katına çıkarıldığı modelde yükün yandan uygulanması durumunda %784 oranında maksimum stres değeri artışı görülmüştür. (bkz. Tablo 3).
- Bal peteği tasarımında, sonlu elemanlar modelinde kalınlık iki katına çıkarıldığı modelde yükün yandan uygulanması durumunda %1 oranında maksimum stres değeri azalması görülmüştür (bkz. Tablo 3).
- Tablo 3'ebakıldığıında üstten uygulanan yüklerde stres değerinin malzemede homojen bir şekilde etki gösterdiği görülmüştür. Çarpma kutusu içerisine çarpma yönüne dik pozisyonda yerleştirilecek bir altıgen dolgu malzemesinde sürtünmelerin ihmali durumunda her noktada eşit direnç gözlenecektir.
- Parçanın boyunun uzatılmasının dik yönde yapılan analizde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Tablo 3'de stres değerlerinin aynı olduğu görülür.
- Parçaya yandan kuvvet uygulanması durumunda ise heterojen bir stres dağılımı elde edilmiştir. Kuvvetin uygulandığı yerlere yakın taraftaki altıgen birleşim

noktalarında stres yoğunluğunun en yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle parçanın karşılaştığı en yüksek stres değerleri yandan kuvvet uygulanması durumunda en fazladır.

- Yandan uygulanan kuvvetlerde altıgen yapı için heterojen bir stres dağılımı görünüyor, bu sebeple gerilmelerin yoğun olduğu bölgeler plastik bölgeye daha kolay geçiyor. Dikey kuvvetlerde ise homojen bir dağılım görünüyor.
- Parçanın dikey yönde uygulanan kuvvete direnci daha yüksek, aynı mukavemette biri dikey yönde biri yan yönde olmak üzere iki parça elde edilmek istenirse, dikey kuvvet uygulanan numunede daha az malzeme kullanılacaktır, bu da üretim hızı ve maliyeti açısından avantajdır.
- İnce cidarlı (dolgusuz) yapı için daha önce yapılan testte (mavi eğri), yapı, ezilme-katlanma yerine eğilme (arkaya doğru) davranışı gösterdiği için;ince cidarlı yapının Al köpük dolgusuz ve dolgulu durumlarına ait grafikleri karşılaştırmak sağlıklı olmayacaktır (bkz. EK 43.).
- Kalın cidarlı (dolgusuz) yapı ile (yeşil eğri),ince cidarlı (dolgulu) yapının (kırmızı eğri) karşılaştırılması: (bkz. EK 43.)
 - Al köpük dolgulu yapıda, 137 g (%21) kütle artışı olmuştur.
 - Al köpük dolgulu yapıda, 11 mm (%20) deplasman azalmıştır.
 - Aynı deplasman değerinde (45 mm), Al köpük dolgulu yapıda %22 daha fazla enerji emilmiştir. Diğer bir açıdan, aynı deplasmana ulaşması durumunda (56 mm), Al köpük dolgulu yapı daha yüksek enerji emebilecektir.
 - Verilen enerjinin tamamen emildiği maksimum ezilme süreleri hemen hemen aynıdır. (26-23 ms)
 - Al köpük dolgulu yapıda, kuvvet profili daha dengeli/kararlıdır.
 - Maksimum kuvvetler; kalın cidarlı (dolgusuz) yapıda 93 kN, ince cidarlı (dolgulu) yapıda 107 kN olmuştur.

KAYNAKLAR

- A G Hanssen, L Lorenzi, K K Berger, O S Hopperstad ve M Langseth, 2000**, A demonstrator bumper system based on aluminium foam filled crash boxes, ISSN: 1358-8265, <http://dx.doi.org/10.1533/cras.2000.0149>
- Belingardi, G., Beyene, A.T., Koricho, E.G., Martorana, B., 2015** Alternative lightweight materials and component manufacturing technologies for vehicle frontal bumper beam, *Composite Struct.*, 120,483–495.
- D K Park,2014**, Bumper optimum design using the dynamically equivalent beam under various impact conditions, *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 15, No. 6, pp. 937–943 (2014) DOI 10.1007/s12239–014–0098–3
- Do-Hyoung Kim, Hyun-Gyung Kim ve Hak-Sung Kim 2015** Design optimization and manufacture of hybrid glass/carbon fiber reinforced composite bumper beam for automobile vehicle, *Composite Structures* 131:742–752
- Davoodi M.M., Sapuan S.M., Aidy A., Abu Osman N.A., Oshkour A.A., Wan Abas W.A.B. 2012** Development process of new bumper beam for passenger car: A review. *Materials and Design* 40: 304–313.
- Fang Zeng, Hui Xie, Qiming Liu, Fan Li ve Wei Tan 2015** Design and optimization of a new composite bumper beam in high-speed frontal crashes, *Struct Multidisc Optim*53:115-122
- Hanssen A.G., Langseth, M., Happerstad, O.S. 2001** Static and dynamic crushing of circular aluminium extrusions with aluminium foam filler”, *Int. J. of Impact Eng.*, 24 (5): 475-507.
- Hasan Ali Solak, Dr. Mustafa Erdener, Sertan Aşkan, 2016**,Light weight vehicle design: an application at heavy commercial front bumper support component, *Otekon* 2016
- Hirsch, J. 2014**, Recent development in aluminium for automotive applications. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 24. 1995–2002. 10.1016/S1003-6326(14)63305-7.

Kim, Hee & Shin, Dong & Lee, Jung & Kwon, 2014 Crashworthiness of aluminum/CFRP square hollow section beam under axial impact loading for crash box application. Composite Structures. 112. 1–10. 10.1016/j.compstruct.2014.01.042.

Liu, Z. Lu J., Zhu P. , 2016 Lightweight design of automotive composite bumper system using modified particle swarm optimizer, Composite Structures 140 630-643, 10.1016/j.compstruct.2015.12.031

Tanlak N., Sonmez F.O., Senaltun M., 2015 Shape optimization of bumper beams under high-velocity impact loads, Engineering Structures, Volume 95, 15 July 2015, Pages 49-60, doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.03.046

Wang, Tie & Li, Yonggang. , 2015 Design and analysis of automotive carbon fiber composite bumper beam based on finite element analysis. Advances in Mechanical Engineering. 7. 10.1177/1687814015589561.

Zhi Xiao, Jianguang Fang, Guanyong Sun ve Qing Li, 2015 Crashworthiness design for functionally graded foam-filled bumper beam, Advances in engineering software 85,81-95

Zhu G., Wang Z., Cheng A., Li G. , 2017 Design optimisation of composite bumper beam with variable cross-sections for automotive vehicle, International Journal of Crashworthiness, 22:4, 365-376, DOI: 10.1080/13588265.2016.1267552.

<https://www.assanaluminyum.com/tr-tr/surdurulebilirlik/her-yonuyle-aluminyum>, 08.01.2020

<https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/web.tr-2500.pdf> ,15.01.2020

https://en.wikipedia.org/wiki/World_Forum_for_Harmonization_of_Vehicle_Regulations, 18.01.2020

<https://www.mssoftware.com/product/msc-nastran>, 25.12.2019

<https://www.toraycma.com/page.php?id=661>

EKLER

EK 1.1 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Gerilme Değeri

EK 2. 1 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Stres Değeri

EK 3.1 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Gerilme Değeri

EK 4. 1 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Stres Değeri

EK 5. 1 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Gerilme Değeri

EK 6.1 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Stres Değeri

EK 7. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri

EK 8. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri

EK 9.1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.

EK 10.1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.

EK 11.2 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Gerilme Değeri

EK 12. 2 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Stres Değeri

EK 13.2 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Gerilme Değeri

EK 14. 2 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Stres Değeri

EK 15. 2 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Gerilme Değeri

EK 16. 2 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Stres Değeri

EK 17. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri

EK 18. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri

EK 19.2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.

EK 20. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.

EK 21.Bal peteği yandan uygulanan yük

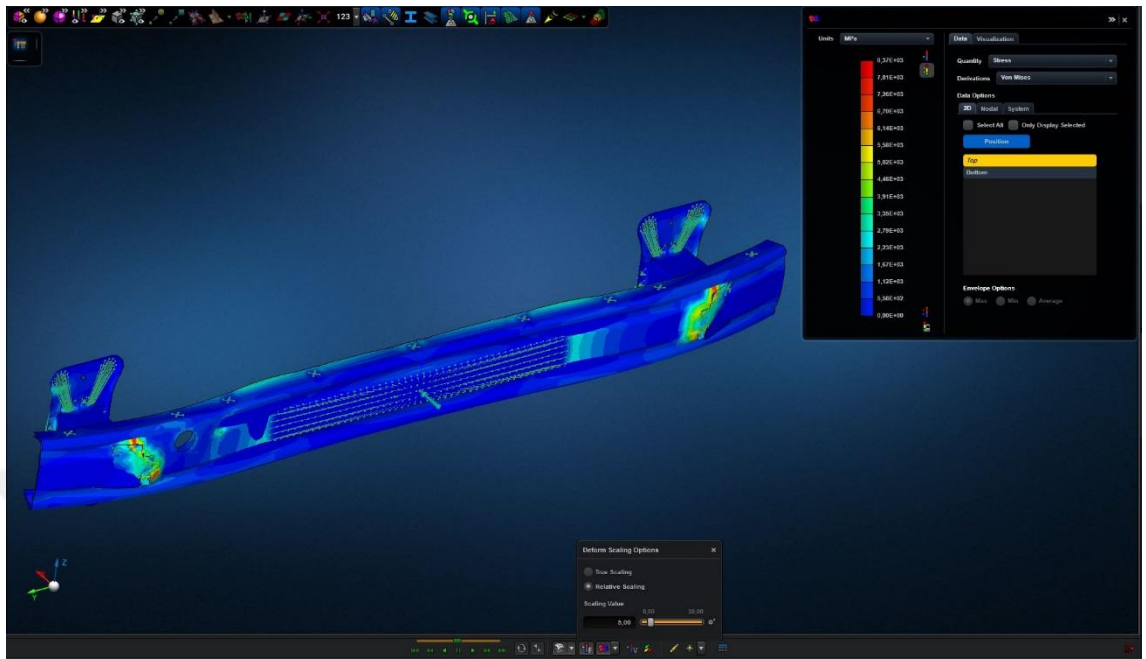
EK 22. Bal peteği yandan uygulanan yük

EK 23.Bal peteği tasarımı parça boyu iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük

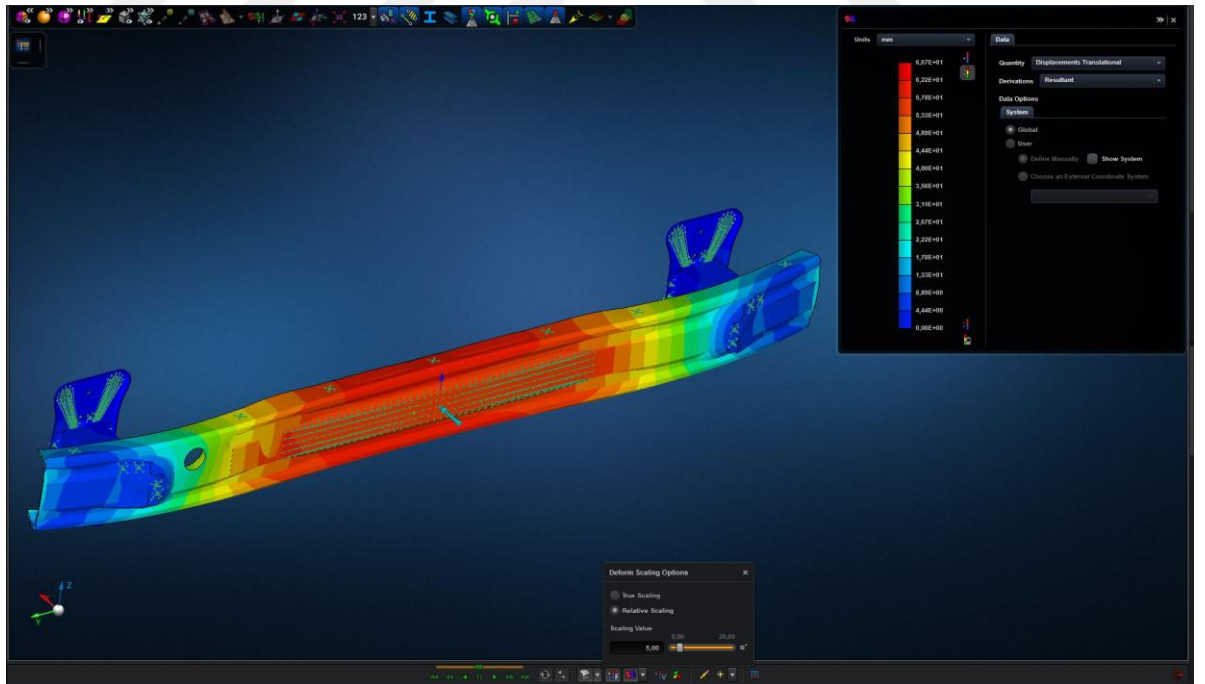
EK 24.Bal peteği tasarımı parça boyu iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük

- EK 25.** Bal peteği tasarımı hücre sayısı iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük
- EK 26.** Bal peteği tasarımı hücre sayısı iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük
- EK 27.** Bal peteği tasarımı hücre boyutu iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük
- EK 28.** Bal peteği tasarımı hücre boyutu iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük
- Ek 29.** Bal peteği tasarımı kalınlık iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük
- Ek 30.** Bal peteği tasarımı kalınlık iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük
- Ek 31.** Bal peteği tasarımı basma x ve y yönü test sonucu
- Ek 32.** Bal peteği tasarımı basma z yönü test sonucu
- Ek 33.** Darbe sönümleyici ince cidarlı 1kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 34.** Darbe sönümleyici ince cidarlı 0,5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 35.** Darbe sönümleyici ince cidarlı 1 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 36.** Darbe sönümleyici kalın cidarlı 0,5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 37.** Darbe sönümleyici kalın cidarlı 1 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 38.** Darbe sönümleyici kalın cidarlı 3 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 39.** Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 3 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 40.** Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 41.** Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 7 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 42.** Darbe sönümleyici ince cidarlı alüminyum dolgulu 3 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği
- Ek 43.** Darbe sönümleyici ince cidar +alüminyum köpük/ kalın cidarlı/ ince cidarlı braket deplasman grafiği

