

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KARBON – E CAM / EPOKSİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÇEKME BASMA
VE DARBE ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Khaled Nimer Mohammad AL-NIMER

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

Temmuz, 2021

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KARBON – E CAM / EPOKSİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÇEKME BASMA
VE DARBE ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Khaled Nimer Mohammad AL-NIMER
(Y1813.080006)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Lutfiye DAHİL

Temmuz, 2021

ONAY FORMU



YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Karbon – E Cam / Epoksi Hibrit Kompozitlerin Çekme Basma Ve Darbe Özelliklerinin Sayısal Analizi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça 'da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.../.../2021)

Khaled Nimer Mohammad AL-NIMER



ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca bana bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yardımda bulunan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Lutfiye DAHİL başta olmak üzere Dr. Öğr. Üyesi Kenan Kaya ve diğer tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi, her türlü desteklerini benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2021

Khaled Nimer Mohammad AL-NIMER



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	i
1. GİRİŞ	1
1.1 Sorun Açıklaması	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
3. TEORİK ÇERÇEVE	10
3.1 Çekme Testi.....	10
3.2 Basma Testi	12
3.3 Darbe Testi	13
3.4 Çarpışma Testi.....	15
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
4.1 Materyal	20
4.1.1 Malzemenin modellenmesi	20
4.2 Sayısal Çekme ve Basma Testleri	22
4.2.1 Sayısal çözüm yöntemi	22
4.2.2 Sayısal modelin doğrulanması	23
4.2.3 Farklı hacim oranları için çekme ve basma özelliklerinin belirlenmesi ...	25
4.3 Sayısal Çarpışma Testleri.....	26
4.3.1 Sayısal çözüm yöntemi	26
4.3.2 Sayısal modelin doğrulanması	27
5. TARTIŞMA	29
5.1 Çarpışma Deneyi	29
5.1.1 Alüminyum alaşım	29
5.1.2 Hibrit kompozit	31
5.1.3 Hibrit kompozit	33
5.1.4 Kombine Parametreleri Karşılaştırması	34
5.2 Katlama	38
5.3 Katlama Sonuçları	39
Kuvvet	39
İvme	39
Zaman.....	39
Kesit	39
Diresel AL.....	39
Kare AL.....	39
Diresel hibrit	39

Kare hibrit	39
6. SONUÇ	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	54



KISALTMALAR

h	: Numune Yüksekliği
t	: Numune Kalınlığı
Kc	: Darbe Tokluğu
Ke	: Darbe Enerjisi
Pf	: Fiber Yoğunluğu
Pk	: Kompozit Yoğunluğu
Wf	: Fiber Ağırlığı
Wk	: Kompozit Ağırlığı
E	: kinetik enerji
U	: potansiyel enerji
W	: sistem üzerinde yapılan harici iş
u	: yer değiştirme

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Testin Standartları	12
Çizelge 3.2: Çekme testin numunesinin boyutları.....	12
Çizelge 4.1: Hibrit Kompozit üretmek için seçilen malzemelerin özellikleri	20
Çizelge 4.2: KC intra Malzeme özellikleri.....	22
Çizelge 4.3: Sayısal ve deneysel çekme testlerine ait gerilme ve gerinim değerleri .	23
Çizelge 4.4: Sayısal ve deneysel basma testlerine ait gerilme ve gerinim değerleri .	23
Çizelge 4.5: Hacim oranı değerleri.....	25
Çizelge 4.6: Alüminyum alaşım özellikleri.....	27
Çizelge 4.7: Sayısal ve deneysel darbe testlerine ait darbe kuvveti ve yer değiştirme değerleri.....	28
Çizelge 5.1: Dairesel Kesit.....	29
Çizelge 5.2: Kare Kesit.....	30
Çizelge 5.3: Dairesel kesit.....	31
Çizelge 5.4: Kare kesit tablosu.....	31
Çizelge 5.5: Dairesel kesit.....	33
Çizelge 5.6: Kare kesit tablosu.....	33
Çizelge 5.7: Katlama #1	39
Çizelge 5.8: Katlama #2	40
Çizelge 5.9: Katlama #3	42
Çizelge 5.10: Katlama #4	43
Çizelge 5.11: Katlama #5	45
Çizelge 5.12: Katlama #6	46

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Güvenlik hücresi.....	3
Şekil 1.2: Yük yolu.....	3
Şekil 1.3: Ölüm nedenleri.....	4
Şekil 1.4: Dairesel kesit.....	4
Şekil 1.5: Kare kesit.....	5
Şekil 3.1: Çekme testin numunesi.....	12
Şekil 3.2: Bama testin numunesi.....	13
Şekil 3.3: Darbe testi numunesi.....	15
Şekil 3.4: Dairesel kesit şasi (ön rayı).....	17
Şekil 3.5: Kare kesit şasi (ön rayı).....	17
Şekil 3.6: Azaltmış entegrasyonu vs Tam entegrasyonu.....	18
Şekil 3.7: Azaltmış entegrasyonun örneği.....	18
Şekil 3.8: Tam entegrasyonun örneği.....	19
Şekil 4.1: (a) Tek yönlü fiberler (b) epoksi, (c) istifleme düzeni [5].....	21
Şekil 4.2: ANSYS malzeme kütüphanesi.....	21
Şekil 4.3: Nihai kompozit malzeme.....	22
Şekil 4.4: KC Intra Hibrit.....	22
Şekil 4.5: Çözüm ağı.....	23
Şekil 4.6: Basma testi karşılaştırması.....	24
Şekil 4.7: Çekme testi karşılaştırması.....	24
Şekil 4.8: Basma yer değiştirme.....	25
Şekil 4.9: Çekme yer değiştirme.....	25
Şekil 4.10: Çekme testin Gerinim-Gerilme.....	26
Şekil 4.11: Basma testin Gerinim-Gerilme.....	26
Şekil 4.12: Çözüm ağı.....	27
Şekil 4.13: Darbe testin numunesi.....	27
Şekil 4.14: Darbe testin yer değiştirme.....	28
Şekil 4.15: Sayısal ve deneysel Modelin karşılaştırması.....	28
Şekil 5.1: Dairesel kesit(A: İvme, RF :Kuvvet , U yer değiştirme,V Hız).....	30
Şekil 5.2: AL Kare kesit, (A: İvme, RF :Kuvvet , U yer değiştirme, V hız).....	31
Şekil 5.3: AL Dairesel kesit(A: İvme, RF :Kuvvet , U yer değiştirme,V Hız).....	32
Şekil 5.4: AL Kare kesit, (A: İvme, RF :Kuvvet , U yer değiştirme,V Hız).....	32
Şekil 5.5: KC Dairesel kesit, (A: İvme, RF :Kuvvet ,U Deplasman ,V Hız).....	34
Şekil 5.6: KC Kare kesit, (A: İvme, RF :Kuvvet ,U Deplasman ,V Hız).....	34
Şekil 5.7: Kombine İvme vs Zaman.....	35
Şekil 5.8: Kombine Kuvvet vs Zaman.....	35
Şekil 5.9: Kombine Yer değiştirme vs Zaman.....	36
Şekil 5.10: AL Enerji – Zaman.....	36
Şekil 5.11: KC Enerji – Zaman.....	37
Şekil 5.12: Kombine Kuvvet vs Yer değiştirme.....	37

Şekil 5.13: Kombine İvme vs Yer değiştirme	38
Şekil 5.14: Katlama açıklaması	38
Şekil 5.15: Katlama Türleri	39
Şekil 5.16: Alüminyum diresel kesit 1. Katlama.....	40
Şekil 5.17: Alüminyum kare kesit 1. Katlama.....	40
Şekil 5.18: Hibrit diresel kesit 1. Katlama.....	40
Şekil 5.19: Hibrit kare kesit 1. Katlama	40
Şekil 5.20: Alüminyum diresel kesit 2. Katlama.....	41
Şekil 5.21: Alüminyum kare kesit 2. Katlama.....	41
Şekil 5.22: Hibrit diresel kesit 2. Katlama.....	41
Şekil 5.23: Hibrit kare kesit 2. Katlama	42
Şekil 5.24: Alüminyum diresel kesit 3. Katlama.....	42
Şekil 5.25: Alüminyum kare kesit 3. Katlama.....	43
Şekil 5.26: Hibrit diresel kesit 3. Katlama.....	43
Şekil 5.27: Hibrit kare kesit 3. Katlama	43
Şekil 5.28: Alüminyum diresel kesit 4. Katlama.....	44
Şekil 5.29: Alüminyum kare kesit 4. Katlama.....	44
Şekil 5.30: Hibrit diresel kesit 4. Katlama.....	44
Şekil 5.31: Hibrit kare kesit 4. Katlama	45
Şekil 5.32: Alüminyum diresel kesit 5. Katlama.....	45
Şekil 5.33: Alüminyum kare kesit 5. Katlama.....	46
Şekil 5.34: Hibrit diresel kesit 5. Katlama.....	46
Şekil 5.35: Hibrit kare kesit 5. Katlama	46
Şekil 5.36: Alüminyum diresel kesit 6. Katlama.....	47
Şekil 5.37: Alüminyum kare kesit 6. Katlama.....	47
Şekil 5.38: Hibrit diresel kesit 6. Katlama.....	47
Şekil 5.39: Hibrit kare kesit 6. Katlama	48

KARBON – E CAM / EPOKSİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÇEKME BASMA VE DARBE ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışma genel olarak pratik ve endüstriyel yaşamdaki önemi nedeniyle hibrit kompozit malzemelerin incelenmesi ile ilgilidir. Malzemenin özellikleri bazı testler uygulanarak incelenmiştir.

Testlerde kullanılan malzemeler, reçine epoksi ile cam elyaf ve karbon elyaf olup, KC-intra malzeme elde etmek için Ansys ve Abaqus yazılımları tarafından simüle edilmiş, bu deneyler numunelere çekme yükleri ve darbe yükleri ve basma yükleri uygulanarak çalışılmıştır.

Bu çalışmada, test edilecek malzeme mekanik özelliklerini elde etmek için ANSYS kullanarak yapılmıştır. Bu malzeme bu çalışmada iki bölüm halinde kullanılmıştır. Birincisi hacim fraksiyonunun değiştirilmesinin mekanik malzemenin özelliklerine etkisinin incelenmesi ve farklı yükleri taşıma kabiliyeti, Gerinim-Gerilme'in şekilleri karşılaştırılarak sonuçlar incelenmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümü, aynı malzemenin otomobilin yapısının ön rayı kısmında kullanılması ve sonuçlarının alüminyum ile karşılaştırılmasıdır. Bu çalışma sayesinde, hibrit malzemelerin alüminyumdan daha yüksek enerji ve şok emme kabiliyetine sahip olduğu ve bu nedenle kullanımlarının daha iyi olduğu, çünkü araba kullanan insanların yaşamları için emniyet ve güvenliği artırdığı belirtildi.

Anahtar Kelimeler: Hibrit kompozit, GFRC, Ön Rayı , Intra, Fiber.

NUMARICAL ANALYSIS OF TENSILE COMPRESSION AND IMPACT PROPERTIES OF CARBON – E GLASS / EPOXY HYBRID KOMPOSITE'S

ABSTRACT

This study is generally related to the examination of hybrid composite materials due to their importance in practical and industrial life. The properties of the material were investigated by applying some tests.

The materials used in the tests were resin epoxy, glass fiber and carbon fiber, which were simulated by Ansys and Abaqus software to obtain KC-intra material, and these experiments were studied by applying tensile loads and impact loads and compression loads to the samples.

In this study, the material to be tested was carried out using ANSYS to obtain its mechanical properties. This material was used in two parts in this study. First, the effect of changing the volume fraction on the properties of the mechanical material and its ability to carry different loads were compared with the drawings of Strain-Strain and the results were examined.

The second part of this study is the use of the same material in the front rail part of the structure of the car and the comparison of the results with aluminum. Through this study, it was stated that hybrid materials have higher energy and shock absorption ability than aluminum, and therefore their use is better, because it improves safety and security for the lives of people who drive.

Keywords: *Hybrid composite, GFRC, Front Rail, Intra, Fiber.*

1. GİRİŞ

Kompozit malzeme, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip en az iki malzemenin bir karışımıdır. Bu malzemeler birleştirildiğinde, belirli bir işi yapması için, örneğin daha güçlü, daha hafif veya elektriksel olarak dirençli olması amaçlanan bir malzeme üretilir. Bununla birlikte gücü, sertliği ve diğer özellikleri de değiştirilebilir.

Kompozit malzemenin geleneksel malzemeler üzerinde kullanılmasının temel nedeni, temel malzemelerin özelliklerini iyileştirmesi ve havacılık, inşaat ve spor malzemeleri gibi birçok endüstriyel alanda uygulanabilmesidir. Ağırlığın azaltılması, geleneksel malzemeler yerine kompozit malzemelerin kullanılmasının ana nedenlerinden biridir. Kompozit malzemeler daha hafif olmasına rağmen, bazı durumlarda diğer malzemelerden daha güçlüdür. Örneğin, karbon fiber takviyeli, 1020 çelikten beş kat daha güçlü olabilir ve çeliğin ağırlığının yalnızca beşte biri ağırlığında olabilir, bu nedenle yapısal amaçlar için idealdir.

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere tercih edilmesinin bir diğer önemli özelliği de ısı ve kimyasal dayanıklılığı ile elektriksel yalıtım özellikleridir. Geleneksel malzemelerden farklı olarak, kompozitler genellikle tek bir malzeme bulunmayan birden fazla özelliğe sahip olabilir.

Fiber takviyeli plastik (FRP kompozitler) gibi fiber takviyeli kompozitler, ticarileştirme için nihai ürünlerin tasarımında ve imalatında artan bir kullanım bulmaktadır. Hibrit kompozitler ise, iki veya daha fazla farklı tipte fiberin ortak bir matris içinde birleştirilmesiyle üretilen malzemelerdir.

Hibrit kompozitler, aynı matriste birden fazla çeşit takviye kullanır; bu nedenle fikir, takviyelerin özelliklerinin kompozitlerin genel özellikleri üzerindeki sinerjik etkisini elde etmektir. Hibrit kompozitlerle, herhangi bir kompozit malzeme var olan avantajlar ve dezavantajlar arasında daha uygun bir denge sağlayarak, özelliklerin daha fazla kontrolüne sahip olmak mümkün olabilir.

Popüler olan hibrit kompozitler arasında yer alan lifler; yüksek modüllü bir fiber, düşük uzama özellikli yüksek fiyatlıdır. Örneğin karbon, bor ve alternatif elyaf genellikle düşük modüllü, yüksek uzama özellikli ve düşük fiyatlıdır. Örneğin E-cam, Kevlar.

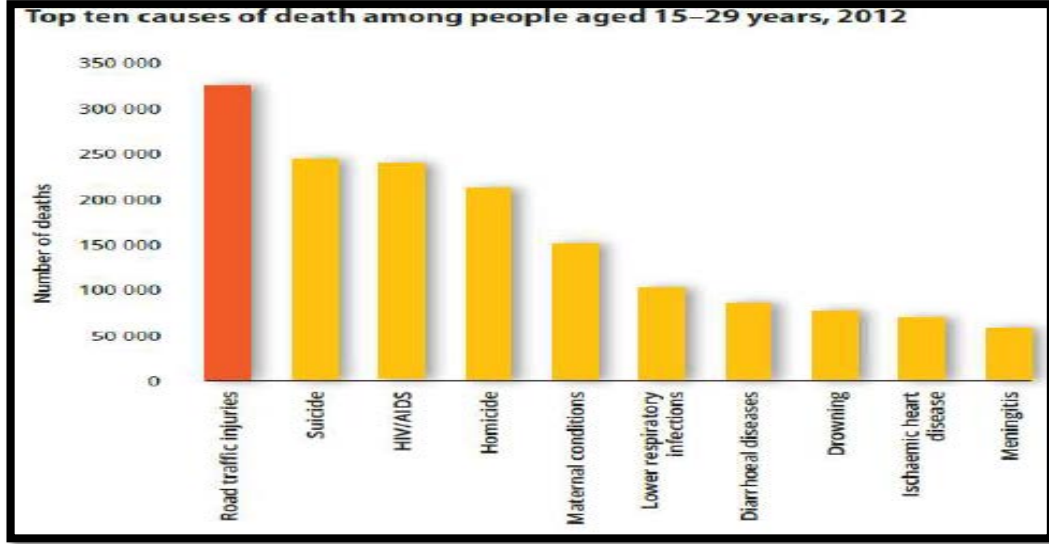
Yüksek modüllü, düşük uzamalı fiber (karbon), hibriti sertleştirir ve yüksek yük taşıma özelliği verir. Diğer taraftan, düşük modüllü, yüksek uzamalı düşük fiyatlı fiber (E-glass) hibriti daha sünek ve hasara dayanıklı hale getirir ve malzeme maliyetini düşürür. Hibritlerin mekanik özellikleri, 2 elyaf türünün hacim oranlarına ve 2 elyaf türünün kompozit sistemler içindeki birleşme ve dağılımına bağlıdır.