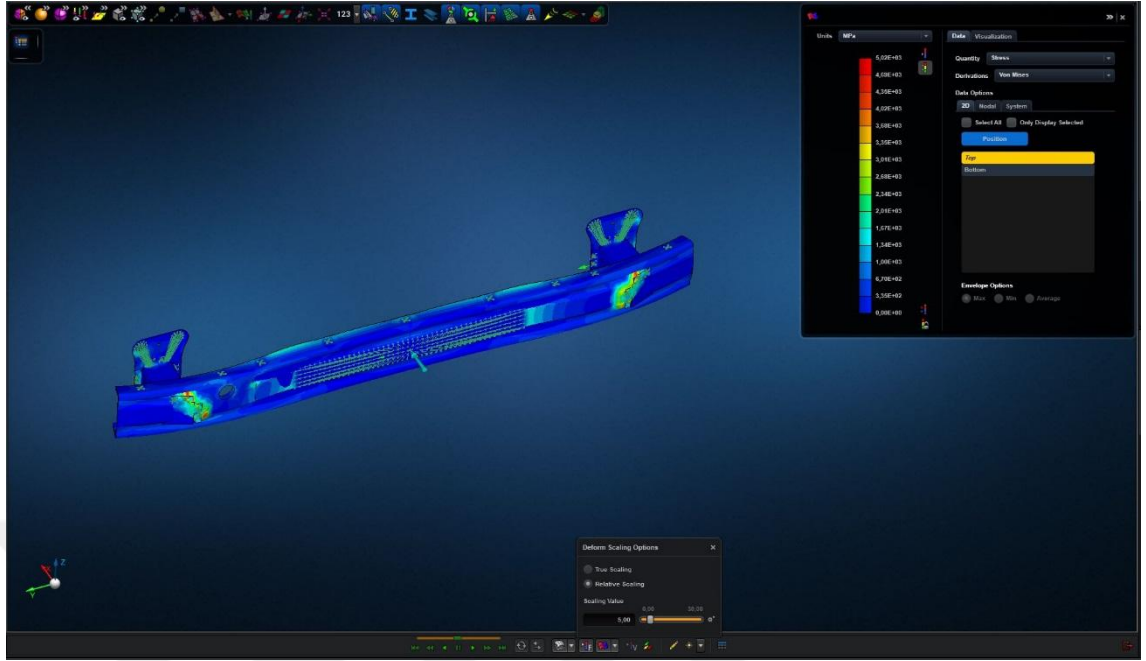
EK 1. 1 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Gerilme Değeri



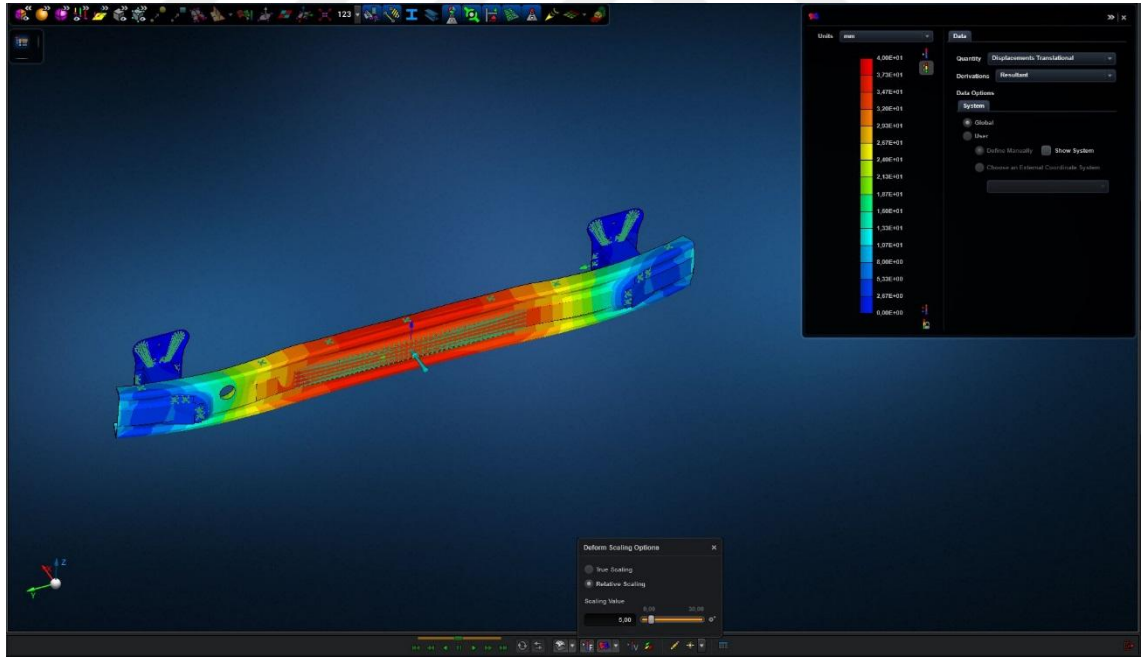
EK 2. 1 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Stres Değeri



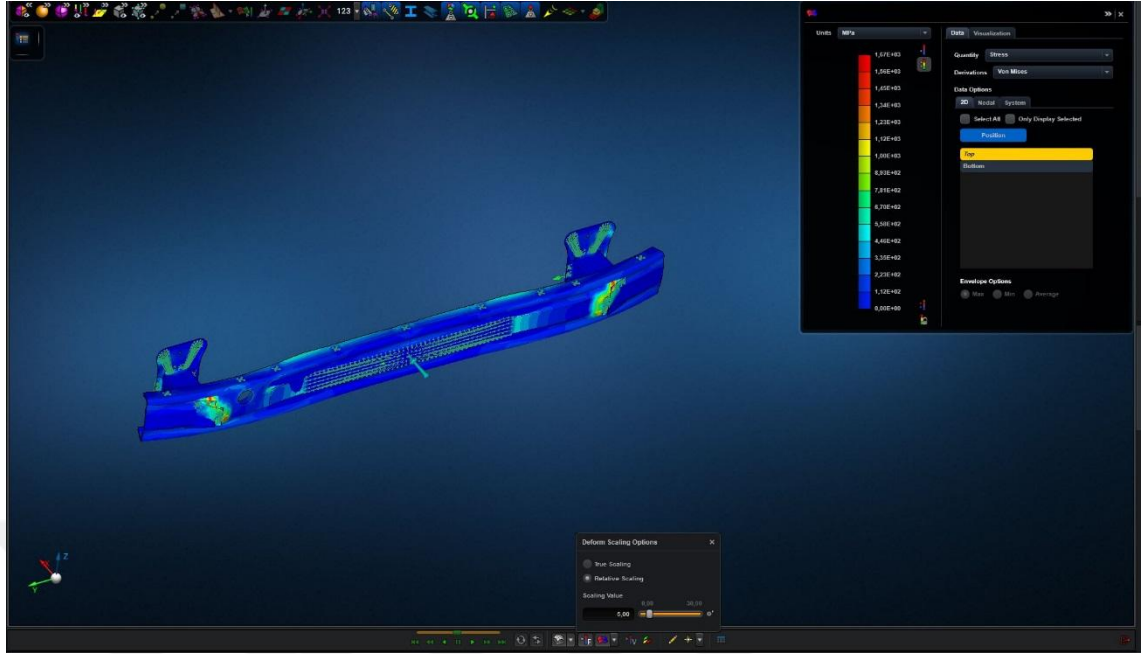
EK3. 1 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Gerilme Değeri



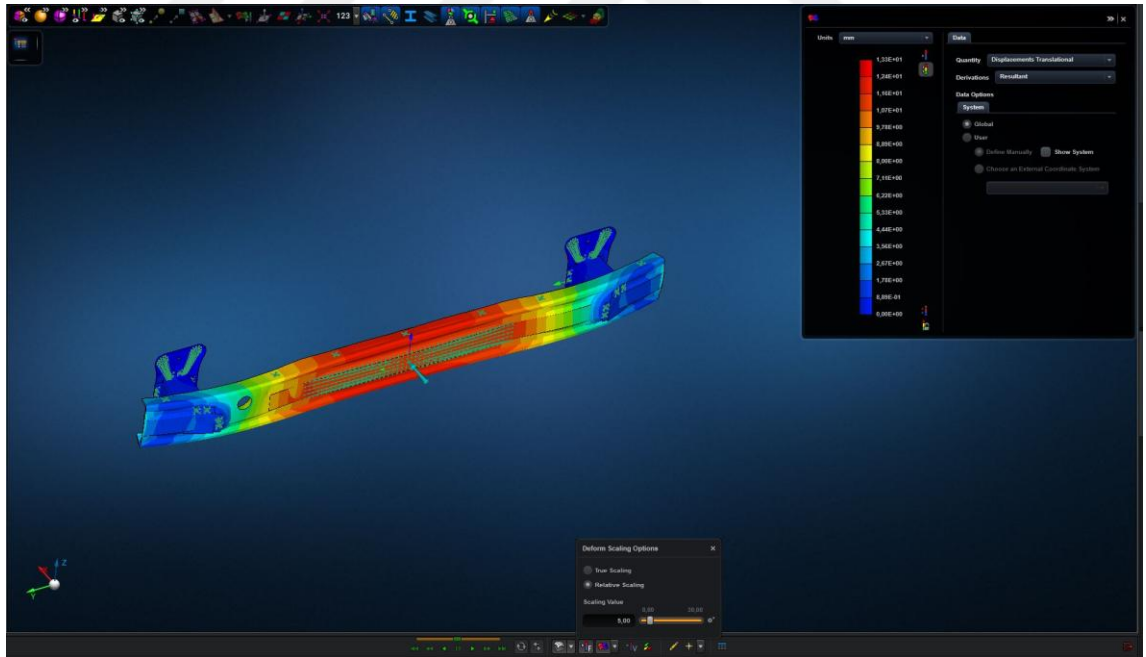
EK 4. 1 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Stres Değeri



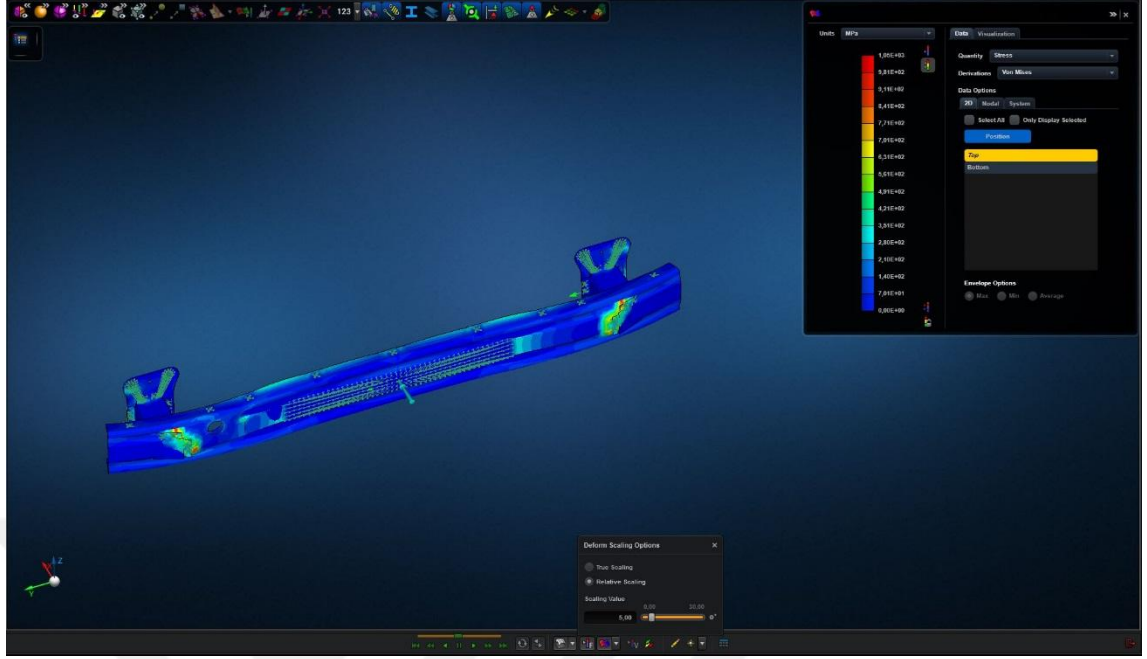
EK 5. 1 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Gerilme Değeri