Bu çalışmada ilk adım, hibrit kompozitlerden (Cam elyafı+karbon elyafı/epoksi) yapılmış bazı numunelerin test edilmesi olacaktır. Testler çekme testi ve darbe testi olacak, bu testlerin sonuçları bize ortaya çıkan yeni malzeme, bu malzemenin gerilme-gerinim fonksiyonları ve malzeme mukavemet parametreleri hakkında detaylı bilgi verecektir.

Bu aşamadan sonra bu malzeme arabadaki ön ray -şasi- gibi gerçek bir durumda uygulanacak ve sonuçları daha anlamlı hale getirmek için hibrit sonuçları farklı kesit alanlı alüminyum bir tasarımla karşılaştırılacaktır.

Otomobil endüstrisindeki asıl amacın trafik kazalarını önlemek olduğu doğrudur; ancak, bu her zaman elde edilemez ve sonuç olarak, otomobil yapısının tasarımı, özellikle otomobilin hayatta kalabilmeyi sağlayacağıının son dönemlerde popüler bir düşünce olması nedeniyle, çarpışmaya dayanıklılık standartlarını ve kriterlerini dikkate almak gerekmektedir. Bu kapsamda da söz konusu unsurlardaki sürdürülebilirlik önem arz etmektedir.

Sürdürülebilirlik iki faktör tarafından belirlenir. Birincisi, yolculara iletilmek yerine önceden tasarlanmış yollarına iletilen kuvvetlerin miktarıdır. İkinci faktör, bu yapının yolcular için yeterli yenilik yapılmamış alanı muhafaza etme yeteneğidir.

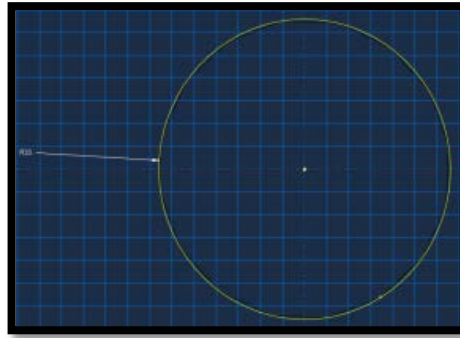


Şekil 1.3: Ölüm nedenleri.

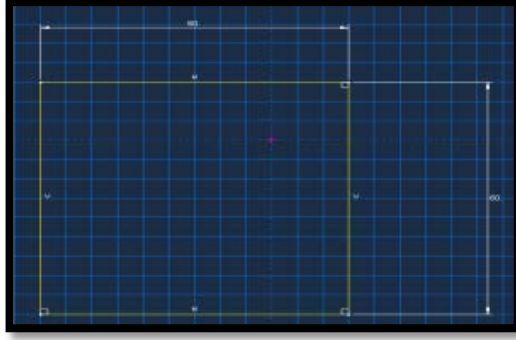
1.1 Sorun Açıklaması

Bu çalışma, önden çarpma testleri için, yani ön yan eleman için, rijit duvarın arabadaki gövde yapısının en önemli bileşenlerinden birine çarpmasını simüle etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, bir yapının iki ön ray geometrik özelliğinin darbelerine tepkisini simüle etme ve değerlendirilmesine yönelik hazırlanmıştır:

- A. Ortalama yarıçapı $r=33$ mm olan dairesel silindir.
- B. Aynı alana sahip kare kesit, yani 60 mm kenar.



Şekil 1.1: Dairesel kesit.



Şekil 1.2: Kare kesit.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu makalede, fiber kompozitlerin üretimi ve araştırılmasına yer verilmiştir. Bunları ayrı ayrı kullanılan GFRP ve CFRP ile karşılaştırmaktadır. Kompozitin mekanik davranışı, kompozit laminatların gerilme (değişen gerilme oranlarında ve sıcaklıklarda), eğilme (değişken gerilme oranlarında) ve darbe için test edilmesiyle elde edilir. Hacim oranı, özelliklerin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Hacim oranı genellikle kompozit özelliklerini etkileyen en önemli parametre olarak kabul edilir [1].

Bu makalede, düşük hız darbe testi sonuçları, farklı istiflemeye maruz kalan kompozit laminatlar için darbe kuvveti-zaman davranışını ifade etmektedir. Farklı istifleme sıralarına sahip kompozit laminatlar için darbe zorlamalı yer değiştirme söz konusudur. Yükleme başladığında kuvvet yer değiştirme ile lineer olarak artar ve maksimum hızına ulaşır. Bu noktadan sonra, doğrusal olmayan davranışı temsil eden boşaltma aşamaları başlar [2].

Bu hafif tasarım konsepti, sandviç yapıların belirli bükülme sertliğini/kuvvetini en üst düzeye çıkarmasını ve enerji emme kapasitesini geliştirmesini sağlar. Bu tür yapıların düşük hızlı darbe davranışı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Darbe enerjisinin, çekirdek kalınlığının ve darbe bölgesinin darbe yükü, emilen enerji ve arıza modları üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak darbe direncini incelemek için bir dizi düşük hızlı darbe testi yapılır [3].

ABAQUS/Explicit'te Hashin arıza kriterlerine ve Yeh delaminasyon arıza kriterlerine dayalı aşamalı bir hasar modelinin uygulandığı bileşik yüzey levha davranışını modellemek için bir kullanıcı alt programı olarak VUMAT geliştirilmiştir [3].

Darbe enerjisi için darbe yükü-zaman ve emilen enerji-zaman ilişkisi eğrilerinin sayısal ve deneysel sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, birbirleriyle genel olarak iyi bir uyum olduğunu göstermektedir [3].

Bu çalışmada, dört farklı hibrit laminat kombinasyonunun düşük hızlı darbe yüklemesine tepkisini belirlemek için aletli bir darbe test makinesi kullanılarak deneysel araştırmalar yapılmıştır. Hibrit laminatlar, SC-15 epoksi reçine sistemi ile vakum destekli reçine kalıplama işlemi kullanılarak dimi dokuma karbon kumaş ve düz dokuma S2-cam kumaş ile üretilmiştir.

Hibrit numunelerle karşılaştırmak için ise karbon/epoksi ve cam/epoksi laminatların tepkisi araştırılmıştır. 100 mm boyutunda ve 3 mm nominal kalınlığa sahip kare laminatlar, 10, 20, 30 ve 40 J'lik dört enerji seviyesinde düşük hızlı darbe yüklemesine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonuçları, sertlikte hafif bir azalma ile karbon/epoksi laminatlara kıyasla hibrit kompozitlerin yük taşıma kapasitesinde önemli bir gelişme olduğunu göstermektedir.

Absorbe edilen enerji, toplam enerji ile maksimum yükteki enerji arasındaki fark olarak hesaplanır. Bir darbe durumunda, enerji, elastik, plastik deformasyon yoluyla ve kırılma yoluyla yeni yüzeylerin oluşturulması yoluyla bir malzeme tarafından emilir [4].

Bu makalede, Test verilerinin özetinden sonra, hibrit kompozitin [CG-INTRA] çekme özelliklerinin, hibrit kompozitin [CG-INTER] özelliklerinden bir dereceye kadar daha iyi olduğu görülmektedir. Fark çok önemli olmasa da, biraz daha iyi performans, katman içi hibrit yapı tarafından sağlanır. Başka bir deyişle, hibrit kompozitler için, karbon ve cam fiberlerin her katmana dönüşümlü olarak (katman içi) yerleştirilmesi, katman katman yerleştirildikleri duruma (ara katman) göre nispeten daha iyi çekme özellikleri (örneğin mukavemet) verir [5].

Bu makale, çekme yüklemesinde cam/karbon UD hibrit laminatlarda olası tüm hasar modlarının modellenmesini önermektedir. Camın birim hacmi için eşdeğer bir stres hesaplamaya yönelik olarak cam tabakası üzerindeki stres dağılımının entegre edilmesiyle cam tabakası arızası tahmin edildiğinde

analiz durdurulmuştur. Hasar başlamadan önce numune üzerindeki düzgün gerilme dağılımı nedeniyle, ilk karbon tabakasının parçalanması numunelerin hepsinde aynıdır, ancak bundan sonra karbon ve cam tabakalarının sayısı aşağıdaki hasar modlarını belirler [6].

Bu makalede, mukavemet ve modülün hibrit kompozisyon ile değişimi Kalnin ve Piggot ve Harris tarafından araştırılmıştır. Büyüklüklerdeki en büyük farklılıklar, Piggot ve Harris tarafından kullanılan çok düşük lif hacim fraksiyonundan (0.3) kaynaklanmaktadır. Yine de dikkat edilmesi gereken önemli bir özellik, mukavemet varyasyonundaki benzer davranıştır; yani, arsanın tamamen cam tarafına yakın minimum durumdur [7].

Bu makalede, Karbon nanotüplerin (CNT'ler) karbon fiber takviyeli kompozitlerin (CFR'ler) düşük hız etkisi altında darbe tepkisi üzerindeki etkisi hakkında fikir edinmek için çalışılmıştır. Belirli miktarda CNT, kompozitlerin mekanik özelliklerinde iyileştirmelere yol açabilir. Mevcut araştırmada, Hashin kriteri ve koheziv bölge modellemesi kullanılarak matris çatlama, fiber hasarı ve delaminasyon dahil olmak üzere nano kompozitlerin çeşitli hasar modlarını araştırmak için ABAQUS/Açık sonlu eleman kodu (FEM) kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, CNT içeriğindeki daha fazla artışın çok fazla hasara ve kompozit yapıya kinematik enerji transferine neden olabileceğini göstermektedir. Bu sonuç uyarıcıdır, çünkü oldukça az miktarda CNT, kompozit numunenin darbe kapasitesinde ani ve büyük kayıplarına neden olur. Bu sonuç henüz diğer araştırmacılar tarafından elde edilmemiştir ve mevcut araştırmanın önemli açıklamalarından biridir [8].

Yeni reçine bazlı fiber kompozit malzemelerin darbe direncini incelemek ve bunları elektrikli araç akü PAKETİ kutusuna uygulamak için, fiber kompozit laminatlar için dinamik simülasyon, ANSYS ACP modülü ve Explicit Dynamics modülüne dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modelinin hesaplanmasında, deney numuneleri etrafında üst yüzeyin maksimum gerilmesi ve maksimum gerinmesinin değişimine göre malzemenin hasarı istendik bir durum değildir. Ve çarpma enerjisi farklı düşme yüksekliklerinden hesaplanmıştır. 2 kg'lık darbeleri çekici, sırasıyla

600mm, 800mm, 1000mm ve 1500mm yükseklikte test düzleminden düşürülür. Düşen hummer'ın yüksekliği artarken çarpma enerjisi artar [9].

Bu çalışma, kompozit malzemelerden yapılmış bir hafif uçağın çarpışmaya dayanıklılığını analiz etmektedir. Karbon fiber kompozit gövdeler üzerinde dinamik darbe simülasyonları yapmak için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

Sonuçlar, 30 çarpma açısında düşen bir alüminyum alaşımlı kokpit için güvenli çarpma hızının 9,59 m/s olduğunu, ancak kompozit malzemedan yapılmış bir kokpitin 18,05 m/s'den daha yüksek bir hıza dayanabileceğini göstermektedir.

Alüminyum alaşımlı bir kokpit için güvenli çarpma açısı 16:56'dır, ancak kompozit bir kokpit için bu 84:9'dur. Kompozit malzeme kokpitinin güvenlik çarpışma bölgesi, alüminyum alaşımlı kokpitten %160 daha fazladır [10].

Bu makalede, ilk aşamadaki enerji (E_k) ve yerçekimi kuvvetinin (E_g) çarpma sırasındaki işi, çarpma kuvvetinin (E_F) ve toplam kayıp enerjinin (E_{TL}) işine eşittir. Toplam kayıp enerji, sürtünme ile dağılan enerjiyi titreşim enerjisini içermektedir [11].

3. TEORİK ÇERÇEVE

3.1 Çekme Testi

Çekme testi, mukavemet, süneklik, tokluk, elastik modül ve gerinimle sertleşme kabiliyeti gibi unsurlar malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için en yaygın yöntemdir (üretim mühendisliği ve teknolojisi). [12].

Çekme testi malzeme ve bu malzemenin tasarımında onu kullanma yeteneği ile birlikte malzemenin çekme yükü yüklenirse malzemenin davranışı hakkında çok faydalı bilgiler sağlar. Bu bağlamda söz konusu çalışmada ağırlıklı olarak malzemelerin düşük hızda çekme kuvvetleri altındaki davranışlarının anlaşılması hedeflenmektedir.

Çalışmanın oda sıcaklığında gerçekleşmesi ve etrafındaki sıcaklıklarla genellenebilmesi esas alınmıştır. Malzemedeki gerilme-gerinim diyagramı elde edildiğinde malzemedeki akma gerilmesi, nihai gerilme ve kırılma gerilmesi de elde edilebileceği ön görülmektedir [13].

Çekme testi, birçok şeyin gerçekleştirilmesinde yardımcı olmaktadır; malzeme ve tasarım bilimindeki en önemli diyagram olan stres-gerinim diyagramını elde etmek için kullanılır. Verim stresini veya nihai stresi onsuz elde etmemizin hiçbir yolu yoktur.

Genellikle mühendislik malzemeleri, bu test altındaki malzemelerin davranışlarına bağlı olarak sünek (yani Alüminyum) veya kırılğan (yani dökme demir) olmak üzere iki türden birine girer [14]. Sünek malzemeler, akma gerilmesinden sonra plastik olarak deforme olabilir, ancak gevrek malzemeler bundan önce kırılır.

- Akma gerilimi: Gerilme diyagramında elastik deformasyon ile plastik deformasyon arasındaki sınırdır ve çoğunlukla kırılma noktası olarak kabul edilir.

- Nihai mukavemet veya stres: Mühendislik stres gerinim diyagramındaki maksimum stres ve boyun vermenin başlama noktasıdır [15].
- Lineer elastik kısım: Gerilme gerinim diyagramının ilk kısmı normalde lineerdir ve eğime sahiptir (E: genç modülleri) ve yükü kaldırdıktan sonra numunenin ilk durumuna dönebileceği bölgeyi temsil eder [16].
- Plastik deformasyon: Akma gerilmesinden sonra oluşan kalıcı deformasyon [17].
- Kırılma mukavemeti: Diyagramın sona erdiği gerilme-şekil değiştirme diyagramındaki malzemenin gerilmesidir [18].
- Tokluk: Malzemenin birim hacmini kırmak için gereken enerji [18].

$$\epsilon = \delta / L_0$$

Burada ϵ gerinim, δ uzama ve L_0 numunenin orijinal uzunluğudur.

$$\epsilon_{\text{true}} = \delta / L_n$$

Burada ϵ_{true} gerçek gerinim, δ uzama ve L_n numunenin güncelleme uzunluğudur.

$$\Delta L \% = (L - L_0) / L_0 * \% 100$$

Bu formül uzunluktaki yüzde değişimini ifade etmektedir.

$$\Delta A \% = (A - A_0) / A_0 * \% 100$$

Bu formül alandaki yüzde değişimini ifade etmektedir.

Esneklik modülü (UR)=eğrinin lineer kısmının altındaki alandır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Yüzde uzama ($\epsilon\%$), malzeme uzunluğundaki değişimin ilk uzunluğa bölümüdür.

Fiber Tensile failure ($\sigma_{11} \geq 0$):

$$F_{ft} = \left(\frac{\sigma_{11}}{X^T} \right)^2 + \alpha \left(\frac{\sigma_{12}}{S_{12}} \right)^2 = 1$$

Matrix Tensile failure ($\sigma_{22} \geq 0$):

$$F_{mt} = \left(\frac{\sigma_{22}}{Xy^T} \right)^2 + \alpha \left(\frac{\sigma_{12}}{S_{12}} \right)^2 = 1$$



Şekil 3.1: Çekme testin numunesi

Tablo 3.1' ve tablo 3.2' çekme testi için seçelen ölçü sistemi ve numunenin boyutları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Testin Standartları

Ölçü sistemi	N, t, mm, s,
Açı	degree
Dönme hızı	Rad/s
Sıcaklık	Celsius C

Çizelge 3.2: Çekme testin numunesinin boyutları.