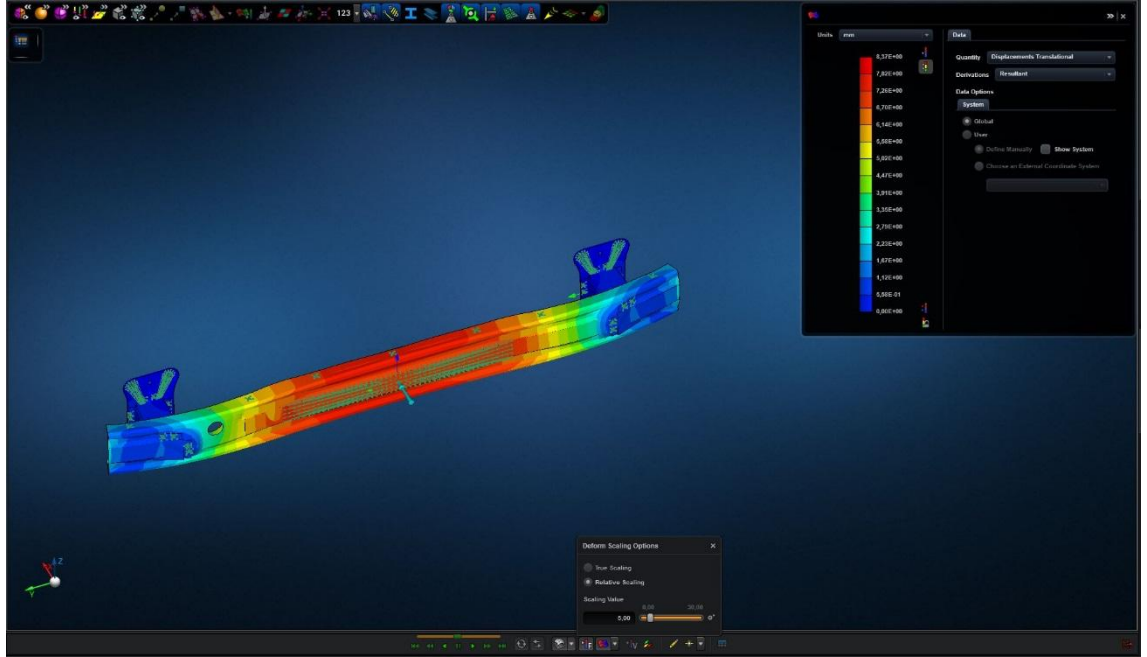
EK 6. 1 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Stres Değeri



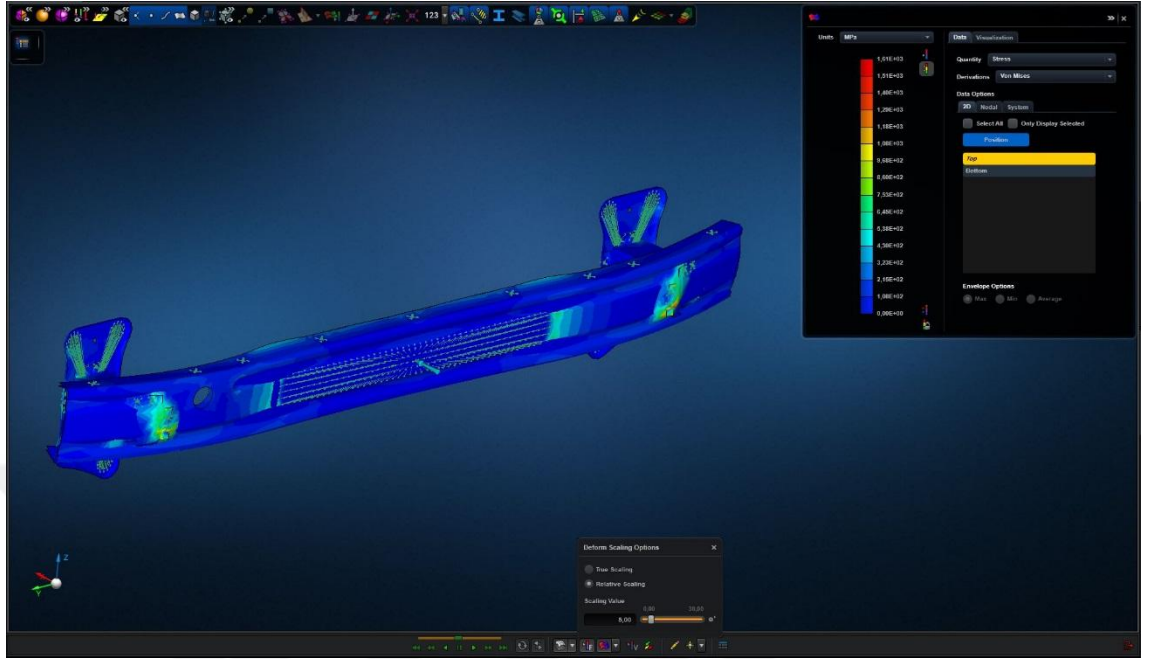
EK 7. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri



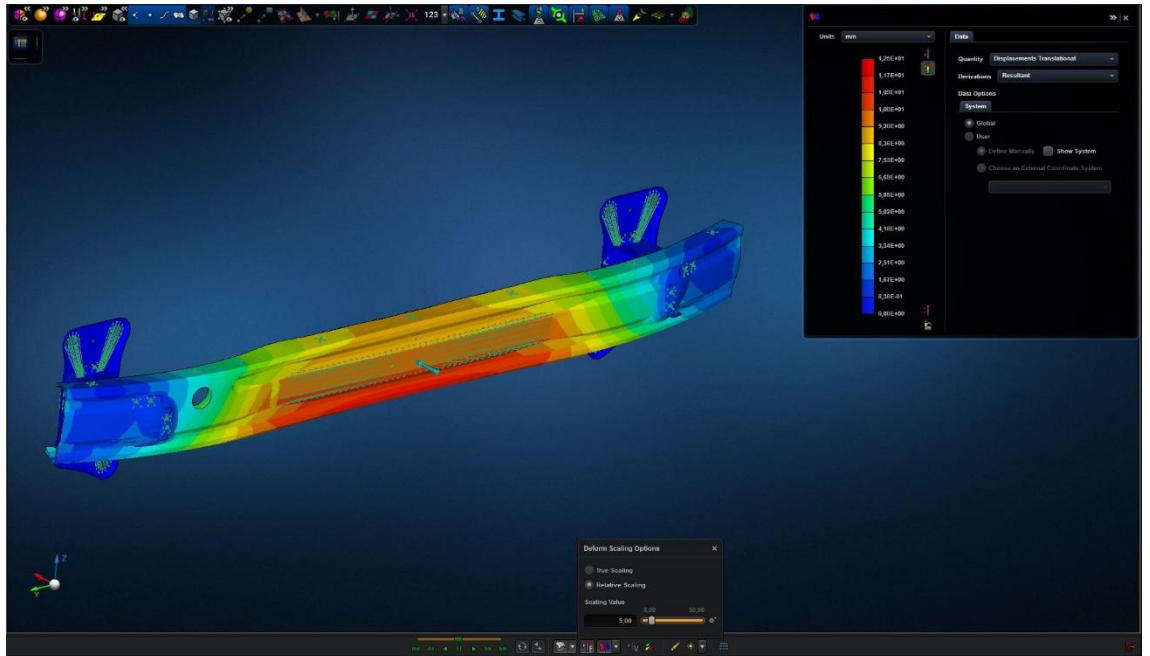
EK 8. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri



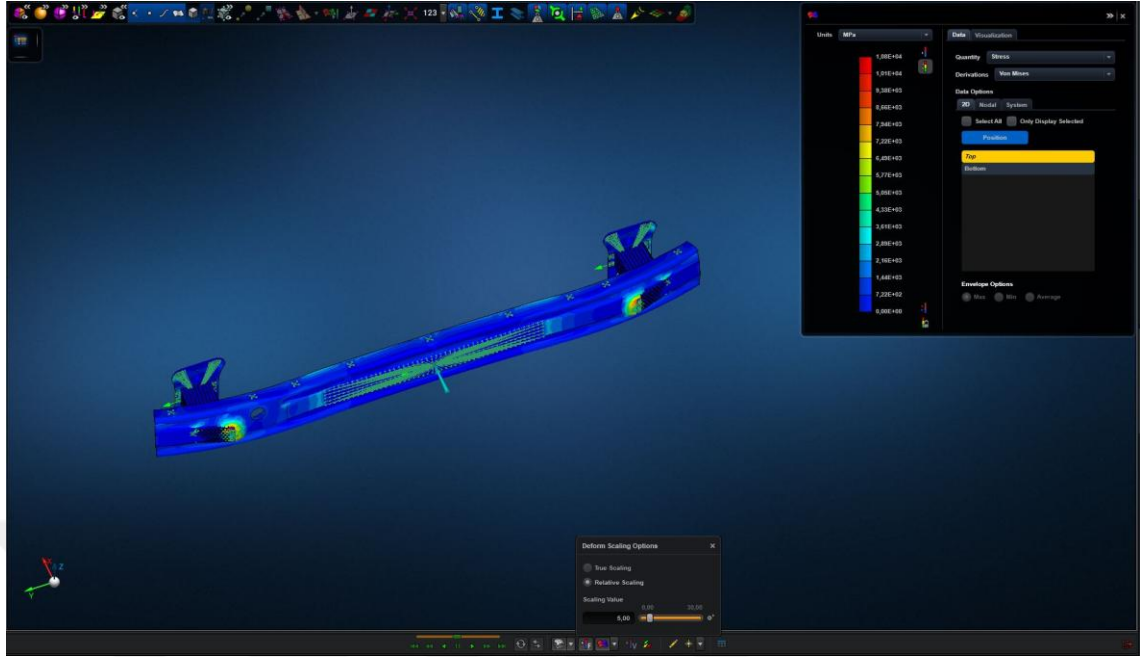
EK 9. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.



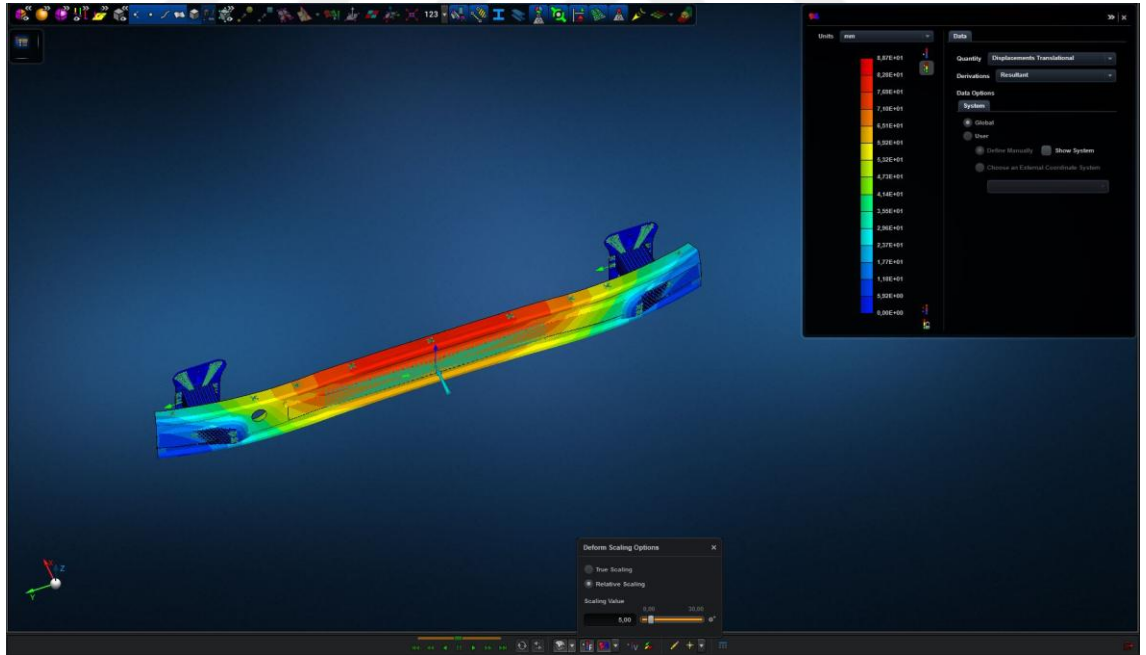
EK 10. 1 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.



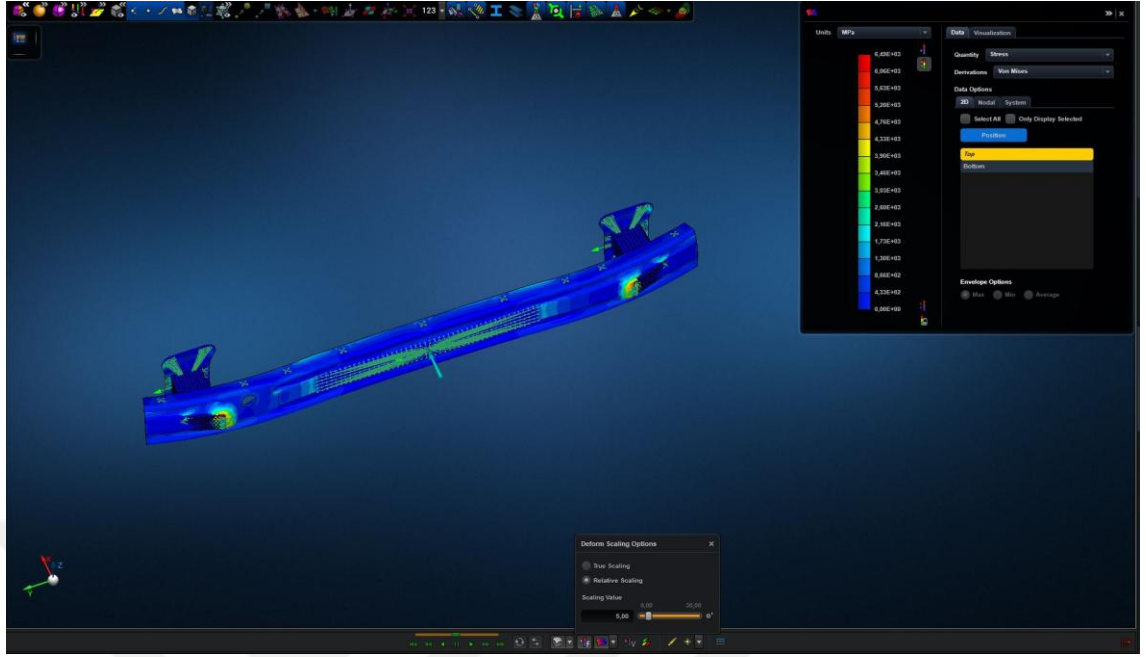
EK 11. 2 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Gerilme Değeri