Uzunluk	250 mm
Genişlik	20 mm
Kalınlık	2 mm

3.2 Basma Testi

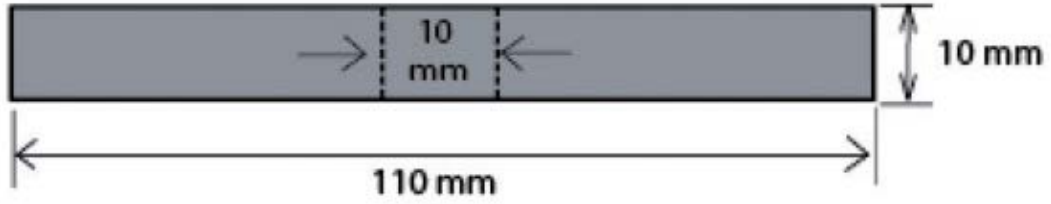
Bir sıkıştırma testi, bir malzemeyi basınç altında alan ve numuneyi zıt yönlerden iten veya başka bir şekilde sıkıştırılmış, "ezilmiş" olan herhangi bir testtir.

Test numunesi genellikle uygulanan yükü test numunesinin iki yüzünün yüzey alanı boyunca dağıtan iki plaka arasına konur ve daha sonra plakalar, numunenin basınçlandırılmasına neden olan evrensel bir test makinesi tarafından birlikte hareket ettirilir.

Sıkıştırılmış bir numune, genellikle uygulanan kuvvetler doğrultusunda kısaltılır ve kuvvete dik yönde ilerler. Bir sıkıştırma testi, esas olarak gerilim testinin

tersidir. Sıkıştırma yükü malzemede negatif gerilme yapar ve malzemenin geniş girmeye çalışması ve sürtünme reaksiyonu nedeniyle malzemenin yanlarında namlu oluşmasına neden olur. Seçilen numune standart boyutta olmalı ve numunede burkulmayı önlemek için numune kısa olmalıdır.

Basma prensibi çekme testi ile aynıdır ve gerilme gerinim diyagramı negatif kısımdadır ancak çekme testinde olduğu gibidir.



Şekil 3.2: Bama testin numunesi

$$\sigma = F/A_0$$

$$\varepsilon = \Delta L/L_0$$

$$E = FL_0/A_0 \cdot \Delta L$$

$$(\sigma/\rho)$$

$$(E/\rho)$$

3.3 Darbe Testi

Gerçek hayatta yükleme statik olmayabilir ve çok hızlı, şok veya darbe olabilir, bu nedenle çalışmamızın ikinci bölümünde malzemelerimizin darbe altındaki davranışını inceleyeceğiz.

Bazen bir şey kırılmak istendiğinde malzemeye sert vurulur. Nesne kırılmak isteniyorsa nesnenin sert olduğu fark edilir ve daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur. Aynı prensip, malzemelerin tokluğunu ölçen darbe testinde de vardır. "Darbe" kelimesi, çok kısa bir süre içinde numuneye çok büyük miktarda yükün çarpacağı ve bu yükün numuneyi kıracağı; malzemede bir darbe şokuna neden olacağı anlamına gelir. Bu testte, yük numuneye çarptıktan sonra çekicinin genliği göz önünde bulundurularak numuneyi kırmak için kaybedilen enerji ölçülebilir ve bu ilk genlikle karşılaştırılabilir; ardından da denklemini kullanmak uygun olabilir ($E=mgh$).

- *Balistik deneylerin tanımlanması*

Balistik, mermilerin ve ateşli silahların incelenmesi ve bilimi olarak tanımlanır. Balistik testi, ürünlerin koruma, güvenlik ve performans kriterlerini karşılayıp karşılamadığını belirlemek için test edildiği standartlara dayalı bir süreçtir.

Çoğu balistik testi, ticari araştırma ve geliştirme programlarının yanı sıra kolluk kuvvetleri ve askeri uygulamalara yardımcı olur.

Charpy V-çentik testi olarak da adlandırılan Charpy darbe testi, kırılma sırasında bir malzeme tarafından emilen enerji miktarını belirleyen standartlaştırılmış yüksek gerinim hızı testidir.

Absorbe edilen enerji, malzemenin çentik tokluğunun bir ölçüsüdür. Hazırlanmasının basit olması, davranış ve sonuçların hızlı ve ucuza alınabilmesi nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konuda dezavantaj, birkaç sonucun yalnızca karşılaştırmalı olmasıdır.

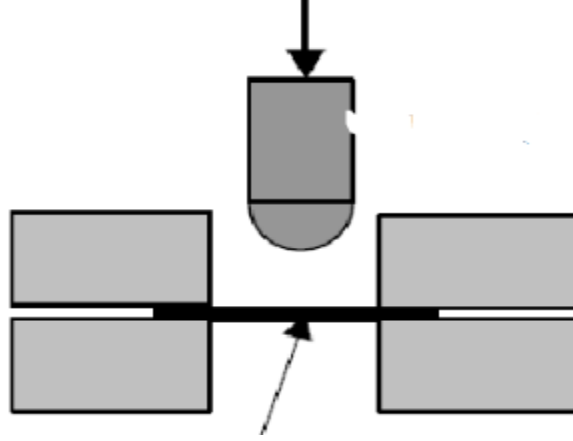
Test, II. Dünya Savaşı'nın bir aşamasında gemilerin kırılma sorunlarına ilişkin teknik bilgi açısından çok önemli hale gelmiştir.

Ekipman, çentikli bir malzeme numunesi oluşturmak için kabul edilen bir yükseklikten düşürülen, kabul edilmiş kütle ve uzunlukta bir sarkaç içerir.

Malzemeye aktarılan enerji, kırılmadan önce ve sonra çekiç yüksekliği içindeki fark değerlendirilerek çıkarılabilir (kırılma olayı tarafından emilen enerji).

Numunedeki çentik, darbe testinin sonuçlarını etkiler, sonuç olarak çentiğin normal boyutlarda ve geometrik özellikte olması gerekir.

Numunenin boyutu da sonuçlar üzerinde bir etkiye sahip olabilir, çünkü boyutlar malzemenin düzlem gerinim içinde olup olmadığını belirler. Bu fark, varılan sonuçlara büyük ölçüde etki edebilir.



Şekil 3.3: Darbe testi numunesi.

3.4 Çarpışma Testi

- **F(t)**; çarpışmada 3 tür kuvvet yaratır:
 - Temas kuvveti (sınırdaki)
 - Alan kuvveti (Hacim üzerinde)
 - Atalet kuvveti (ivme nedeniyle) bu kuvvetler F(t) olarak temsil edilecektir.

$$M\ddot{u} + K_u = F(t) \quad (1)$$

- M = Kütle Matrisleri
- K= sertlik Matrisleri
- u = yer değiştirme
- u''=hızlanma

- **Demiryolu çarpışmalarında enerji dönüşümü**

Ön ray ve sert duvar arasındaki çarpışma, esas olarak, gerçek çarpma meydana geldiğinde potansiyel enerjiye aktarılan kinetik enerjiye sahiptir. Bu potansiyel enerji, harcanan enerjiyi temsil eder. Bu, Lagrange ilkesi tarafından yönlendirilir.

- E =kinetik enerji
- U= potansiyel enerji
- W= sistem üzerinde yapılan harici iş

$$\Delta(E + U) = W^{ex} \quad (2a)$$

$$(E_{post} + U_{post}) - (E_{pre} + U_{pre}) = W^{ex} \quad (2b)$$

Dahili işin toplam enerjiye katkısı yoktur. Kinetik enerjiyi potansiyel deformasyona dönüştürür. Bu dönüşüm aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir:

- Win= iç kuvvetlerden kaynaklanan yapısal deformasyon nedeniyle iç iş
- post = çarpışmadan sonra
- Ön= çarpışmadan önce

$$\Delta U = U_{post} - U_{pre} = W^{in} \quad (3)$$

Denklem (3), (2a) denkleminde yerine koyulduğunda:

$$W^{ex} = \Delta E + \Delta U = \Delta E + W^{in} \quad (4)$$

Dış kuvvetlerin yaptığı iş önemsiz olduğundan dolayı ihmal edilebilir. Bu nedenle, denklem (2b) böylece basitleştirilebilir:

$$E_{pre} = E_{post} + U_{post} \quad (5)$$

$U_{pre} =$ sıfır olduğundan (deformasyon yok). Bu nedenle denklem 3'ten:

- B= setler ve kirişler
- S= kabuklar

$$U_{post} = W^{in} = W_B^{in} + W_S^{in} \quad (6)$$

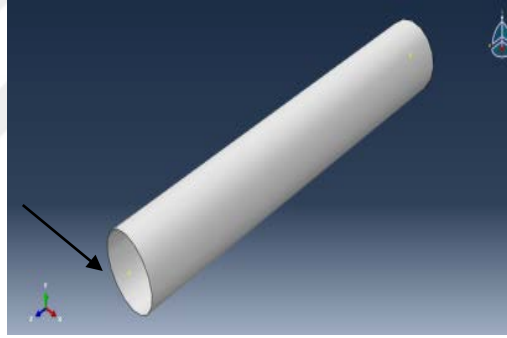
Bu nedenle, bireysel üyeler, denklem (6) şu hale gelir:

- I=kirişteki tek bileşen
- J= kabuktaki tek bileşen
- X = kilitlenen bireysel kompozisyonun uzunluğu.

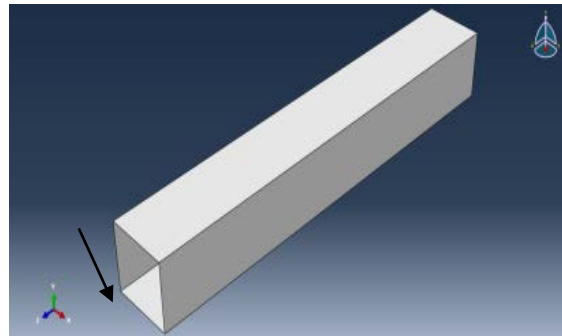
$$U_{post} = \sum_i W_{Bi}^{in} + \sum_j W_{Sj}^{in} = \sum_i \int_0^{X_i} F_{Bi} dx + \sum_j \int_0^{X_j} F_{Sj} dx \quad (7)$$

Sonlu eleman modelleme (FEM) ve ağ (Mesh) oluşturmanın açıklaması şöyledir:

- Model kurulumu; çalışma, araç yapısı ile çökme stabilitesi arasında ilişki kurmayı amaçlamıştır. Rijit bir duvar ile tek bir frontal ray çarpması durumu modellenmiştir. 10000 mm/s yarı hız için (iki nesne arasındaki boşluk sadece 5 mm olduğundan).
- Modelleme çalışmalarında açık sonlu elemanlar (FE) kodu ABAQUS CAE kullanılmıştır. 0,05 s zaman periyodu ve kütle ölçekleme için 5×10^{-7}
- Lata analitik olarak rijit olduğunda ön ray deforme olabilir.
- Liner elemanlar azaltılmış entegrasyon ile kullanılır.
- Şekillerde kullanılan ağ mesh aşağıdaki kriterlere sahiptir.
- Şekiller'de okla gösterilen kenarların (sabit düğümler) sabit sınır koşulları olarak kullanılacağı yerler,
- Belytschko–Tsay formülü kullanıldı (kabuk) yapısı.



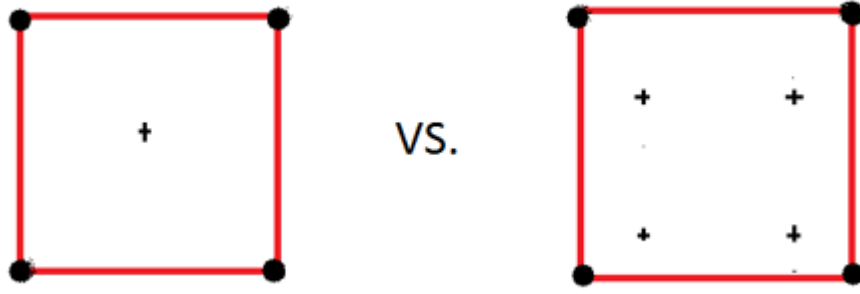
Şekil 3.4: Dairesel kesit ş



Şekil 3.5: Kare kesit şasi (ön rayı)

Tanımlar:

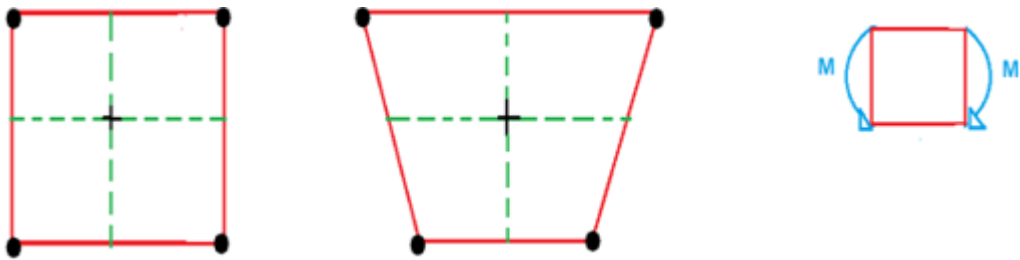
- **Tam entegrasyon:** Bu tür entegrasyon, düzenli şekiller için katılık matrisindeki tüm polinom terimlerini tam olarak entegre etmek için gerekli olan yeterli miktarda Gauss noktası kullanır.
- **Azaltılmış entegrasyon:** Bu tür entegrasyon, tam entegrasyondan daha az Gauss noktası kullanır. Örneğin, astar elemanları, elemanın ortasında bulunan yalnızca bir Gauss noktası kullanırken tam entegrasyon 4 Gauss noktası kullanır.



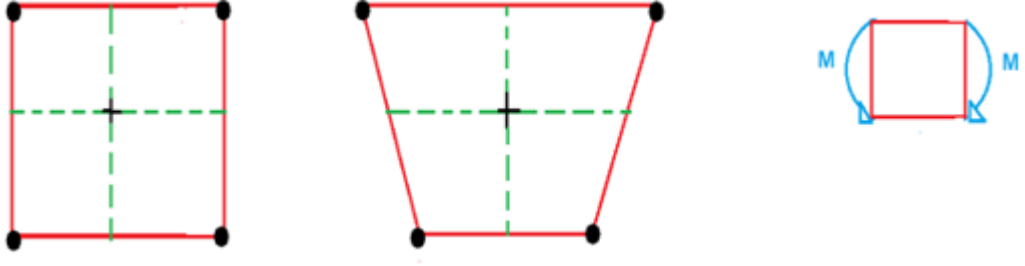
Şekil 3.4: Azaltılmış entegrasyonu vs Tam entegrasyonu.

Azaltılmış entegrasyon ile eğilme momentinin deformasyonu:

- Benzer yaklaşımda çizgi uzunlukları aynı kalır.
- Başlangıç açıları 90 derece değişmeden kalır
- Bu tür bir entegrasyonun sıfır enerji modunu temsil ettiği sonucuna varabiliriz, çünkü boyut değişimi (gerilme enerjisi yok) içermemektedir.



Şekil 3.5: Azaltılmış entegrasyonun örneği.



Şekil 3.6: Tam entegrasyonun örneği



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde malzeme geçmiş çalışmalara göre inşa edilmiştir. hibrit kompozit malzeme yapmak ve bu bölümde bu malzemenin davranışını birçok test ve koşul altında inceledik.

4.1 Materyal

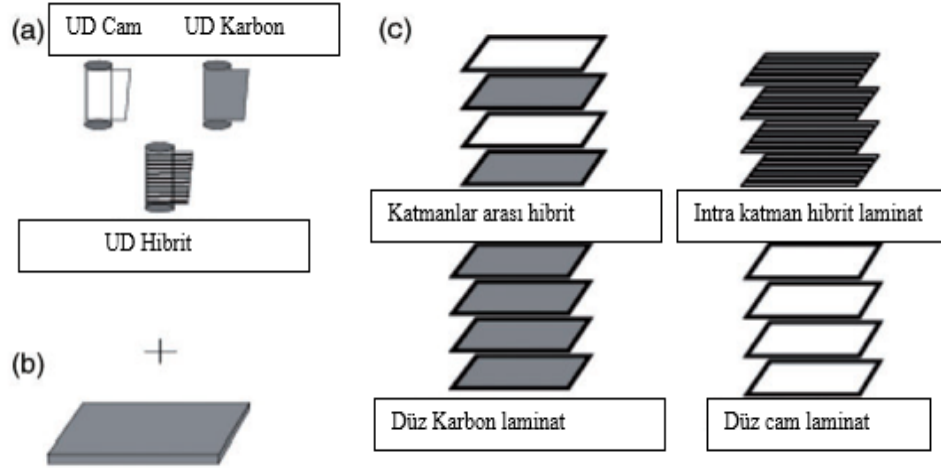
Md. Hasan İkbâl'nın (2016) yaptığı deneysel çalışmadan alınan ve ANSYS Material Designer modülü kullanılarak sayısal modeli oluşturulan hibrit kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlere ait mekanik özellikler aşağıdaki Tablo 4.1' de gösterilmiştir [5].

Çizelge 4.1: Hibrit Kompozit üretmek için seçilen malzemelerin özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modül (GPa)	Kopma Uzama Oranı (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Carbon (TORAY) T620SC-24K-50C	4400	235.0	1.7	1.77
E-cam (CPIC) ECT469L-2400	1838	73.1	4.51	2.54
Epoksi Reçine	75.0	3.10	5.26	1.13

4.1.1 Malzemenin modellenmesi

Sayısal modelde kullanılan malzemeler tek yönlü karbon ve cam fiberlerin aşağıdaki Şekil 4.1' de gösterildiği gibi bir epoksi matris içerisinde dağıtıldığı "intra" tipi hibrit kompozitlerdir.

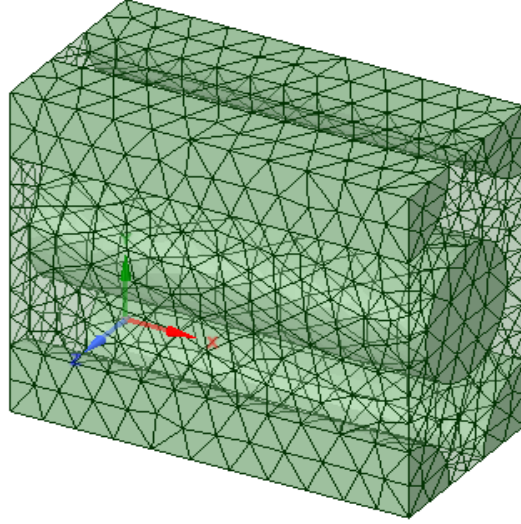


Şekil 4.1 : (a) Tek yönlü fiberler (b) epoksi, (c) istifleme düzeni [5]

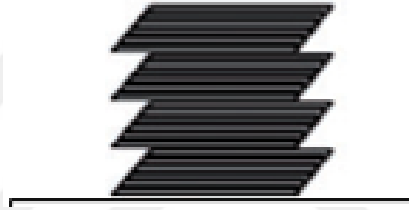
Hibrit kompozitlerin oluşturulmasında ANSYS malzeme kütüphanesinden karbon fiber, cam fiber ve epoksi malzemeleri seçilmiştir Şekil 4.2' de. İnter hibrit kompozit modelinin oluşturulabilmesi için öncelikle Material Designer modülünde, hacim oranı %50, fiber çapı ise $0.5 \mu\text{m}$ olacak şekilde karbon ve cam fiberler bir araya getirilmiştir. Sonrasında, aynı modül kullanılarak fiber karışımı epoksi ile birleştirilmiş ve nihai kompozit malzeme modeli oluşturulmuştur Şekil 4.3' de. Buradan KC-intra hibrit kompozit malzemenin mekanik özellikleri elde edilmiştir. TABLO 4.2' de. Elde edilen bu parametreler çekme ve basma testleri için ANSYS, çarpma testleri için ise ABAQUS programında kullanılmıştır. Oluşturulan hibrit kompozitlerin boyutları Şekil 4.2' de gösterilmiştir.

	A	B
1	Contents of Engineering Data	
2	Material	
3	Carbon Fiber (230 GPa)	
4	E-Glass	
5	Resin Epoxy	
*	Click here to add a new material	

Şekil 4.2: ANSYS malzeme kütüphanesi



Şekil 4.3: Nihai kompozit malzeme



Şekil 4.4: KC Intra Hibrit

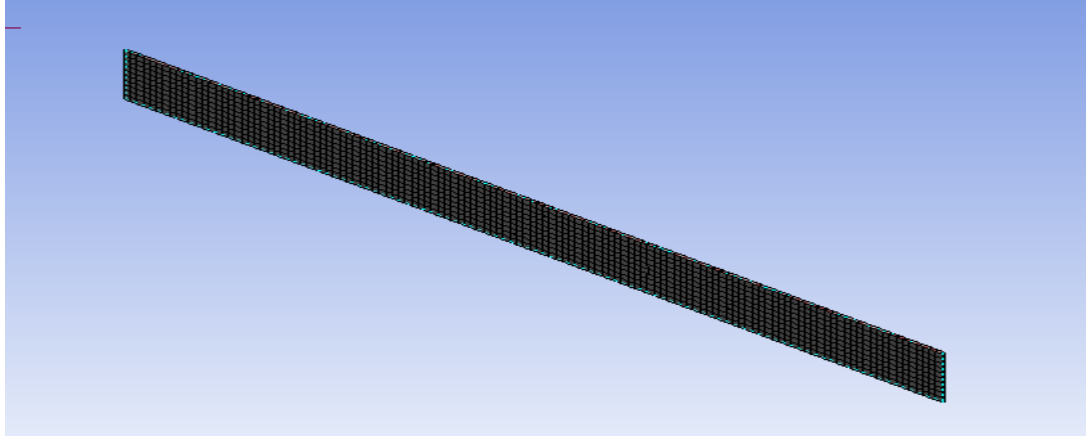
Çizelge 4.2: KC intra Malzeme özellikleri.

Yoğunluk (kg/m-3)	E1 (Mpa)	E2 (Mpa)	E3 (Mpa)	Nu12	Nu13	Nu23	G12 (Mpa)	G13 (Mpa)	G23 (Mpa)
1697.7	71340.1	7155.4	7155.4	0.27937	0.46396	0.27937	2620.3	2443.1	2620.3

4.2 Sayısal Çekme ve Basma Testleri

4.2.1 Sayısal çözüm yöntemi

Hibrit kompozit malzemenin sayısal modeli oluşturulduktan sonra, ANSYS Static Structural modülü kullanılarak bir önceki aşamada oluşturulmuş olan geometrik modelin sonlu elemanlara ayrılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan çözüm ağı Şekil 4.5' da gösterilmiş olup, 1250 adet eleman içermektedir.



Şekil 4.5: Çözüm ağı

Çözüm ağı oluşturulduktan sonra sınır şartları belirlenmiştir.

4.2.2 Sayısal modelin doğrulanması

Bu çalışmada kullanılan sayısal yöntemin doğrulanması için Md. Hasan İkbâl'nin yaptığı deneysel çalışmadaki çekme ve basma testlerinin sonuçları kullanılmıştır. Sayısal çözümlerde hem çekme hem de basma testleri için üç farklı değerde kuvvet uygulanmış ve uzama değerleri hesaplanmıştır. Sayısal çözüm ile önceki deneysel çalışmadan elde edilmiş olan gerilme ve gerinim değerleri Tablo 4.3 ve Tablo 4.4' de sunulmuştur.

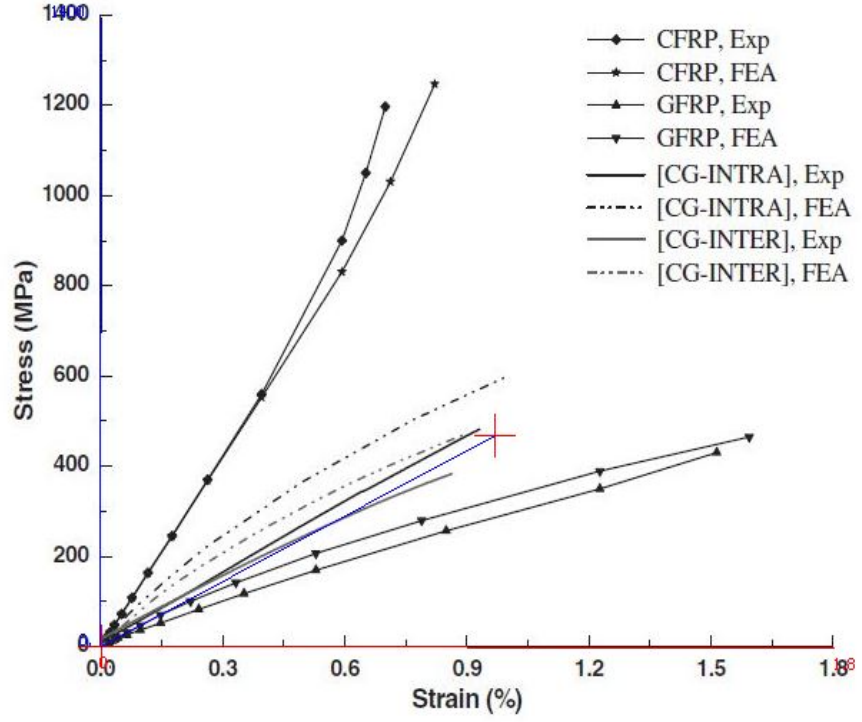
FEM sonuçlarının araştırmanın sonuçlarına çok yakın olduğu tespit edildi. Bu FEM'in testler için aynı analiz kriterlerine sahip olduğunu göstermektedir; uygulanan yükler ve koşullar aynıysa bu doğrudur.

Çizelge 4.3: Sayısal ve deneysel çekme testlerine ait gerilme ve gerinim değerleri

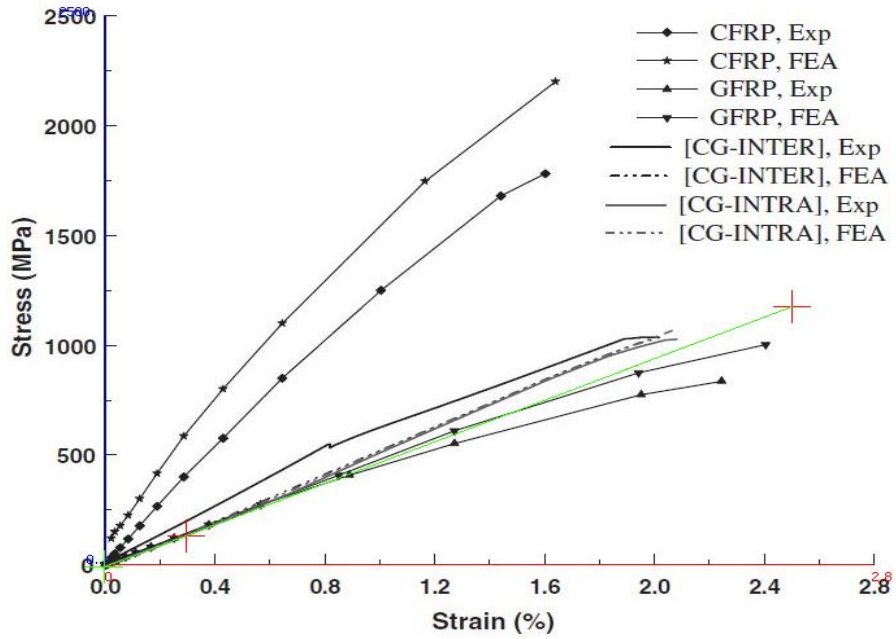
Çözüm	Gerilme [MPa]	Gerinim (Sayısal) [%]	Gerinim (Deneysel) [%] [5]	Hata [%]
Ç1	250	0.358	0.462	22%
Ç2	500	0.811	1.0012	18%
Ç3	750	1.312	1.542	14%

Çizelge 4.4: Sayısal ve deneysel basma testlerine ait gerilme ve gerinim değerleri

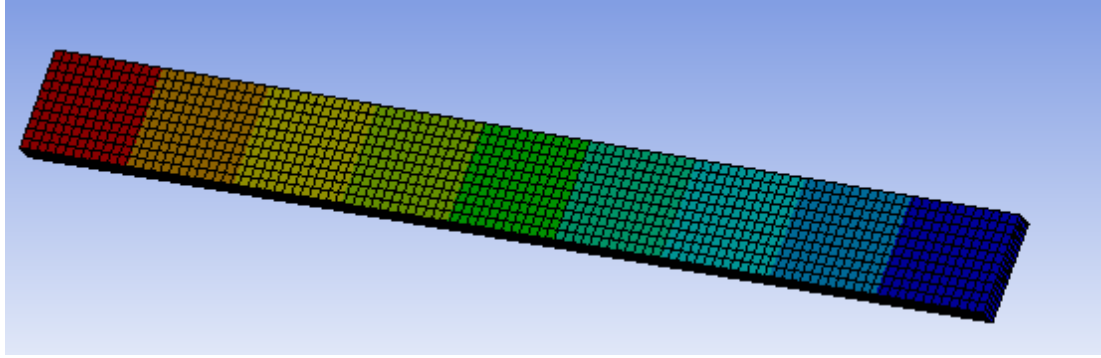
Çözüm	Gerilme [MPa]	Gerinim (Sayısal) [%]	Gerinim (Deneysel) [%] [5]	Hata [%]
B1	100	0.161	0.188	14%
B2	200	0.381	0.412	7%
B3	300	0.556	0.621	10%



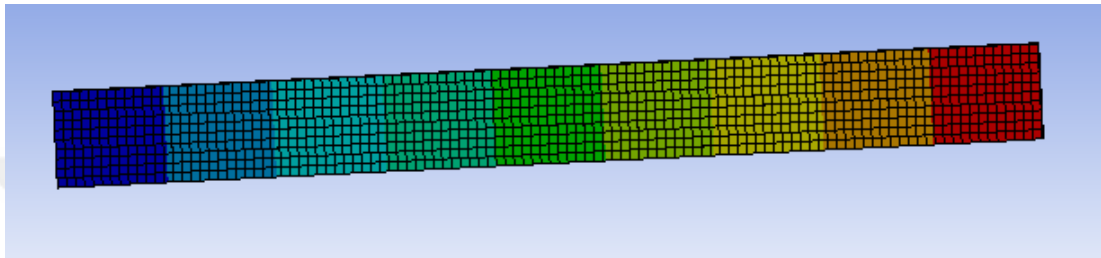
Şekil 4.6: Basma testi karşılaştırması.



Şekil 4.7: Çekme testi karşılaştırması.



Şekil 4.8: Basma yer değiştirmesi.



Şekil 4.9: Çekme yer değiştirmesi.

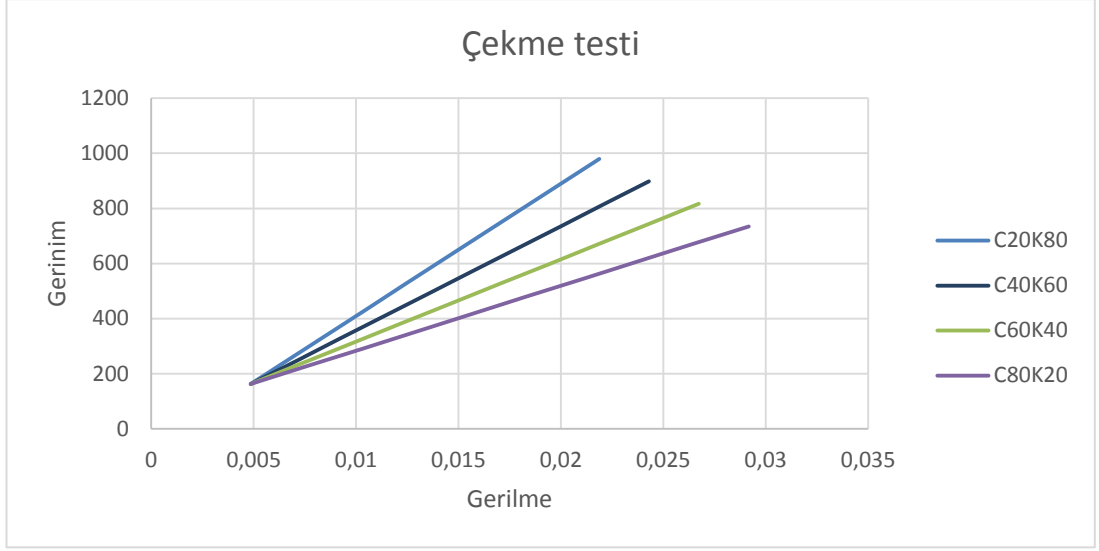
4.2.3 Farklı hacim oranları için çekme ve basma özelliklerinin belirlenmesi

Tablo 4.5' da gösterildiği gibi cam elyaf ve karbon elyafın hacim fraksiyonunu değiştirirken aynı malzeme hakkında bazı durumları inceledik.