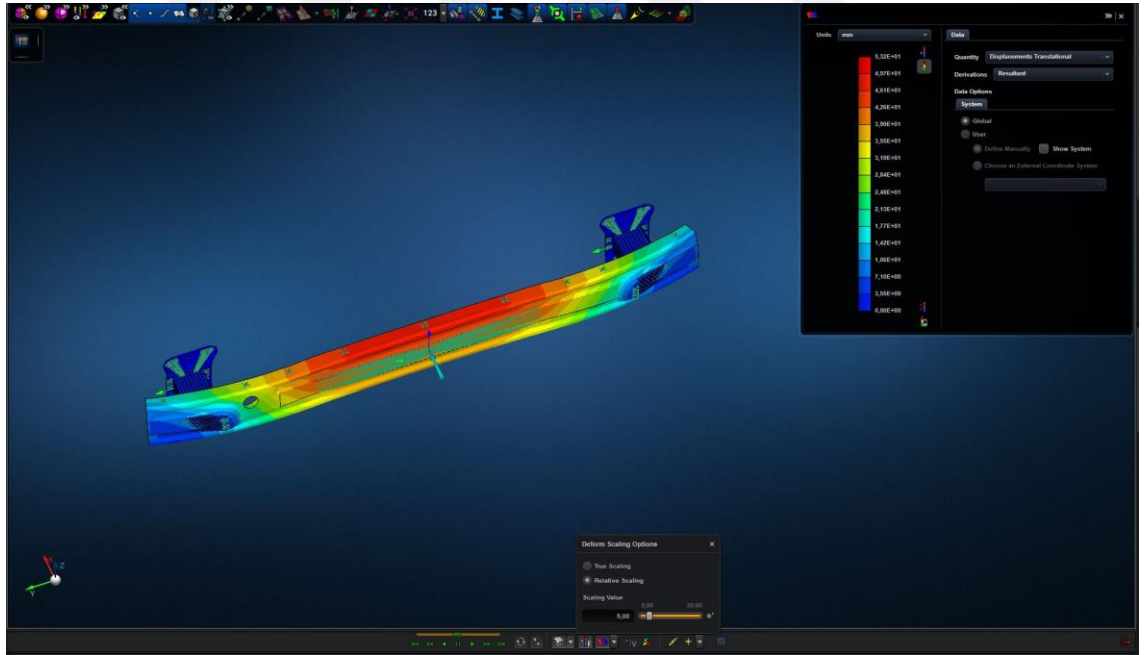
EK 12. 2 Numaralı Tasarımın 5 Ton Yük Altında Stres Değeri



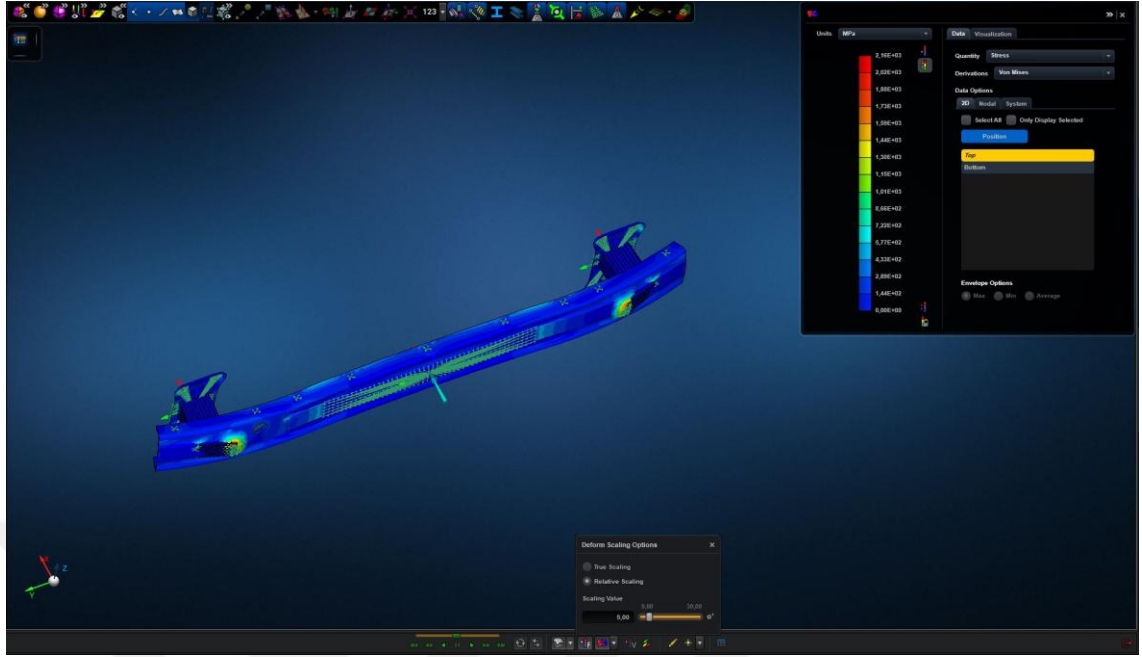
EK 13. 2 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Gerilme Değeri



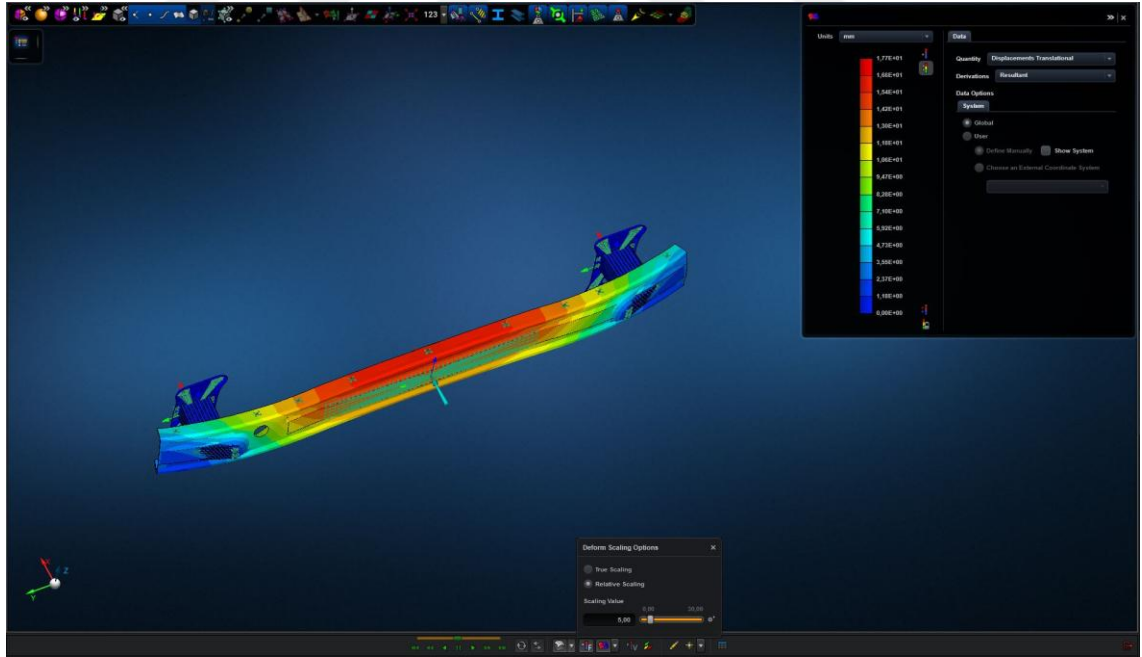
EK 14. 2 Numaralı Tasarımın 3 Ton Yük Altında Stres Değeri



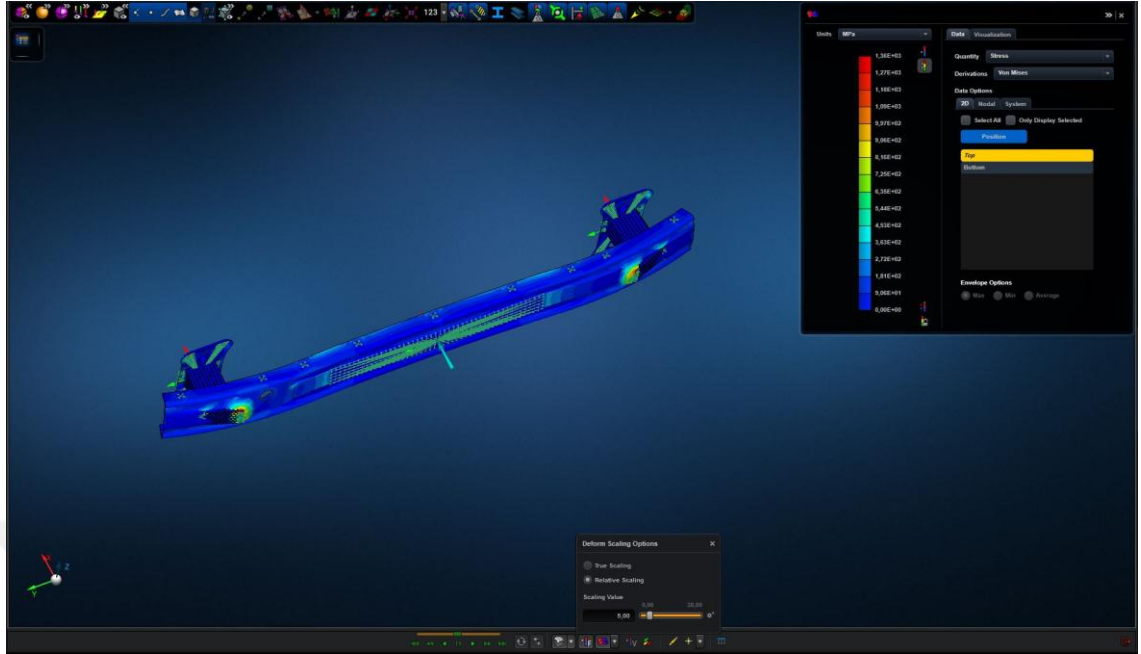
EK 15. 2 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Gerilme Değeri



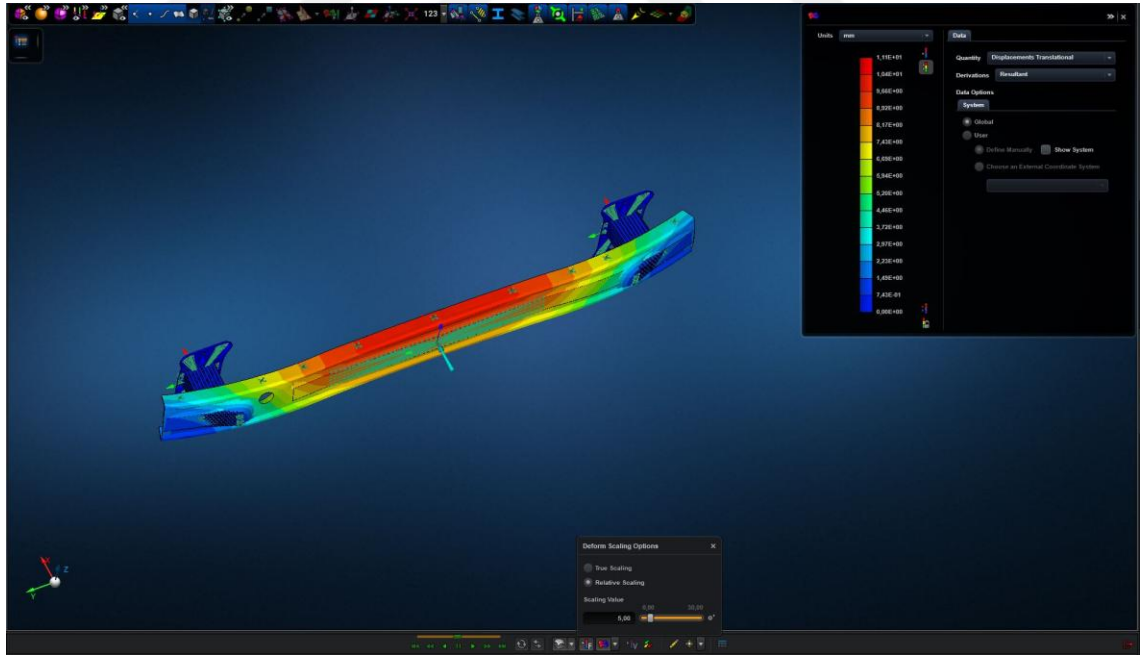
EK 16. 2 Numaralı Tasarımın 1 Ton Yük Altında Stres Değeri



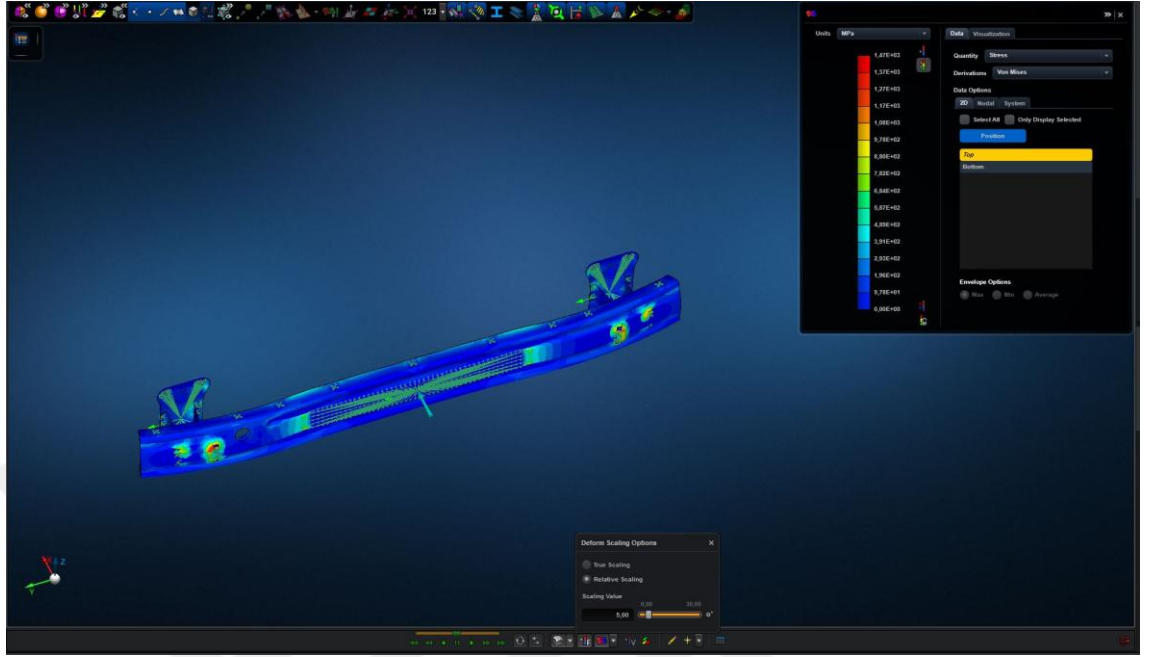
EK 17. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri