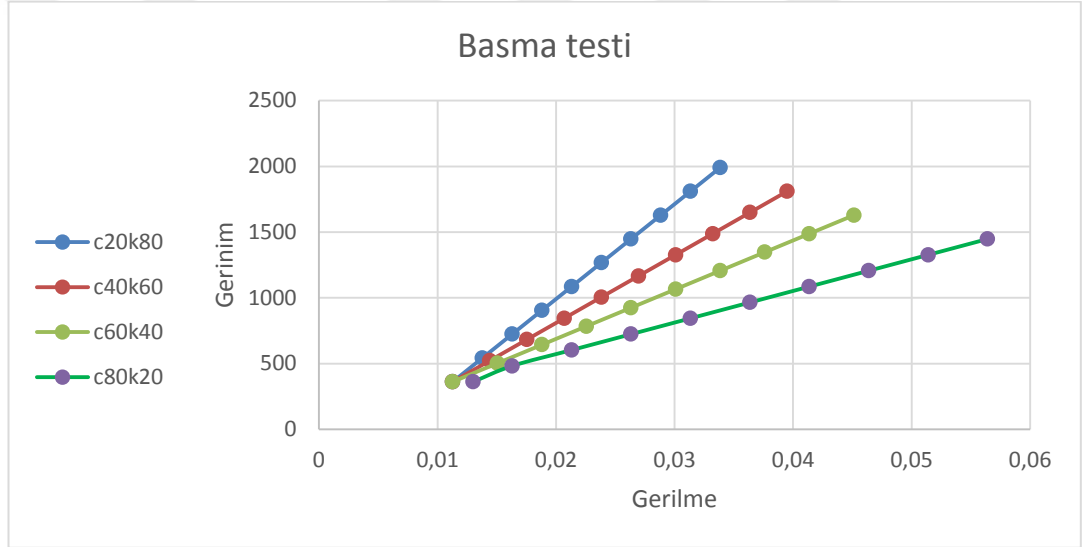
Çizelge 4.5: Hacim oranı değerleri

Karbon	Cam
20	80
40	60
60	40
80	20

Cam elyaf ve karbon elyafın hacim oranı değiştirilirken gerilme - gerinim grafiği çizilmiş ve malzemenin çekme ve basma yükleri altındaki davranışı Şekil 4.10' da ve Şekil 4.11' da gösterilmiştir .



Şekil 4.10: Çekme testin Gerinim-Gerilme



Şekil 4 11: Basma testin Gerinim-Gerilme

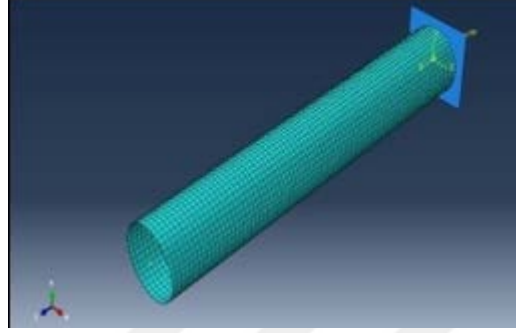
4.3 Sayısal Çarpışma Testleri

Sayısal çarpışma testlerinde hem alüminyum hem KC-intra kompozit malzemeden yapılmış dairesel ve kare kesitli profiller kullanılmıştır. Sonuç olarak malzeme özelliklerinin ve kesit özelliklerinin darbe enerjisinin sönmelenmesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

4.3.1 Sayısal çözüm yöntemi

Bu çalışmada sayısal çarpışma testlerinin tamamı ABAQUS çözücüsü kullanılarak yapılmıştır. Bu testlerde ilk olarak A2014-T6 alüminyum alaşım

kullanılmış olup özellikleri Tablo 4.6' da verilmiştir. Sayısal çarpışma testlerinde kullanılan bir diğer malzeme olan KC-İntra kompozit malzemenin mekanik özellikleri ise Tablo 4.2' da verilmiştir. Sayısal çözümlerde kullanılan geometrik model ve oluşturulan çözüm ağı ŞEKİL 4.10' da gösterilmiştir. Oluşturulan çözüm ağı 1844 adet eleman içermektedir.



Şekil 4.12: Çözüm ağı.

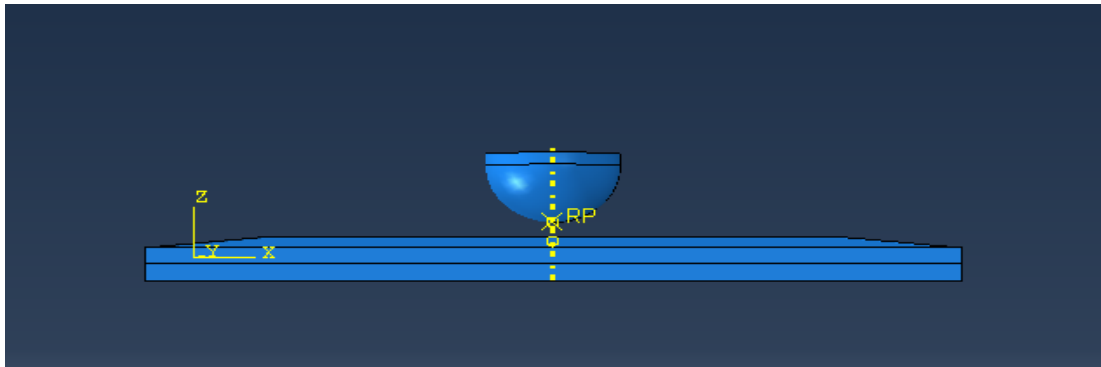
Çözüm ağı oluşturulduktan sonra sınır şartları belirlenmiştir.

Çizelge 4.6: Alüminyum alaşım özellikleri

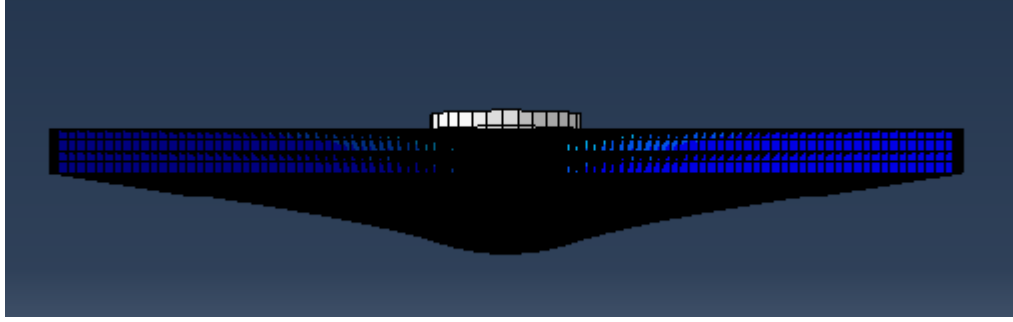
Yoğunluk	E	Poisson oranı	Johnson Cook sertleşmesi		
2.8e-9	73 GPa	0.33	a=400Mpa	b=600Mpa	n=0.13

4.3.2 Sayısal modelin doğrulanması

Bu çalışmada kullanılan sayısal yöntemin doğrulanması için Farzad Pashmforoush'nın yaptığı deneysel çalışmadaki darbe testin sonuçları kullanılmıştır.



Şekil 4.13: Darbe testin numunesi.

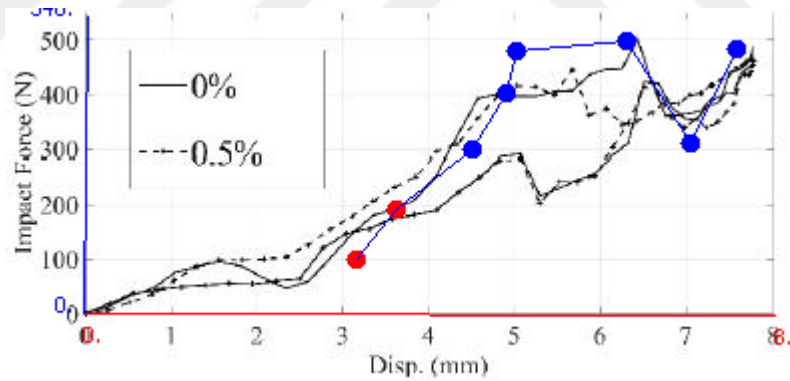


Şekil 4.14: Darbe testin yer değiştirmesi.

Sayısal çözümlerde darbe testi için dönme hızı uygulanmış ve uzama değerleri hesaplanmıştır. Sayısal çözümlerle önceki deneysel çalışmadan elde edilmiş olan darbe kuvveti ve gerinim değerleri Tablo 4.7' ve şekil 4.15' de sunulmuştur[8].

Çizelge 4.7: Sayısal ve deneysel darbe testlerine ait darbe kuvveti ve yer değiştirme değerleri

Çözüm	Kuvvet [MPa]	Yer Değiştirme (Sayısal) [%]	Yer Değiştirme (Deneysel) [%] [8]	Hata [%]
Ç1	200	3.6	3.58	0.5 %
Ç2	300	4.51	4.26	5%
Ç3	400	4.88	4.87	0.2 %



Şekil 4.15: Sayısal ve deneysel Modelin karşılaştırması

FEM sonuçlarının araştırmanın sonuçlarına çok yakın olduğu tespit edildi. Bu FEM'in testler için aynı analiz kriterlerine sahip olduğunu göstermektedir; uygulanan yükler ve koşullar aynıysa bu doğrudur.

5. TARTIŞMA

Bu bölümde, alüminyum ve kompozit malzemelerin her biri için sonuçlar tartışılacak ve karşılaştırılacak ve tasarımın enine kesitinin değiştirilmesi ve bunun malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi.

Sonuçlar, şekil değişikliği, ivmedeki değişiklik ve çarpışma sırasında emilen enerji miktarı gibi çarpışmadan sonra numunede meydana gelen değişiklikler olacaktır.

5.1 Çarpışma Deneyi

Çarpışmadan sonra numune, şekil değişikliği gibi birçok değişikliğe olur ve katlama olayına oluşmasıdır.

Kinetik enerjideki ve potansiyel enerjideki değişim ve operasyondaki emilen enerji gibi diğer değişiklikler, tüm bu değişiklikler bu bölümde tartışılacaktır.

5.1.1 Alüminyum alaşım

Çizelge 5.1: Dairesel Kesit.

Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirmesi	Hız
0	0	0	0	10000
0.0010006	60608.7	73.0151	10.0036	9987.25
0.0020001	373584	453.818	19.911	9784.93
0.0030004	583779	31.5639	29.4512	9254.69
0.0040007	144349	3070.72	38.5983	9070.76
0.0050001	359564	2035.96	47.566	8832.91
0.0060005	209847	1170.91	56.2524	8568.15
0.0070003	180735	498.12	64.7253	8382.51
0.0080007	176487	309.612	73.0212	8204.78
0.0090002	210215	216.93	81.1301	8013.04
0.0100004	143180	1440.02	89.0381	7805.62
0.0110003	167502	2475.07	96.765	7654.48
0.0120003	209848	372.346	104.33	7467.37

* Bu başlıktaki tablo ve şekillerdeki tüm sonuçlar saniye, milimetre ve türevleri cinsindedir.

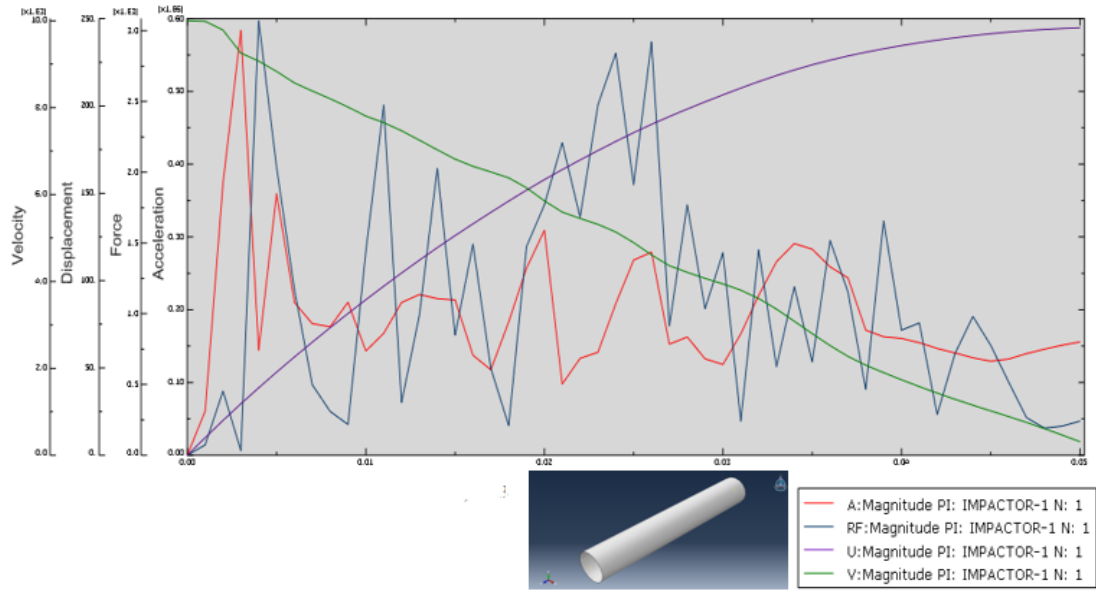
Çizelge 5.2: Kare Kesit.

Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirmesi	Hız
0	0	0	0	10000
0.0010004	54530.6	1035	10.0021	9988.73
0.0020003	339176	5867.13	19.9221	9805.6
0.0030002	148833	4901.51	29.5885	9591.99
0.0040004	144726	5207.77	39.1052	9437.59
0.0050004	129993	5332.43	48.4742	9306.15
0.0060001	196624	1807.96	57.7006	9142.29
0.0070004	208306	969.097	66.7448	8936.09
0.0080004	226857	3629.16	75.5706	8712.02
0.0090004	216940	1183.21	84.1703	8495.44
0.0100001	177298	466.479	92.5595	8293.98
0.0110003	185652	5039.46	100.768	8119.23
0.0120001	182823	5302.32	108.789	7929.92

* Bu başlıktaki tablo ve Şekillerdeki tüm sonuçlar saniye, milimetre ve türevleri cinsindedir.

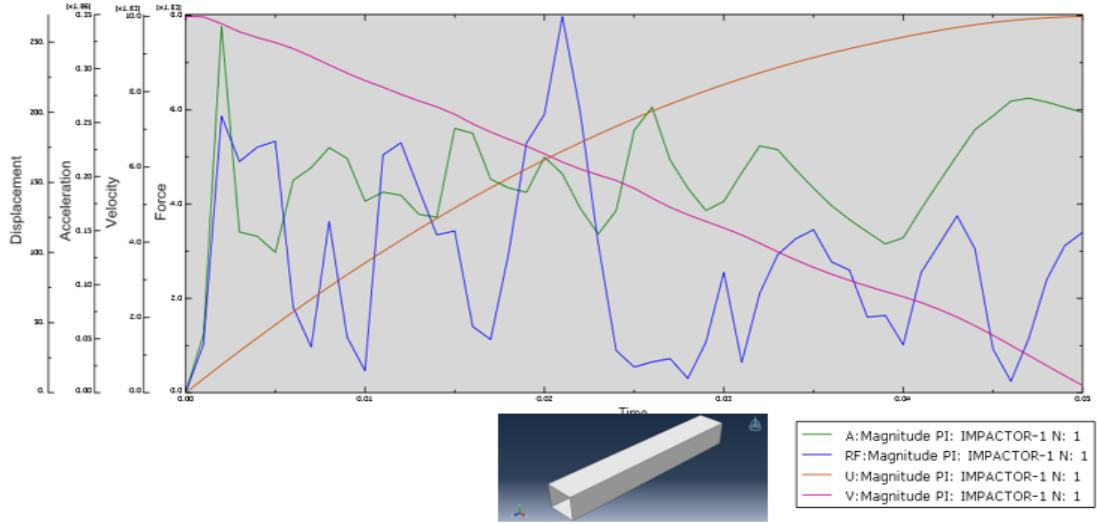
- Performans-Zaman Şekilleri

Şekil 5.1' ve 5.2' de AL'un iki kesit için zamana göre ivme ve hız ile kuvvet ve yer değiştirmenin değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Dairesel kesit(A: İvme, RF :Kuvvet , U yer değiştirme,V Hız).

- Kombine parametreler-Zaman



Şekil 5.2: AL Kare kesit, (A: İvme, RF :Kuvvet , Uyer değiştirme, V hız)

Her parametre davranışı daha sonra karşılaştırma tablolarında tartışılacaktır.

5.1.2 Hibrit kompozit

Çizelge 5.3: Dairesel kesit.

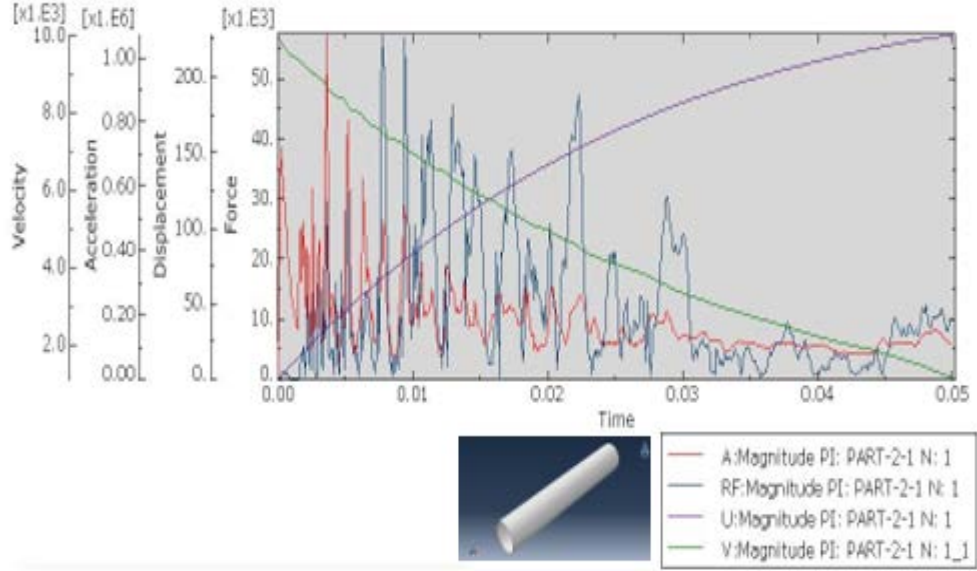
Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirmesi	Hız
0	0	0	0	10000
0.0001017	474329	103.431	1.01254	9920.17
0.0002064	721984	50.8451	2.04716	9842.22
0.0003051	644655	922.081	3.01559	9782.18
0.0004029	618240	1436.9	3.96905	9717.82
0.0005007	527829	771.924	4.9165	9660.96
0.0006055	456573	694.674	5.92623	9610.44
0.0007063	397091	904.158	6.8933	9567.17
0.000804	360596	325.397	7.82633	9529.89
0.0009011	307555	97.6306	8.7494	9497.85
0.0010055	257975	34.3476	9.73996	9468.32
0.0011035	229623	55.9448	10.666	9444.6
0.0012014	215849	32.6136	11.5899	9422.78

Çizelge 5.4: Kare kesit tablosu.

Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirmesi	Hız
0	0	0	0	10000
0.0010175	500.368	8030.97	5.08716	9988.73
0.0020081	431.089	2277.98	10.0395	9805.6
0.0030121	295.377	7590.76	15.0581	9591.99
0.0040129	198.759	5050.01	20.0607	9437.59
0.0050065	186.157	7790.05	25.0271	9306.15
0.0060081	253.503	10743.3	30.0333	9142.29
0.0070008	295.284	10729.2	34.9945	8936.09
0.0080005	273.37	19433.8	39.9905	8712.02
0.0090017	293.103	13579.4	44.9938	8495.44
0.0100023	259.815	6754.87	49.9936	8293.98
0.0110051	291.508	17321.4	55.0045	8119.23
0.0120057	249.884	22385.3	60.0035	7929.92

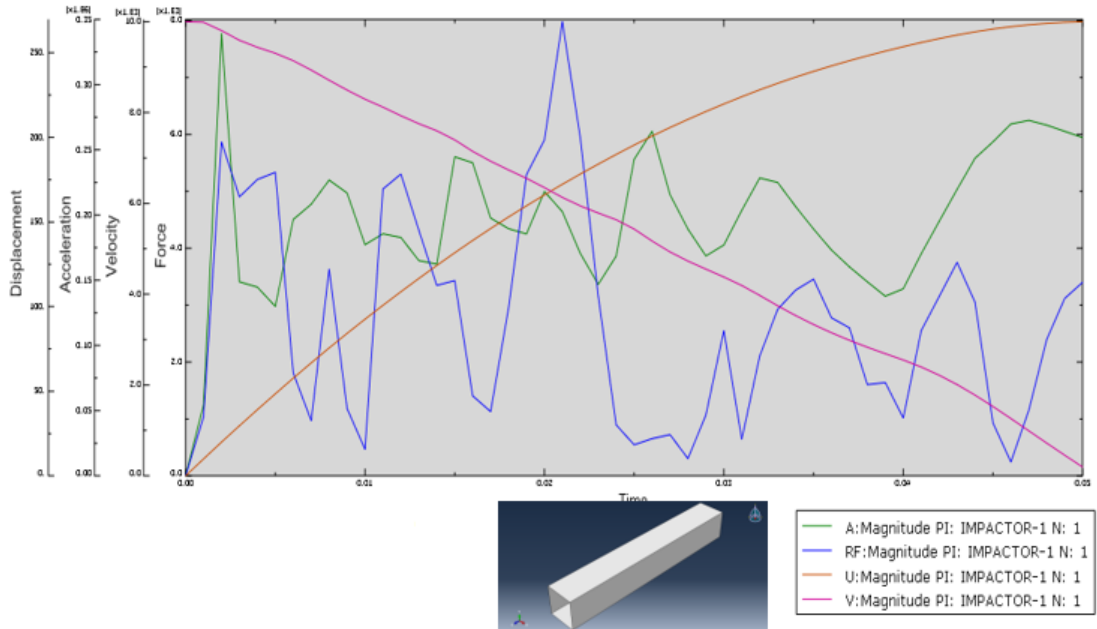
- Performans -Zaman rakamları

Şekil 5.3' ve 5.4' de KC'nin iki kesit için zamana göre ivme ve hız ile kuvvet ve yer değiştirmenin değişimleri gösterilmiştir .



Şekil 5.3: AL Dairesel kesit(A: İvme, RF :Kuvvet , U yer değiştirme,V Hız).

- Kombine parametreler-Zaman



Şekil 5.4: AL Kare kesit, (A: İvme, RF :Kuvvet , U yer değiştirme,V Hız).

Her parametre davranışı daha sonra karşılaştırma tablolarında tartışılacaktır.

5.1.3 Hibrit kompozit

Çizelge 5.5: Dairesel kesit.

Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirmesi	Hız
0	0	0	0	10000
0.0001017	474329	103.431	1.01254	9920.17
0.0002064	721984	50.8451	2.04716	9842.22
0.0003051	644655	922.081	3.01559	9782.18
0.0004029	618240	1436.9	3.96905	9717.82
0.0005007	527829	771.924	4.9165	9660.96
0.0006055	456573	694.674	5.92623	9610.44
0.0007063	397091	904.158	6.8933	9567.17
0.000804	360596	325.397	7.82633	9529.89
0.0009011	307555	97.6306	8.7494	9497.85
0.0010055	257975	34.3476	9.73996	9468.32
0.0011035	229623	55.9448	10.666	9444.6
0.0012014	215849	32.6136	11.5899	9422.78

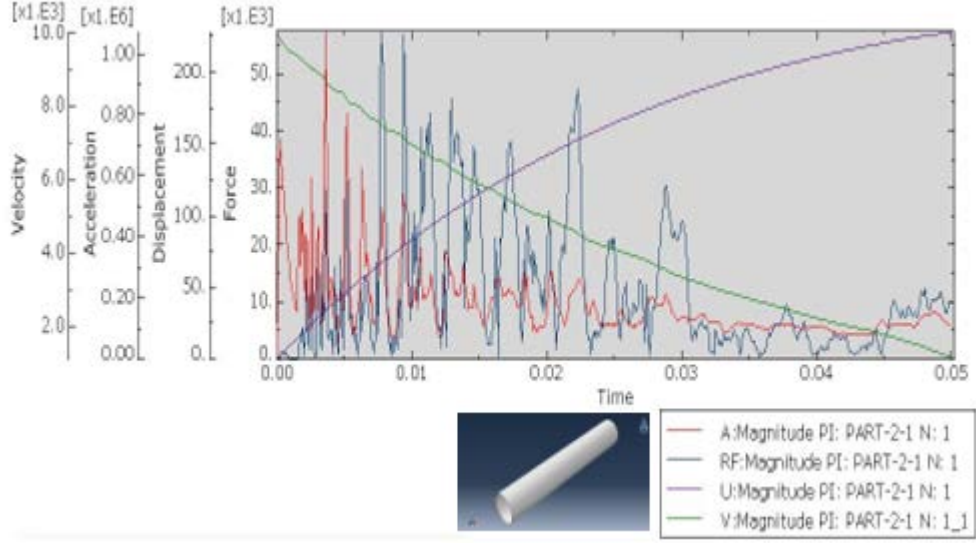
Çizelge 5.6: Kare kesit tablosu.

Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirmesi	Hız
0	0	0	0	10000
0.0010175	500.368	8030.97	5.08716	9988.73
0.0020081	431.089	2277.98	10.0395	9805.6
0.0030121	295.377	7590.76	15.0581	9591.99
0.0040129	198.759	5050.01	20.0607	9437.59
0.0050065	186.157	7790.05	25.0271	9306.15
0.0060081	253.503	10743.3	30.0333	9142.29
0.0070008	295.284	10729.2	34.9945	8936.09
0.0080005	273.37	19433.8	39.9905	8712.02
0.0090017	293.103	13579.4	44.9938	8495.44
0.0100023	259.815	6754.87	49.9936	8293.98
0.0110051	291.508	17321.4	55.0045	8119.23
0.0120057	249.884	22385.3	60.0035	7929.92

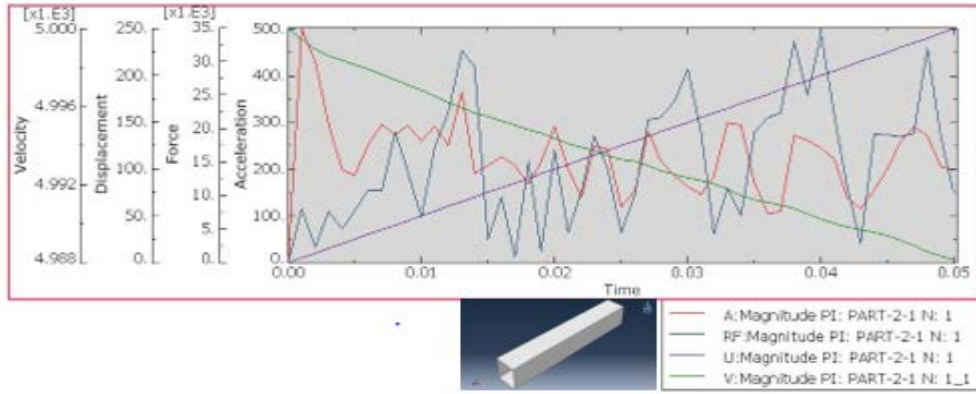
- Performans -Zaman rakamları

Şekil 5.3' ve 5.4' de KC'nin iki kesit için zamana göre ivme ve hız ile kuvvet ve yer değiştirmenin değişimleri gösterilmiştir .

- Kombine parametreler-Zaman



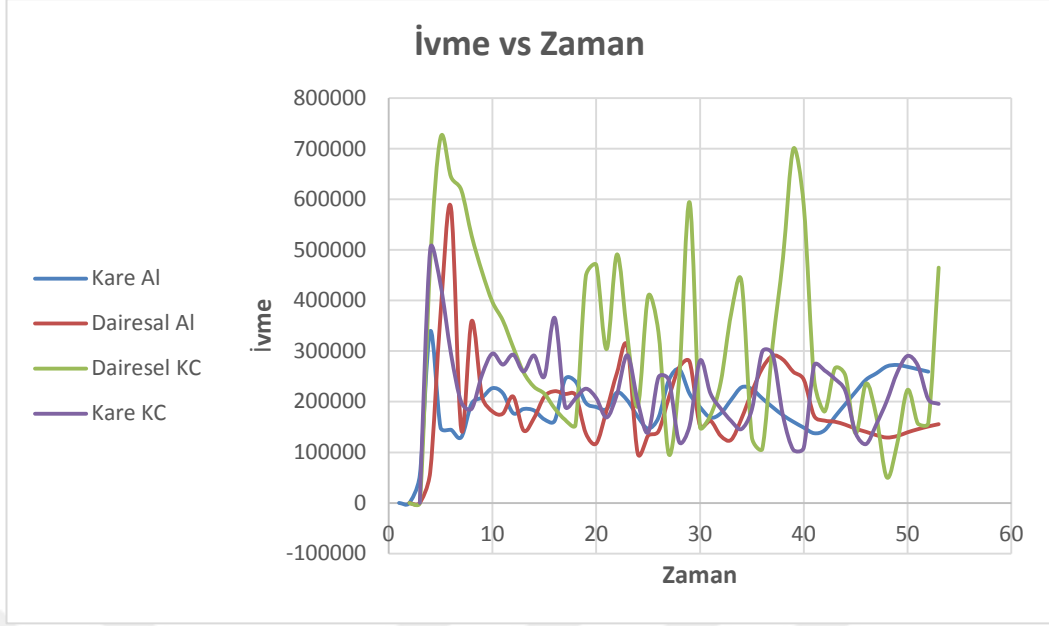
Şekil 5.5: KC Dairesel kesit, (A: İvme, RF :Kuvvet ,U Deplasman ,V Hız)



Şekil 5.6: KC Kare kesit, (A: İvme, RF :Kuvvet ,U Deplasman ,V Hız)

5.1.4 Kombine Parametreleri Karşılaştırması

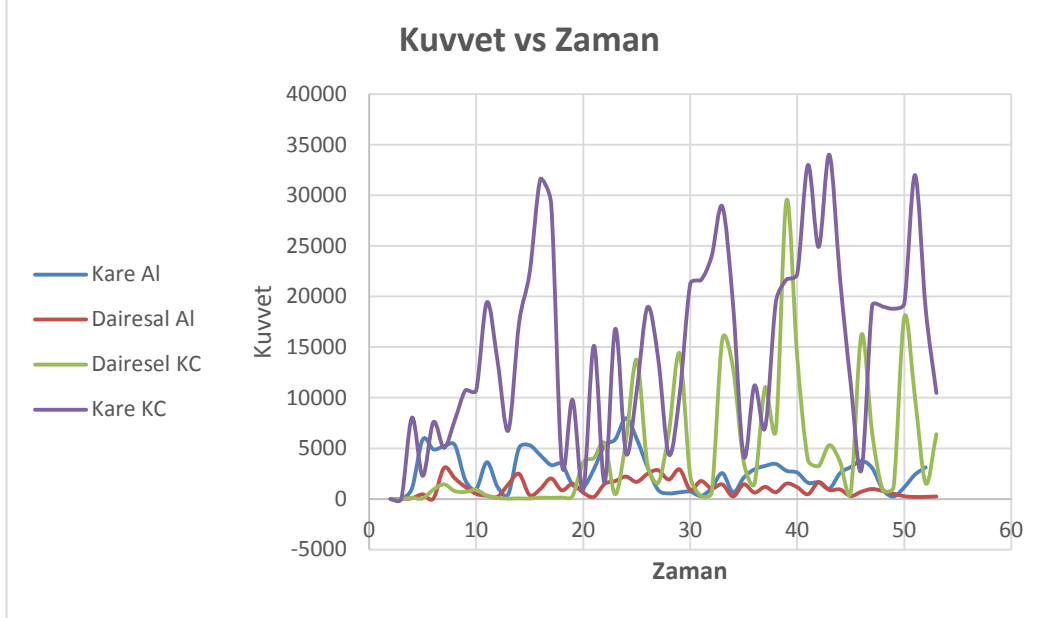
- Performans-Zaman şekilleri



Şekil 5.7: Kombine İvme vs Zaman

İvme -Zaman

Dairesel KC Intra kesiti, şekil 5.5' de gösterilen en yüksek ivmeye sahiptir ve bu, KCintra'nın ön ray için uygun bir seçim olduğuna dair iyi bir işaret verir.