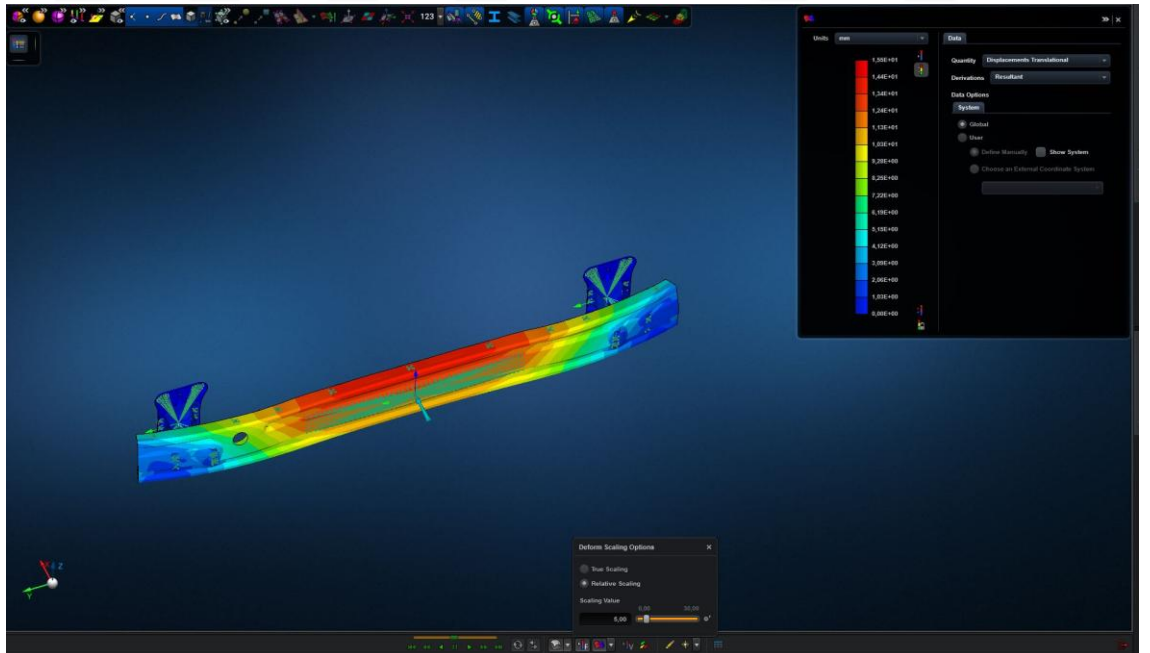
EK 18. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri



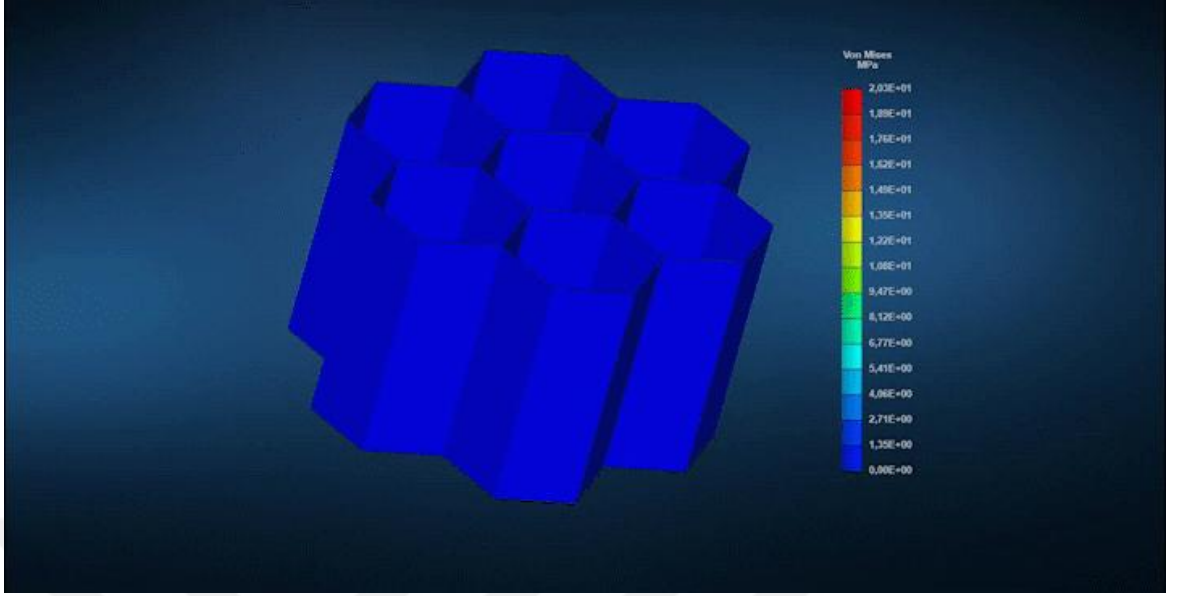
EK 19. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Gerilme Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır.



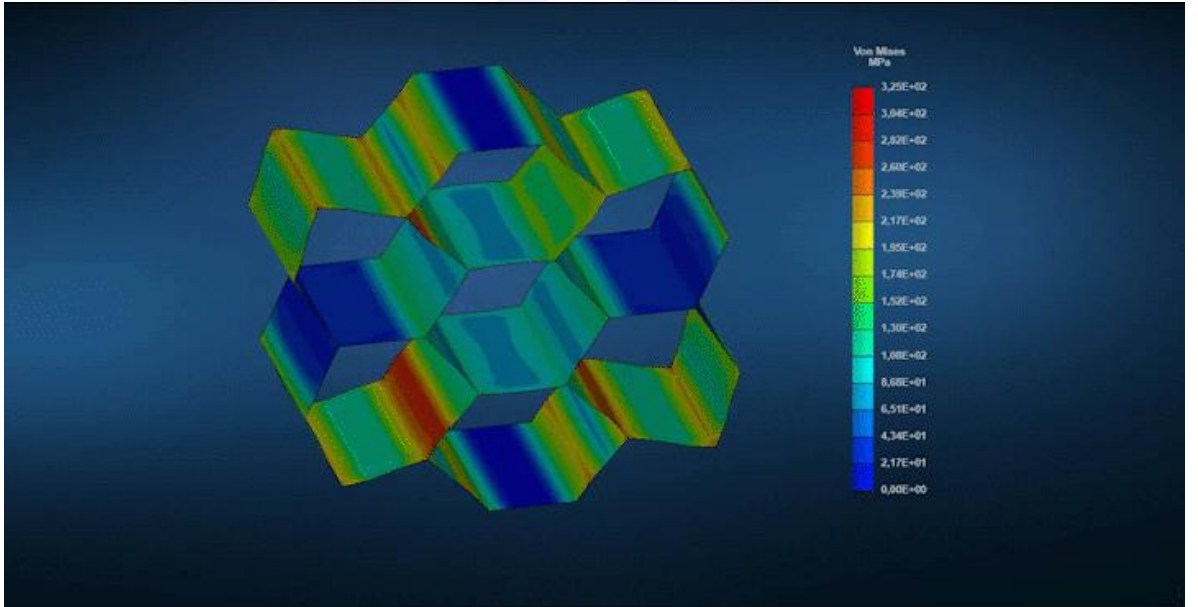
EK 20. 2 Numaralı Tasarımın 6258 Newton Yük Altında Stres Değeri kompozit malzemeler analizden çıkarılmıştır



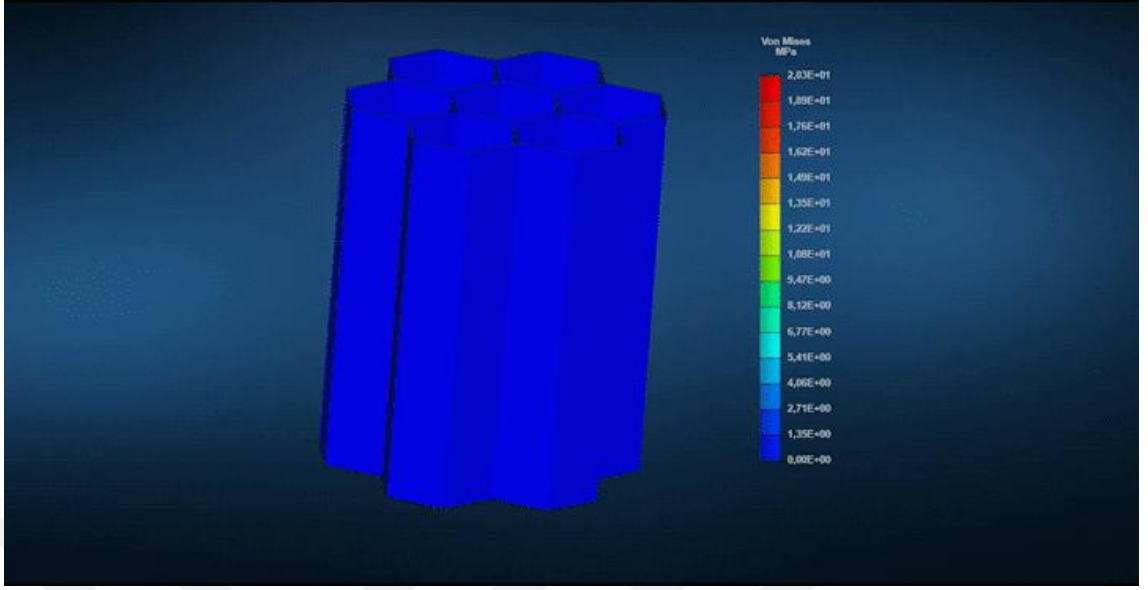
EK 21. Bal peteği üstten uygulanan yük



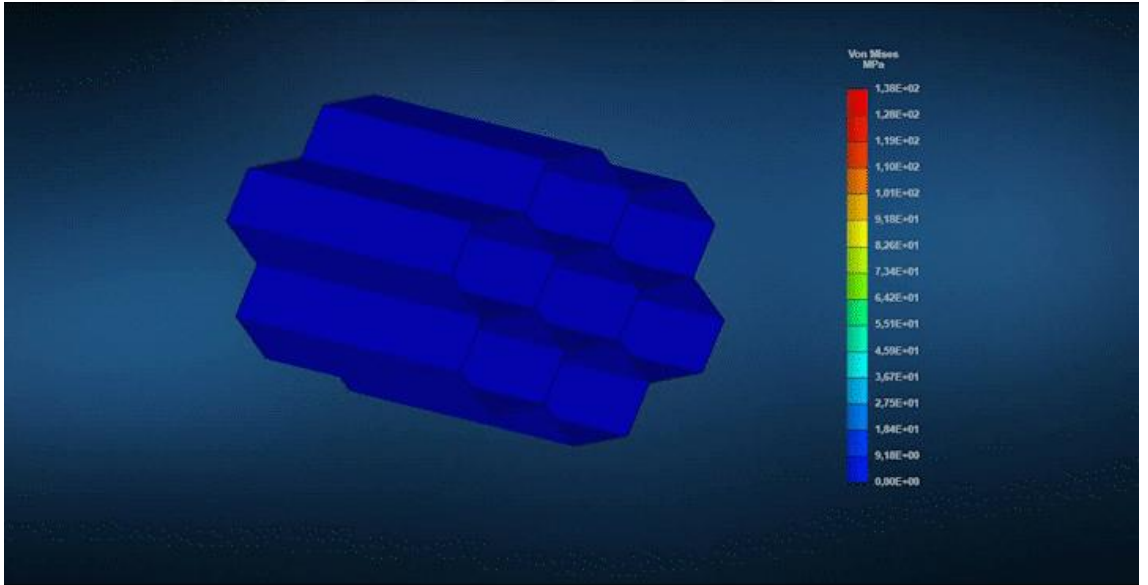
EK 22. Bal peteği yandan uygulanan yük



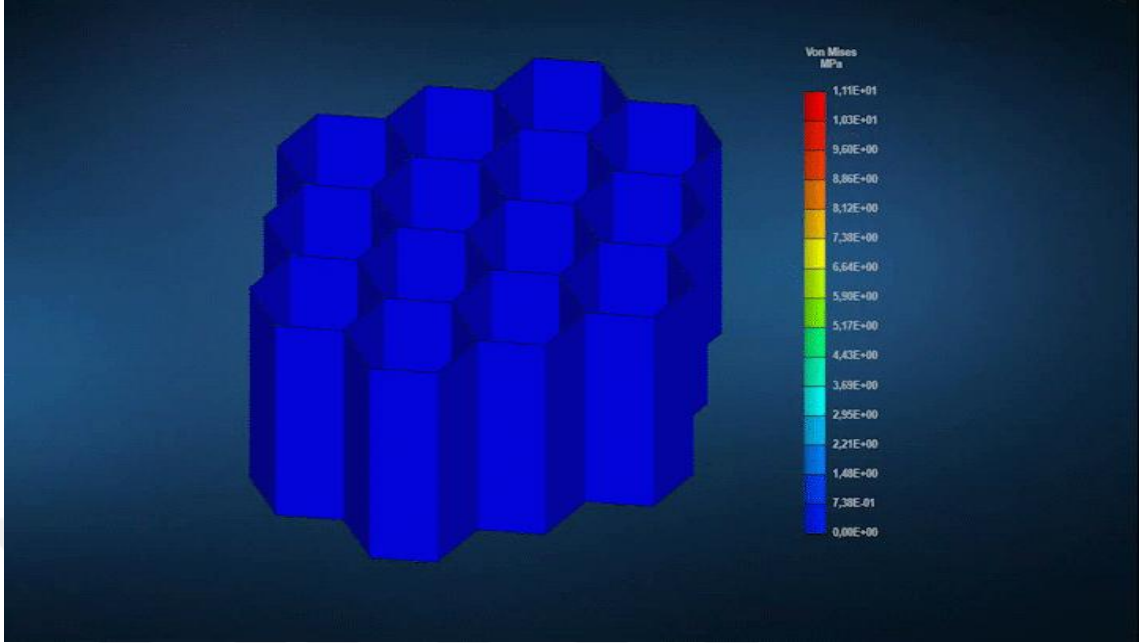
EK 23. Bal peteği tasarımı parça boyu iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük



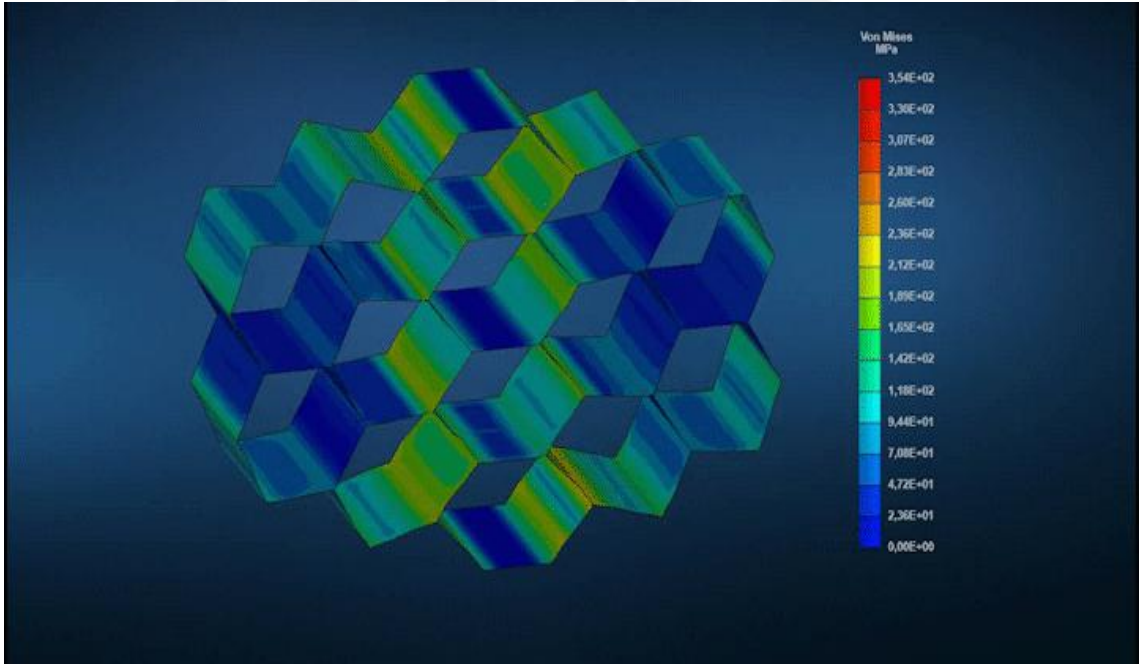
EK 24. Bal peteği tasarımı parça boyu iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük



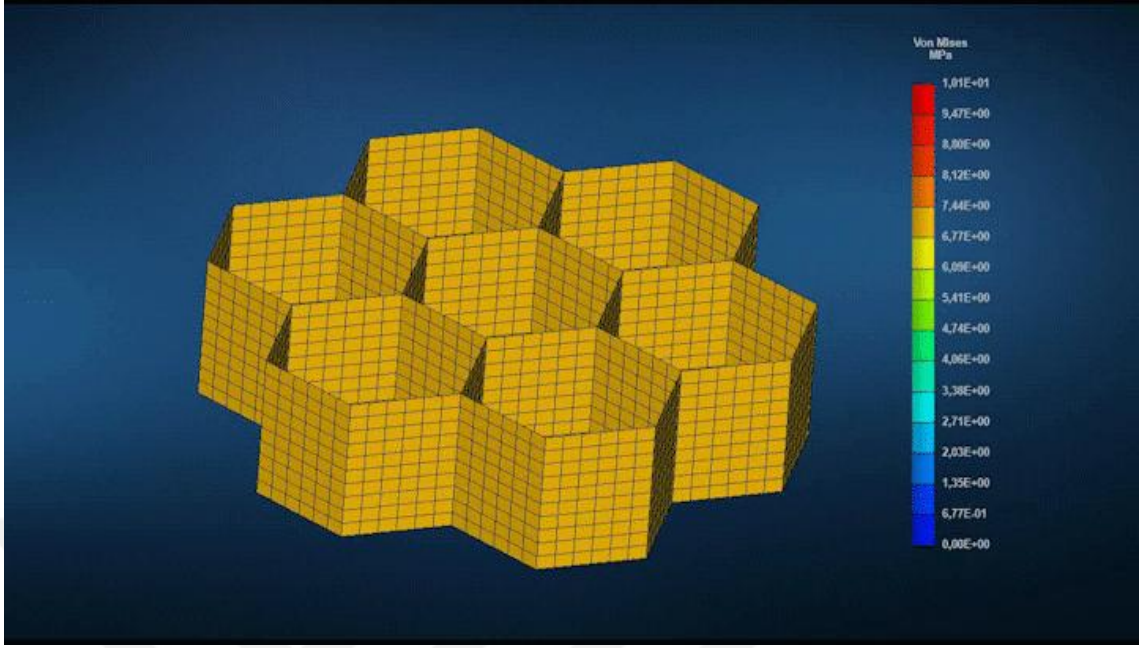
EK 25. Bal peteği tasarımı hücre sayısı iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük



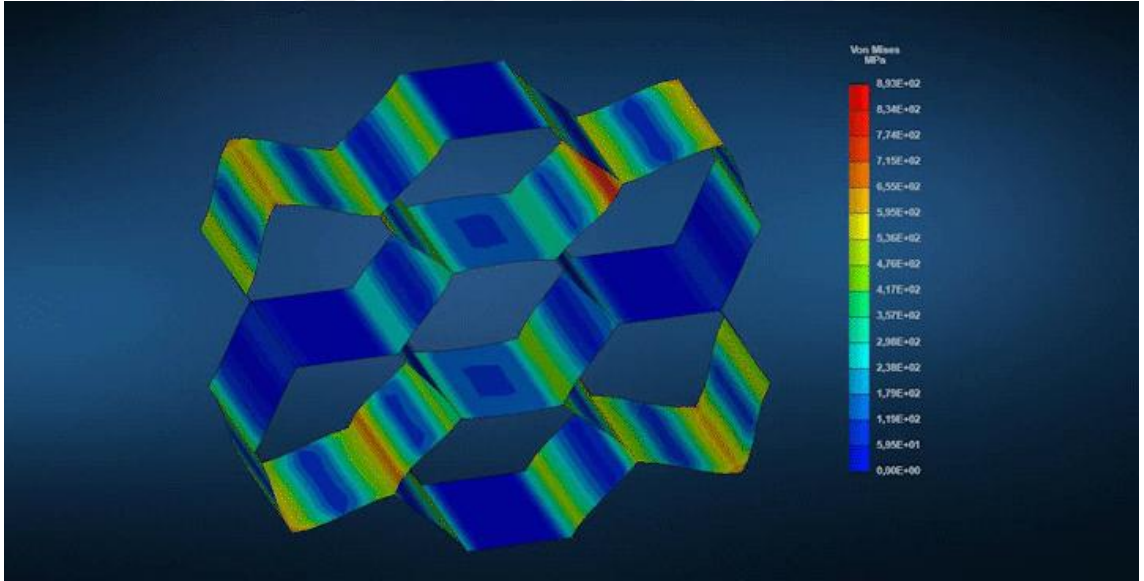
EK 26. Bal peteği tasarımı hücre sayısı iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük



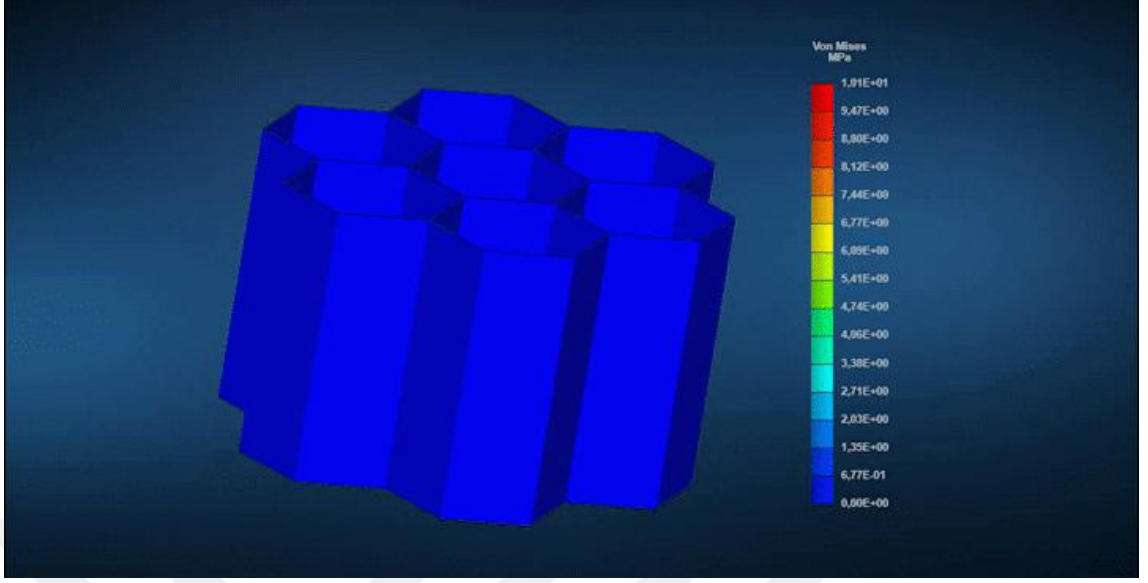
EK 27. Bal peteği tasarımı hücre boyutu iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük



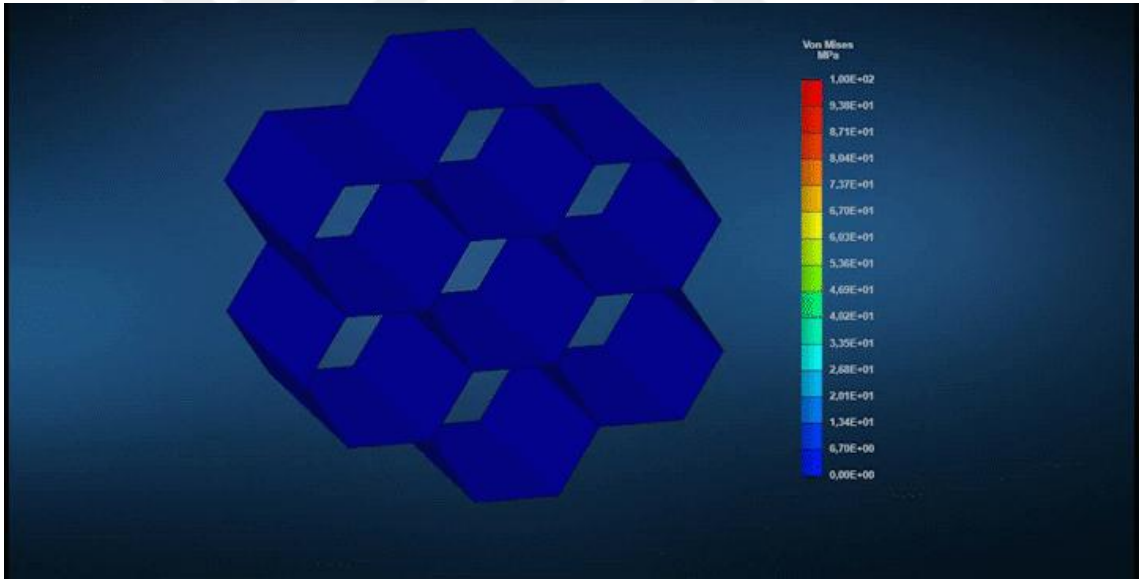
EK 28. Bal peteği tasarımı hücre boyutu iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük



Ek 29. Bal peteği tasarımı kalınlık iki katına çıkarılmış üstten uygulanan yük



Ek 30. Bal peteği tasarımı kalınlık iki katına çıkarılmış yandan uygulanan yük



Ek 31. Bal peteği tasarımı basma x ve y yönü test sonucu

Zwick / Roell

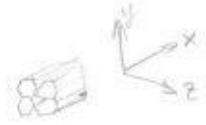
Heading
Customer
Test standard
Specimen removal :