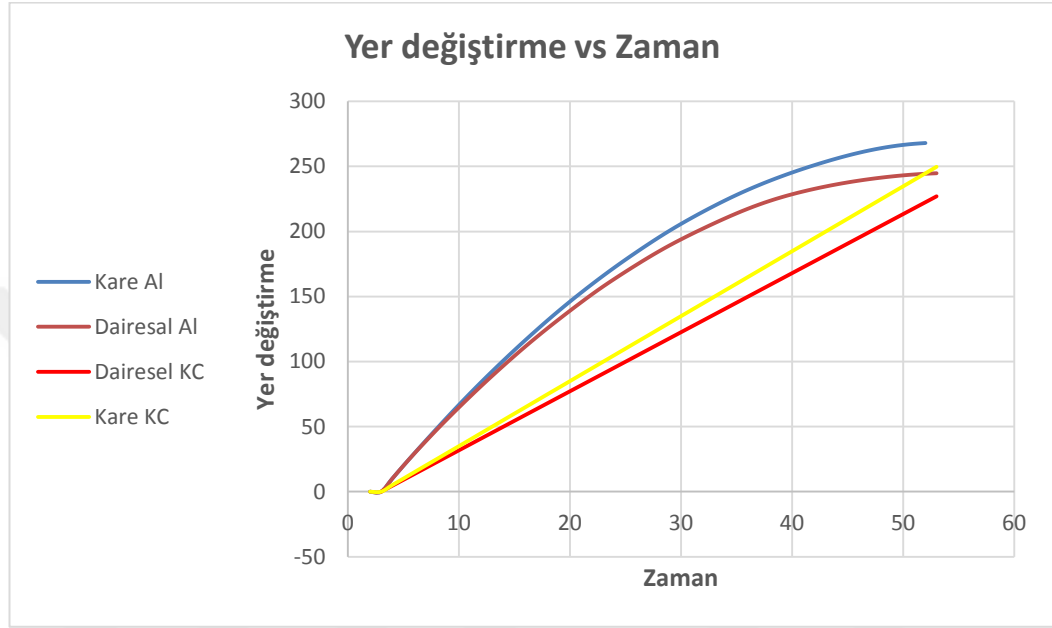


Şekil 5.8: Kombine Kuvvet vs Zaman

vvet -Zaman

kare KC Intra kesiti şekil 5.6' de gösterilen en yüksek kuvvete sahiptir ve bu bize Dairesel KCintra'nın kare kesite göre ön rayda daha kullanışlı olduğu hakkında bir fikir verdi.

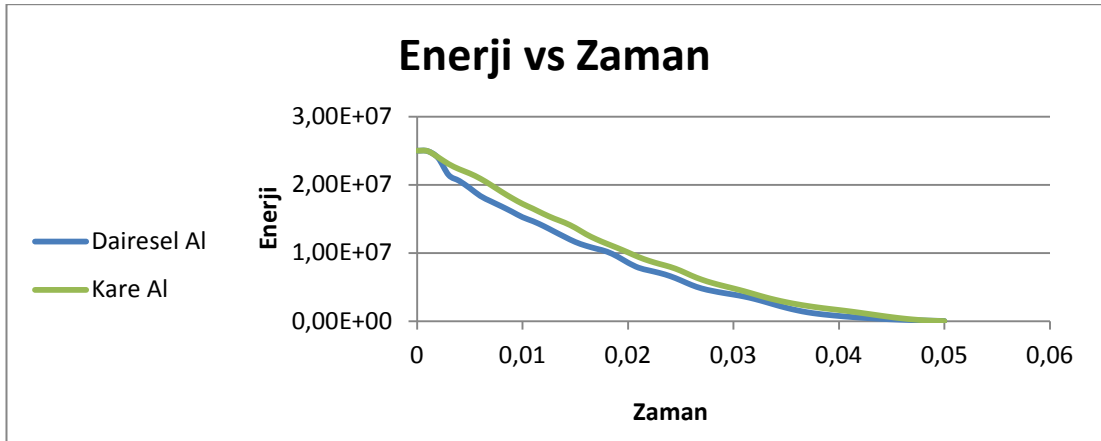
- Yer değiştirme-Zaman



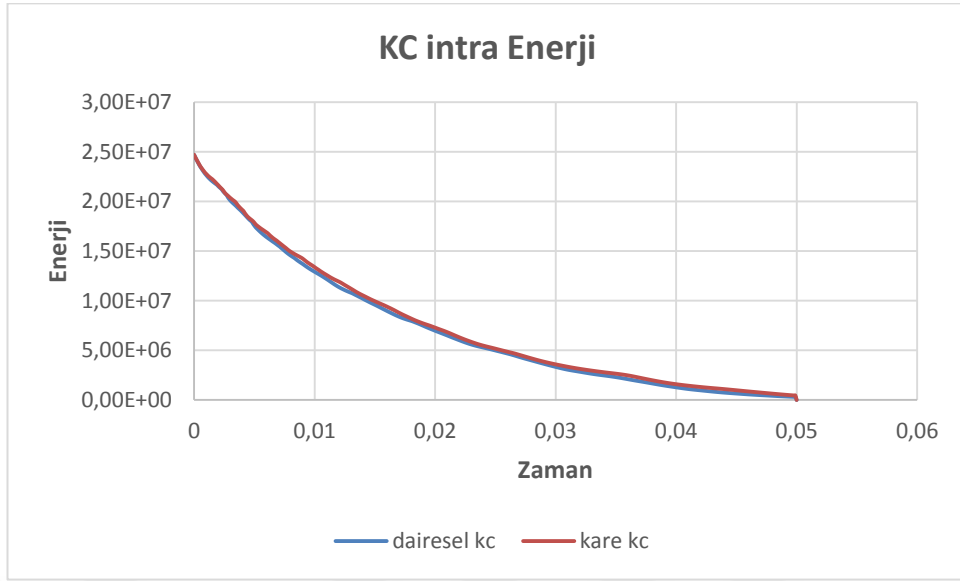
Şekil 5.9: Kombine Yer değiştirme vs Zaman

Dairesel KCIntra kesiti şekil 5.7' de gösterilen en düşük yer değiştirmeye sahiptir ve bu bize Dairesel KC intra'nın darbe enerjisini en küçük deformasyonla emdiği için ön rayda en kullanışlı olduğu konusunda fikir verdi.

- Enerji – Zaman AL Alışım İçin

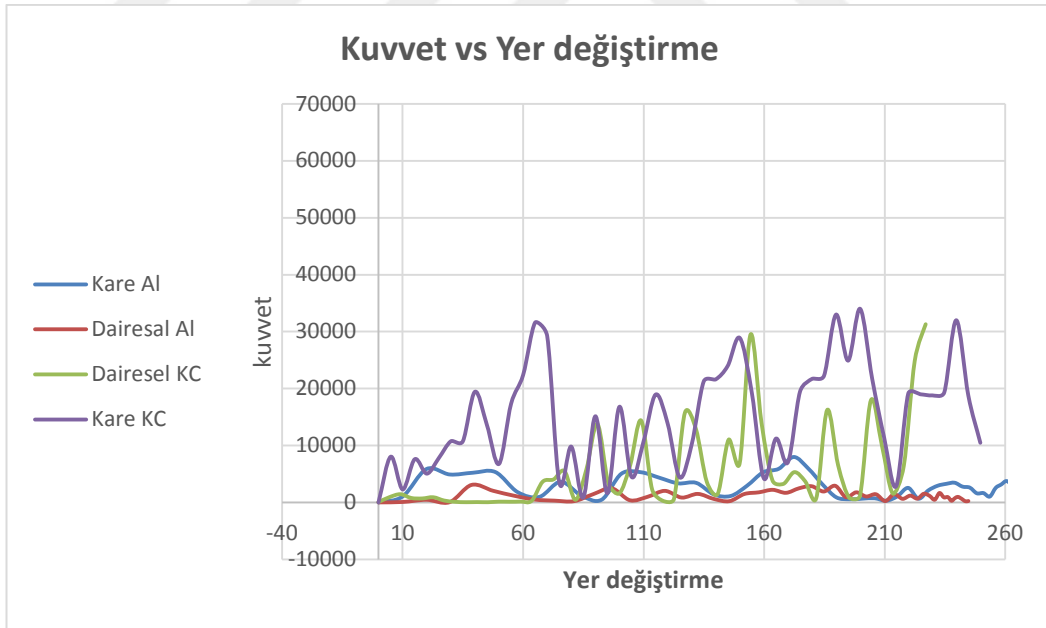


Şekil 5.10: AL Enerji – Zaman



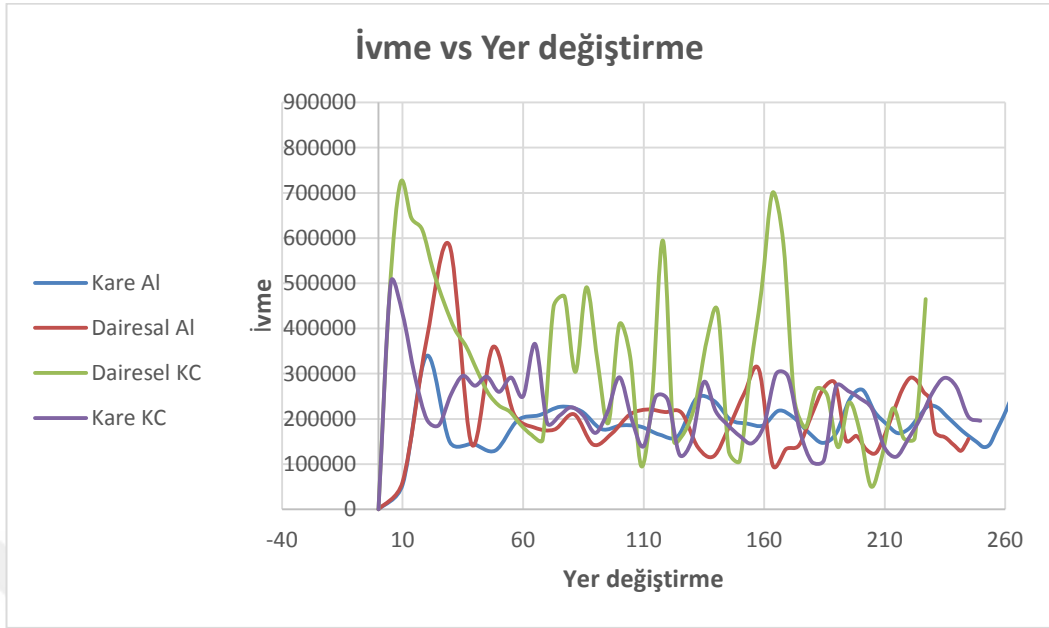
Şekil 5.11: KC Enerji – Zaman

- Performans- Yer değiştirme Şekilleri
- Kuvvet-Yer değiştirme



Şekil 5.12: Kombine Kuvvet vs Yer değiştirme

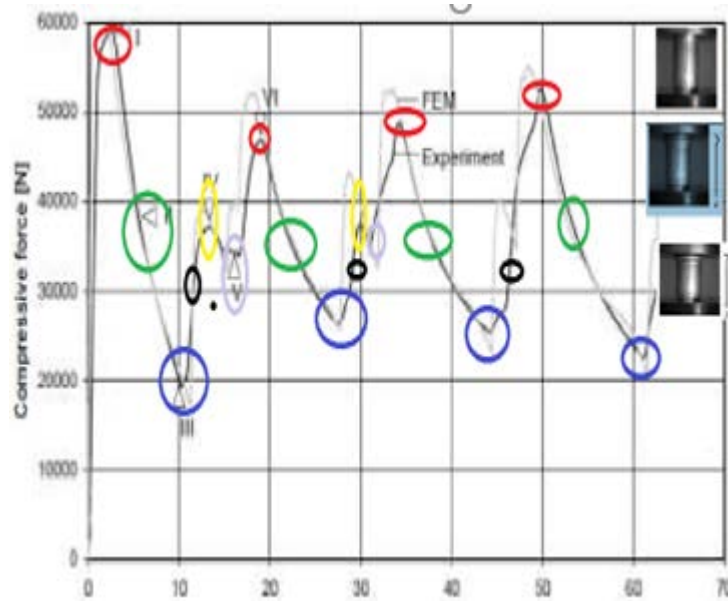
- İvme-Yer değiştirme



şekil 5.13: Kombine İvme vs Yer değiştirme

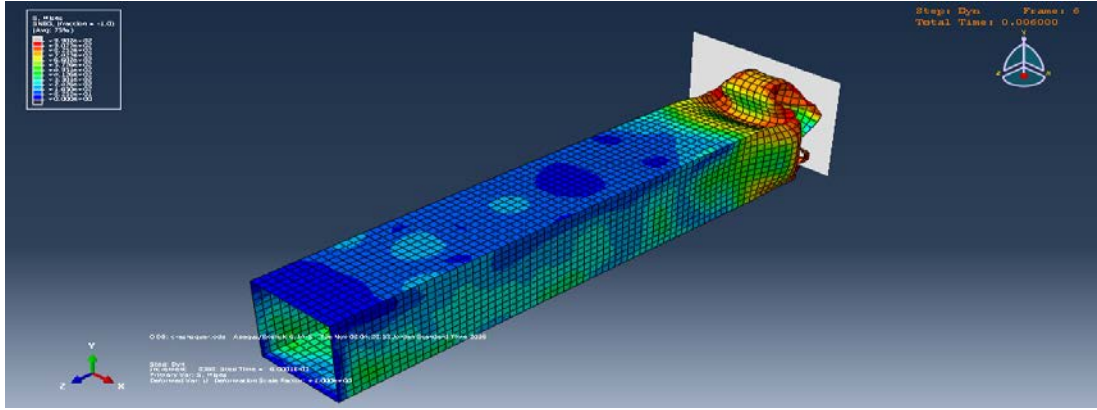
5.2 Katlama

Geometrinin daha fazla kuvvet çekmesini ve nihayerinde daha fazla enerji emmesini sağlayan yapıdaki geometri değişikliği (dışarı itilen bölge), geometri ne kadar düzenli katlanırsa o kadar fazla enerji emilir. Aşağıdaki şekil yarı dinamik yükleme olayını açıklamaktadır:

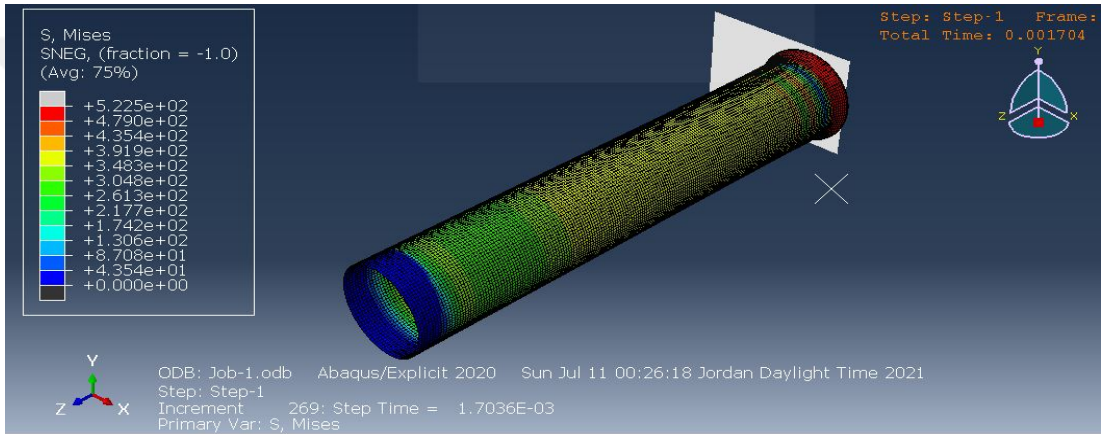


şekil 5.14: Katlama açıklaması

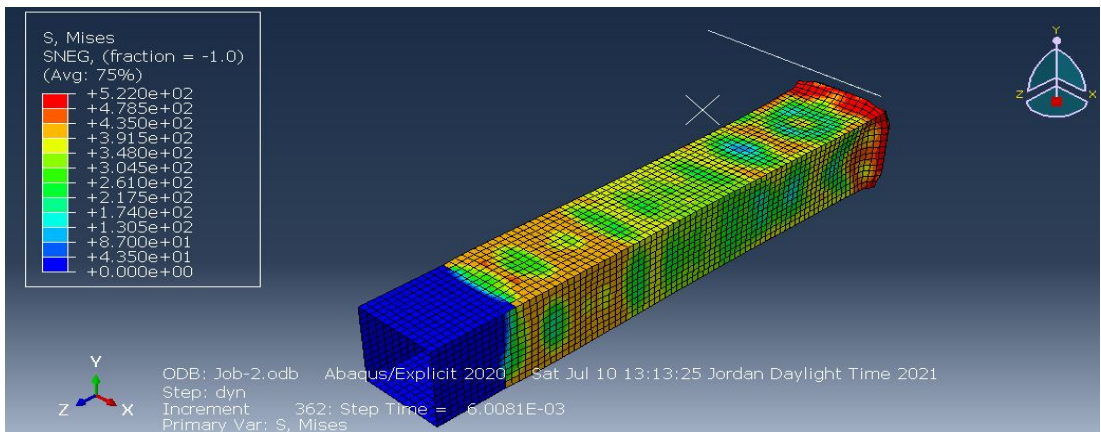
Şekil 5.16: Alüminyum diresel kesit 1. Katlama