Tester
Note
Machine data

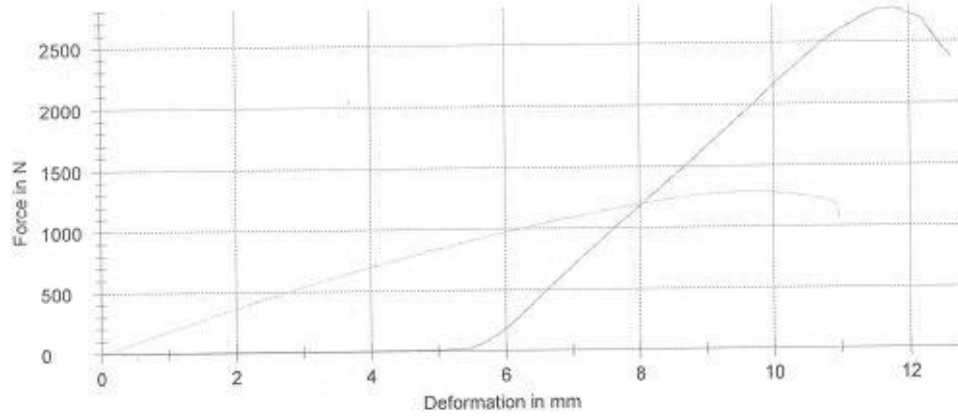
Test speed : 25 mm/min

Test results:

Nr	F _{max} N	
1	2780	→ Crush base bağlantı yönü - Akşık yönü bal peteğine x
2	1280	→ Ekmanel yarıde - bal peteğine y



Series graph:



Statistics:

Series	F _{max} N	dL at F _{max} mm	F at break N	dL at break mm
n = 2				
x	2030	10,7	1710	11,8
s	1060	1,6	923	1,2
v	52,05	14,85	53,99	9,98

Ek 32. Bal peteği tasarımı basma z yönü test sonucu

Zwick / Roell

Heading :
Customer :
Test standard :
Specimen removal :
Test speed : 25 mm/min

Tester :
Note :
Machine data :

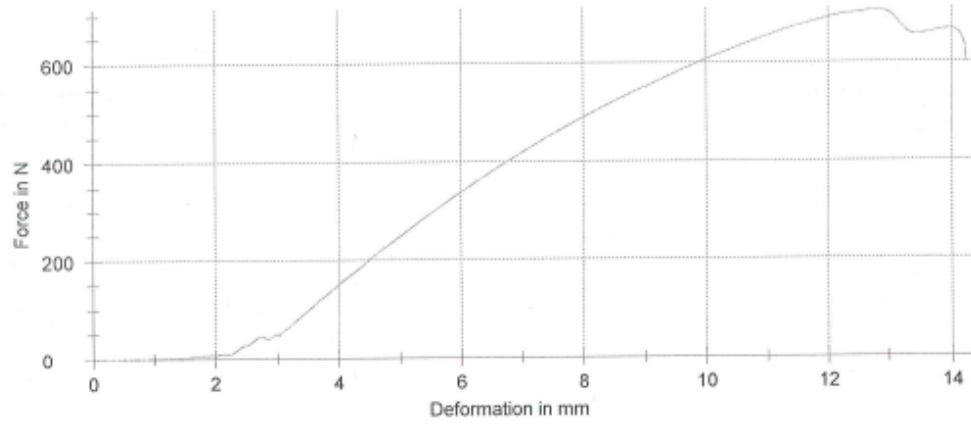
Test results:

Nr	F _{max} N
1	707

→ z yönünde



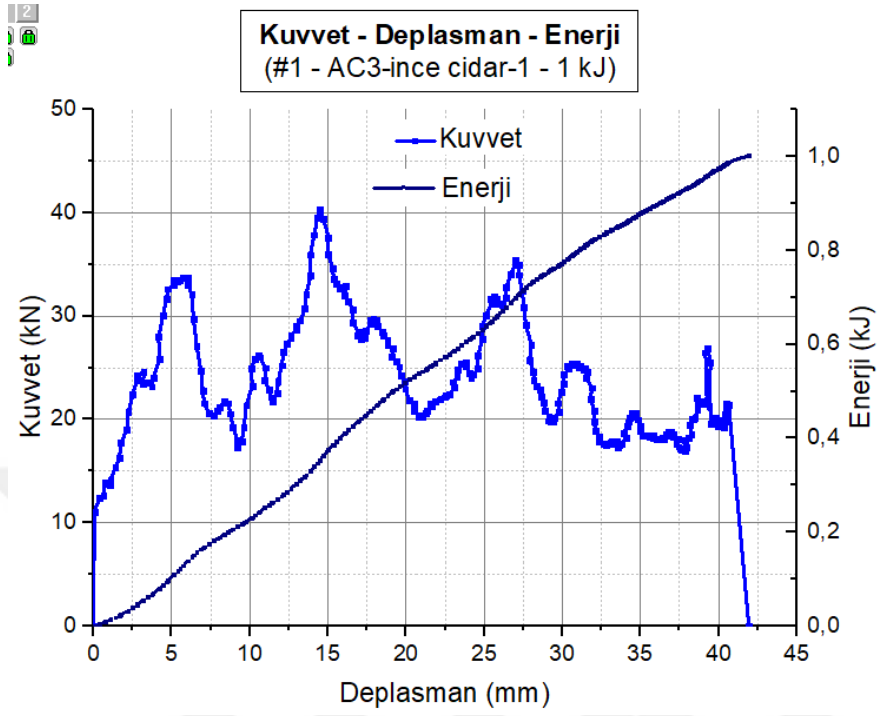
Series graph:



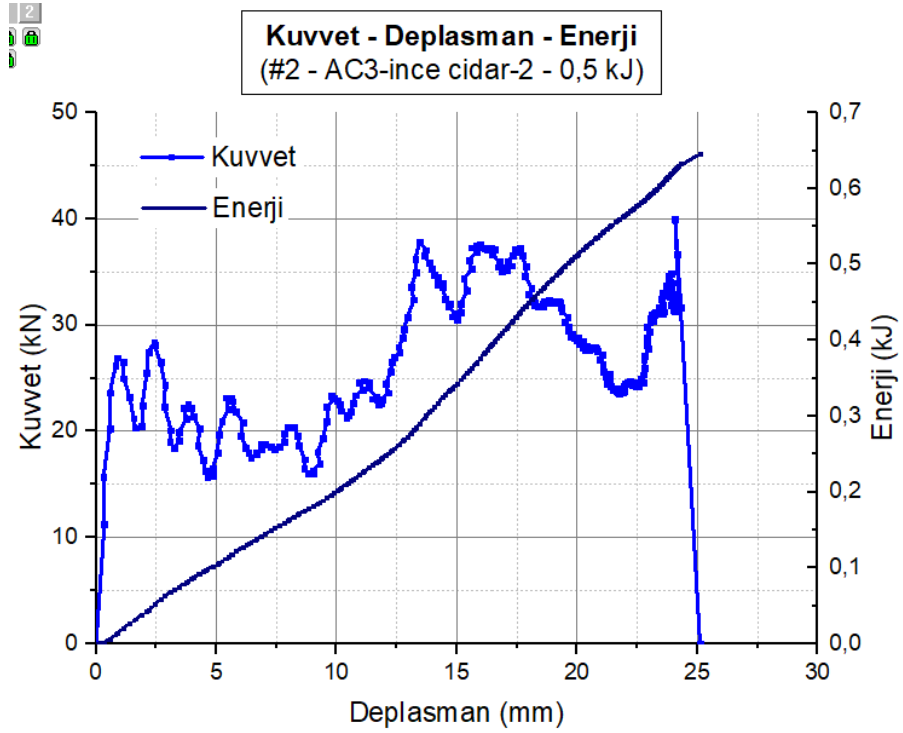
Statistics:

Series	F _{max} N	dL at F _{max} mm	F at break N	dL at break mm
n = 1				
x	707	12,8	598	14,2
s	-	-	-	-
v	-	-	-	-

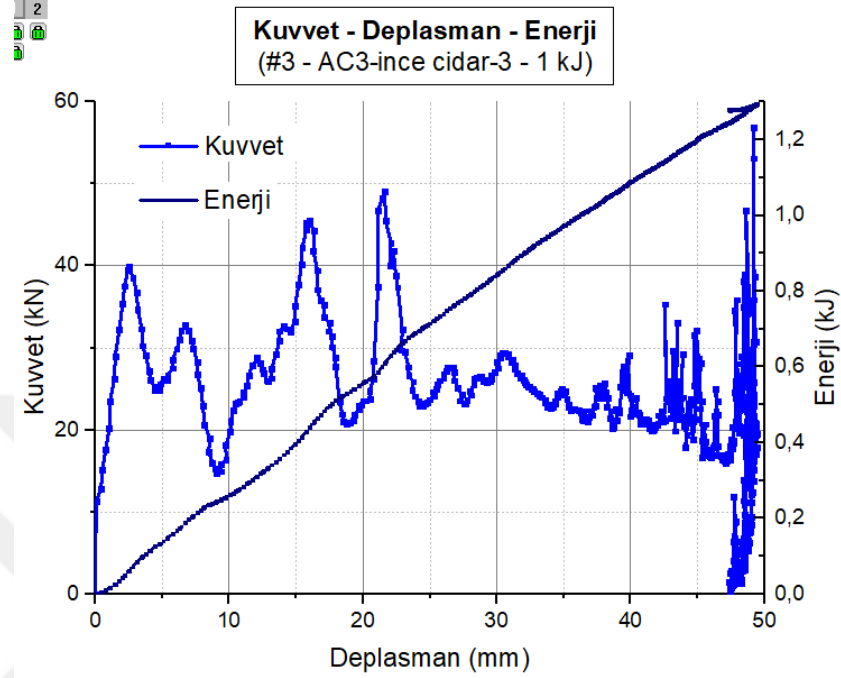
Ek 33. Darbe sönümleyici ince cidarlı 1kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



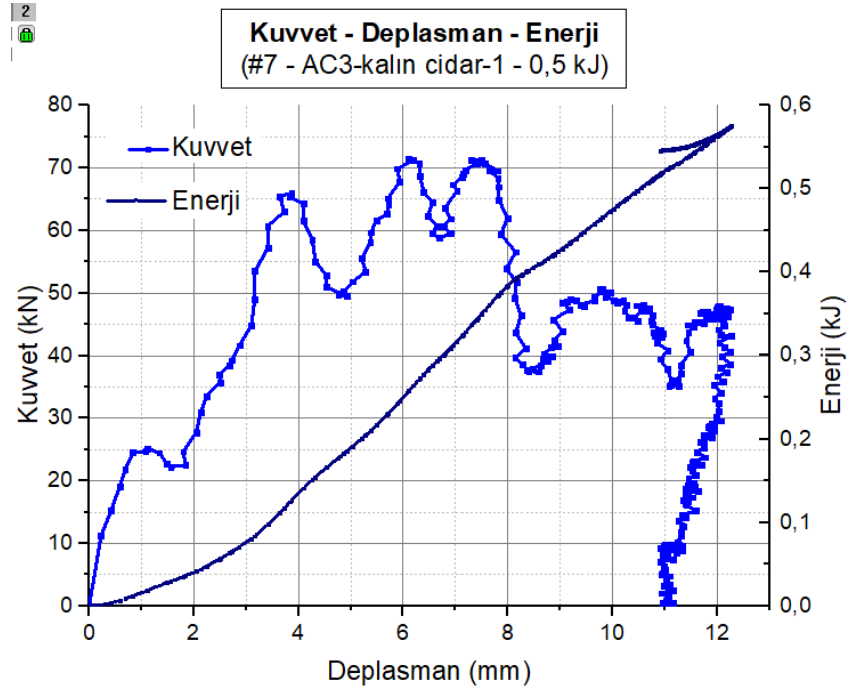
Ek 34. Darbe sönümleyici ince cidarlı 0,5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



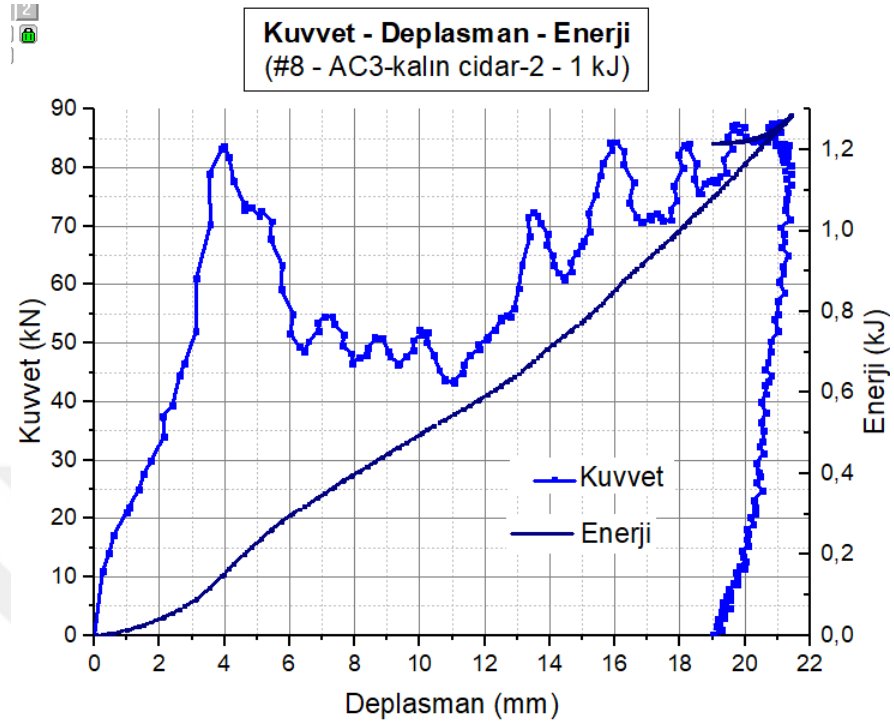
Ek 35. Darbe sönümleyici ince cidarlı 1kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



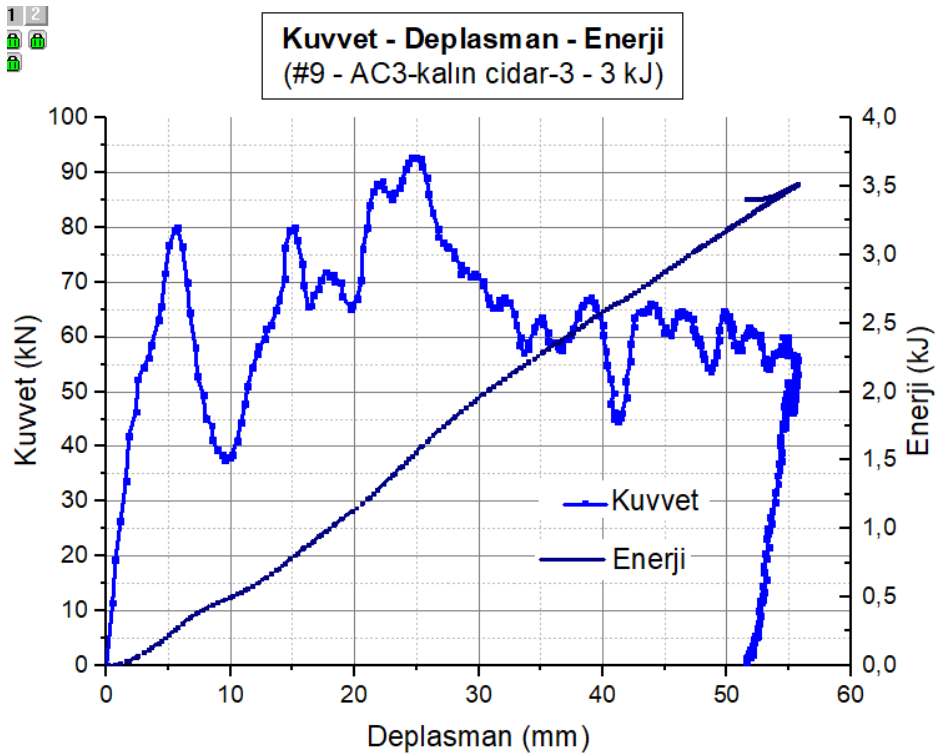
Ek 36. Darbe sönümleyici kalın cidarlı 0,5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



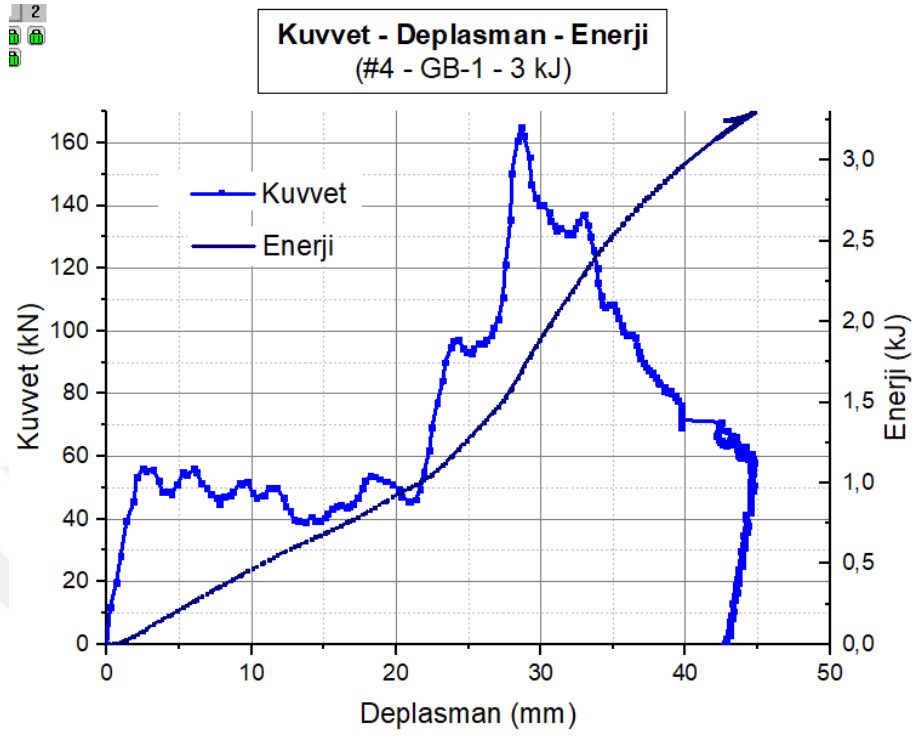
Ek 37. Darbe sönümleyici kalın cidarlı 1 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



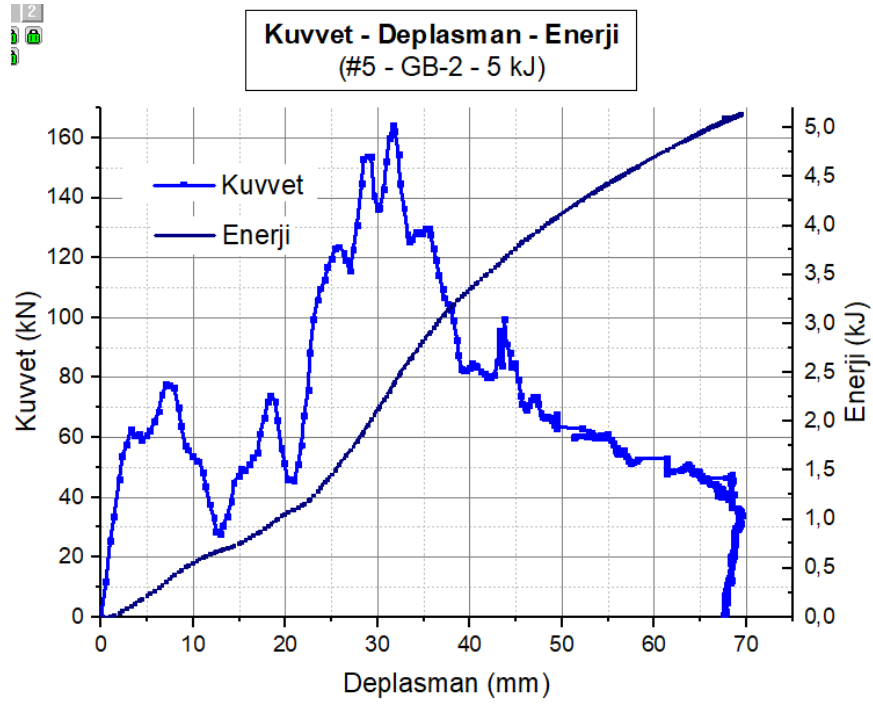
Ek 38. Darbe sönümleyici kalın cidarlı 3 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



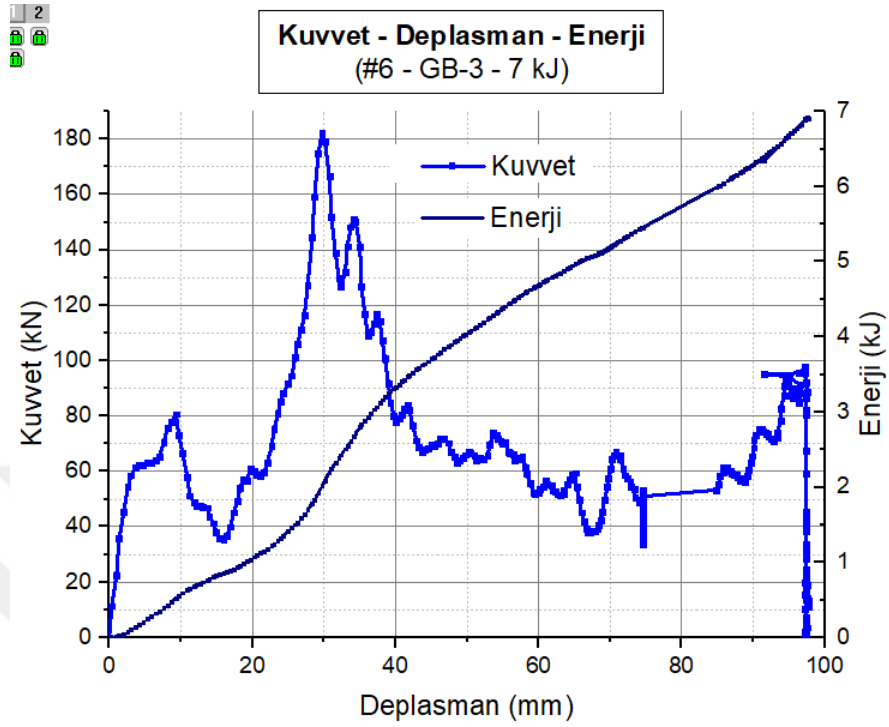
Ek 39. Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 3 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



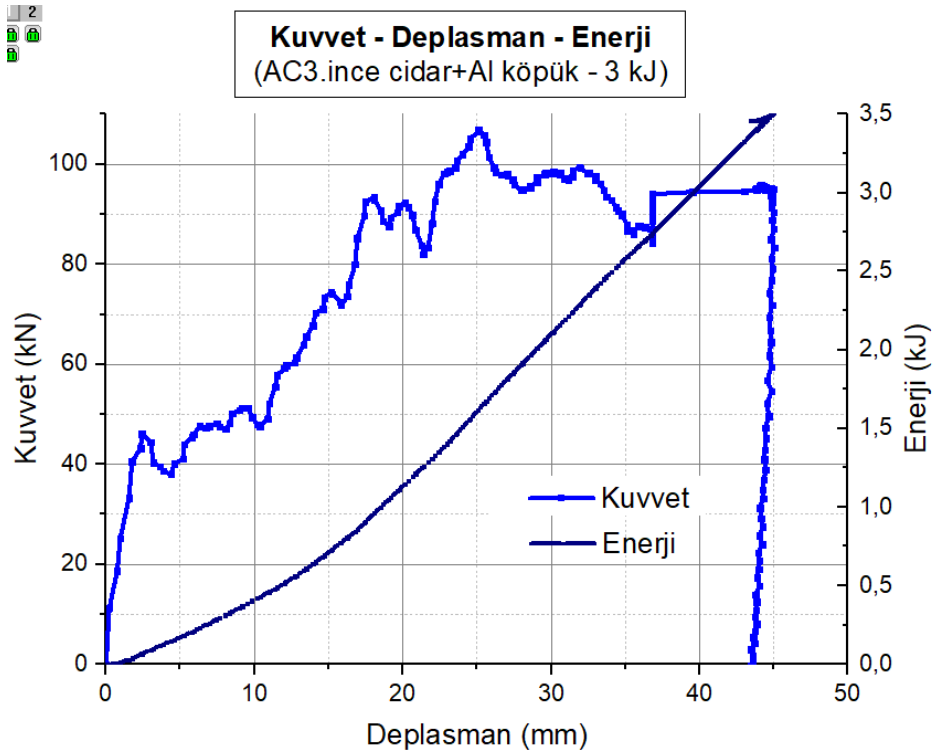
Ek 40. Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 5 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



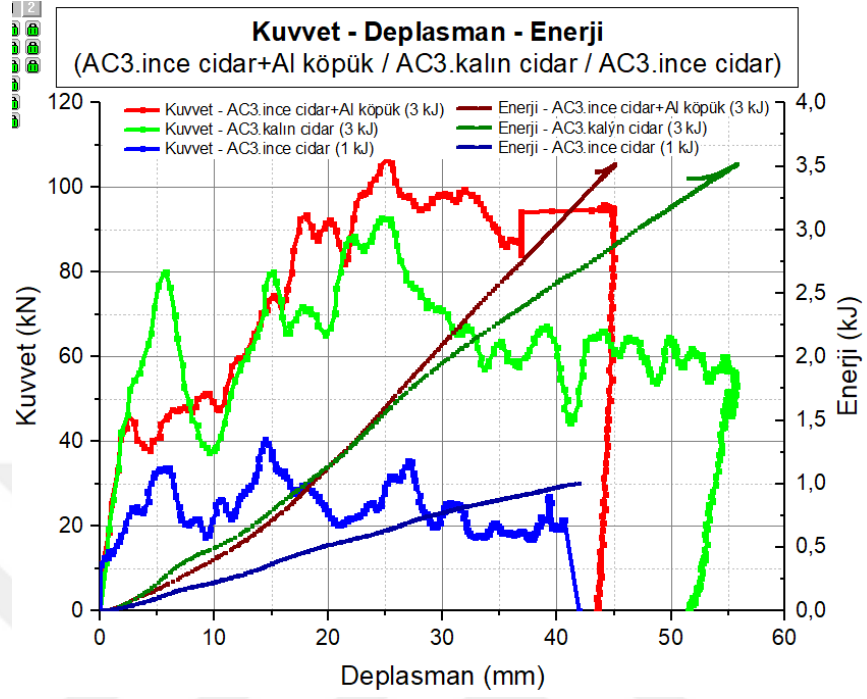
Ek 41. Farklı darbe sönümleyici kalın cidarlı 7 kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



Ek 42. Darbe sönümleyici ince cidarlı alüminyum dolgulu 3kJ yük yüklemesi kuvvet – deplasman-enerji grafiği



Ek 43. Darbe sönümleyici ince cidar +alüminyum köpük/ kalın cidarlı/ ince cidarlı braket deplasman grafiği



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tevfik Can Özgür

Doğum Yeri ve Tarihi : Konya, 21.02.1990

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Özel Diltaş Lisesi,Sayısal (2004-2008)

Lisans : Montana State University, Makine Mühendisliği (2008-2014)

Yüksek Lisans :Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği (2018-2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Aka Otomotiv, Ürün Geliştirme Mühendisi (2017-Devam ediyor)

İletişim (e-posta) : ozgurtevfik90@gmail.com

Yayınları : Cross Car Beam Development Studies, 6th International Conference on Engineering & Natural Sciences (ISPEC)(24-26 January 2020)