Şekil 5.17: Alüminyum kare kesit 1. Katlama



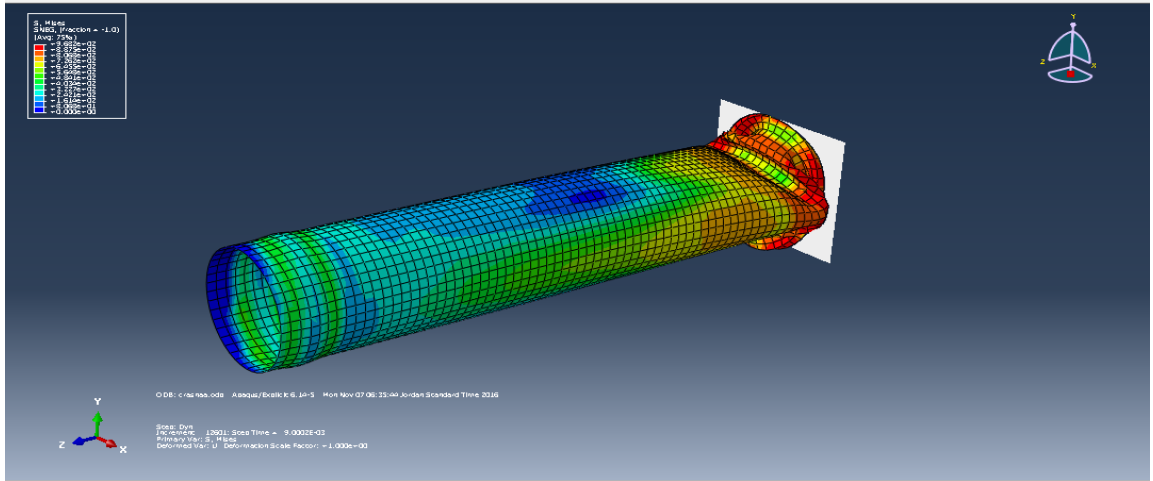
Şekil 5.18: Hibrit diresel kesit 1. Katlama



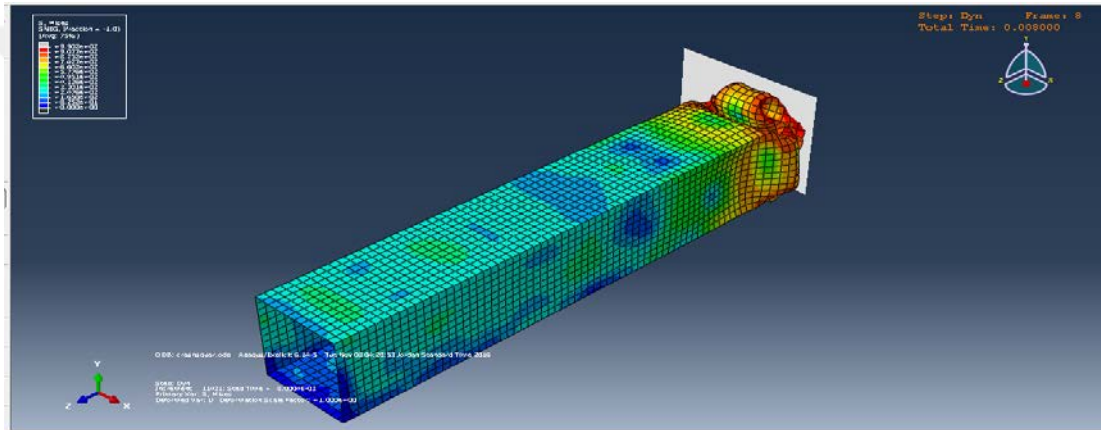
Şekil 5.19: Hibrit kare kesit 1. Katlama

Çizelge 5.8: Katlama #2

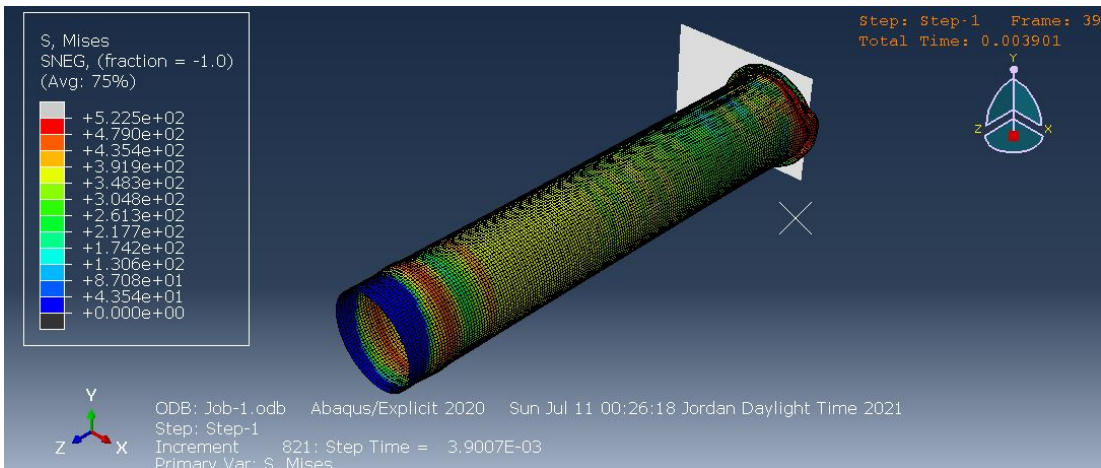
Kesit	Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirme
Diresel AL	0.0110003	167502	2475.07	96.765
Kare AL	0.0050004	129993	5332.43	48.4742
Diresel hibrit	0.00390129	180556	3251.61	35.967
Kare hibrit	0.0120057	249884	22385.3	60.0035



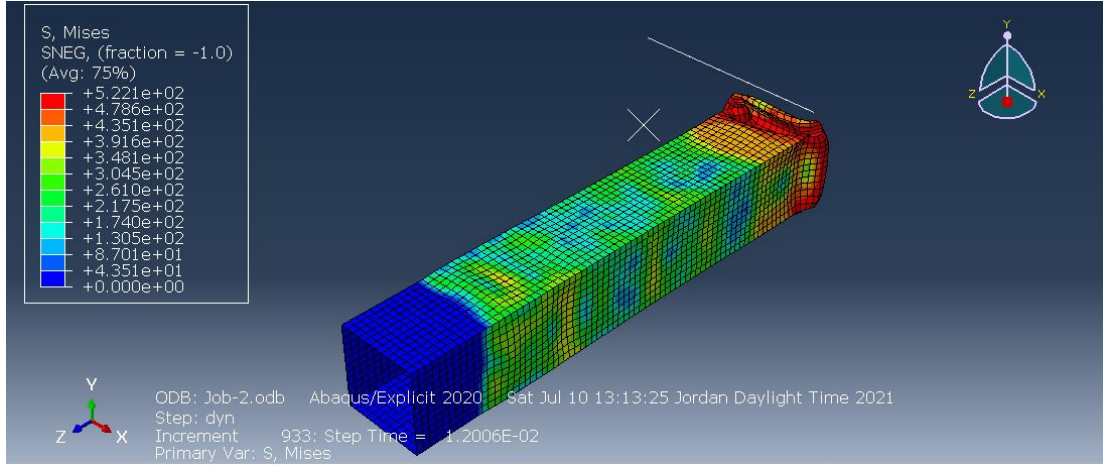
Şekil 5.20: Alüminyum dairesel kesit 2. Katlama



Şekil 5.21: Alüminyum kare kesit 2. Katlama



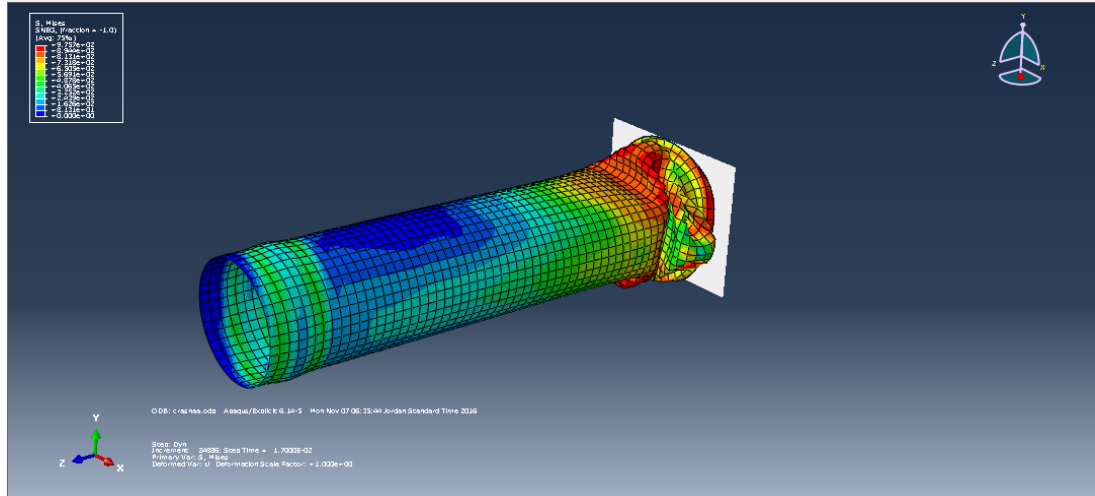
Şekil 5.22: Hibrit dairesel kesit 2. Katlama



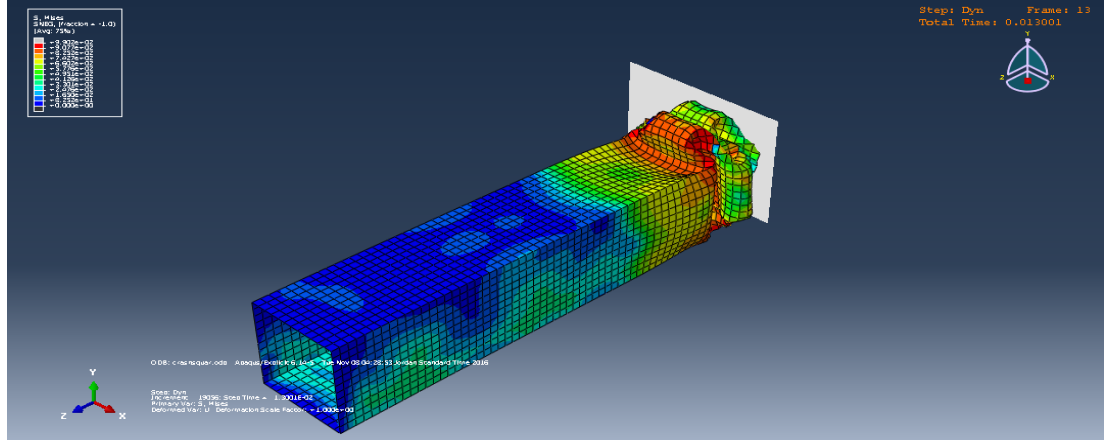
Şekil 5.23: Hibrit kare kesit 2. Katlama

Çizelge 5.9: Katlama #3

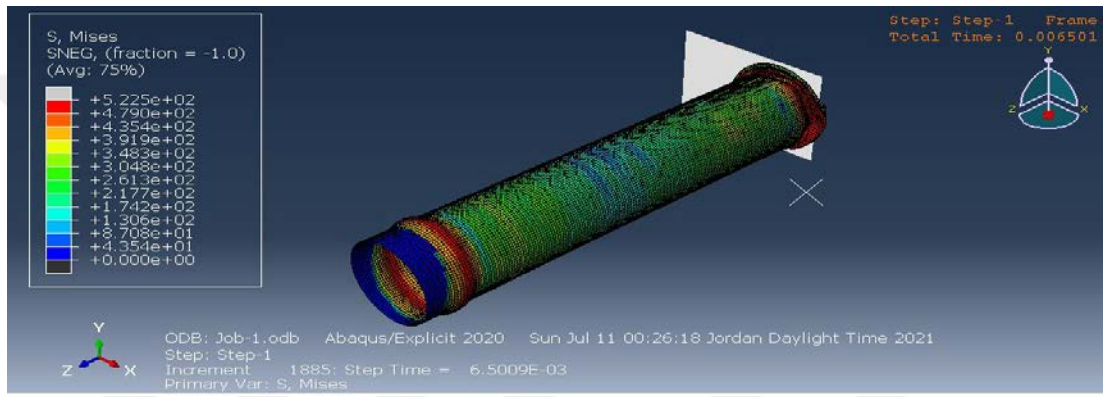
Kesit	Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirme
Diresel AL	0.0140004	215135	2026.89	118.831
Kare AL	0.0080004	226857	3629.16	75.5706
Diresel hibrit	0.00650099	432922	14487.4	57.2712
Kare hibrit	0.0160016	225751	9801.32	79.966



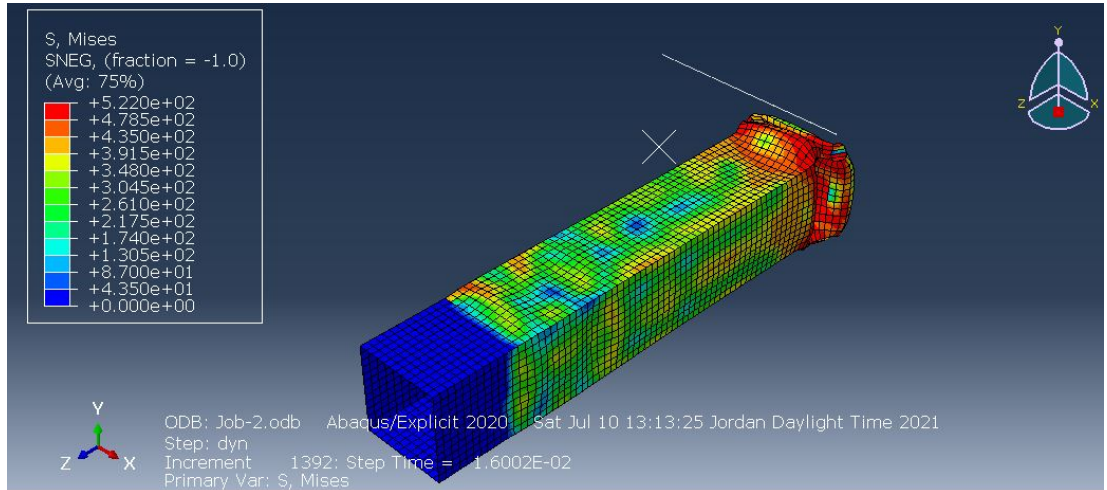
Şekil 5.24: Alüminyum diresel kesit 3. Katlama



Şekil 5.25: Alüminyum kare kesit 3. Katlama



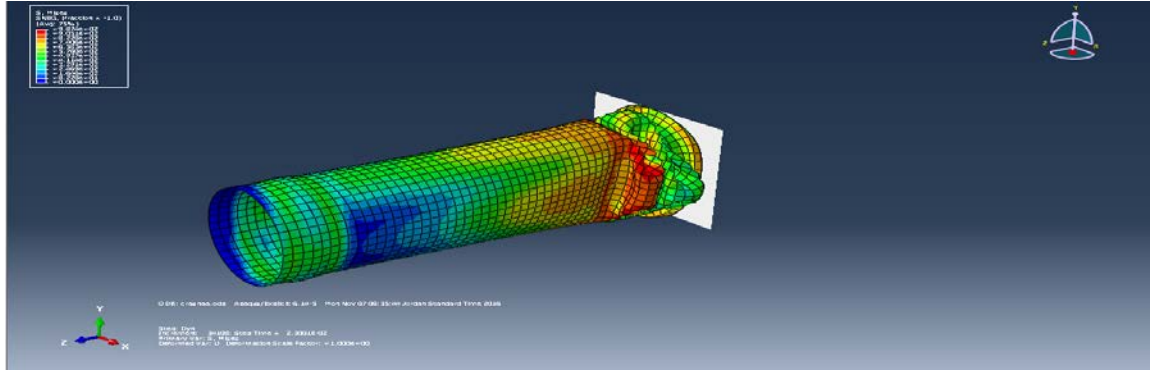
Şekil 5.26: Hibrit dairesel kesit 3. Katlama



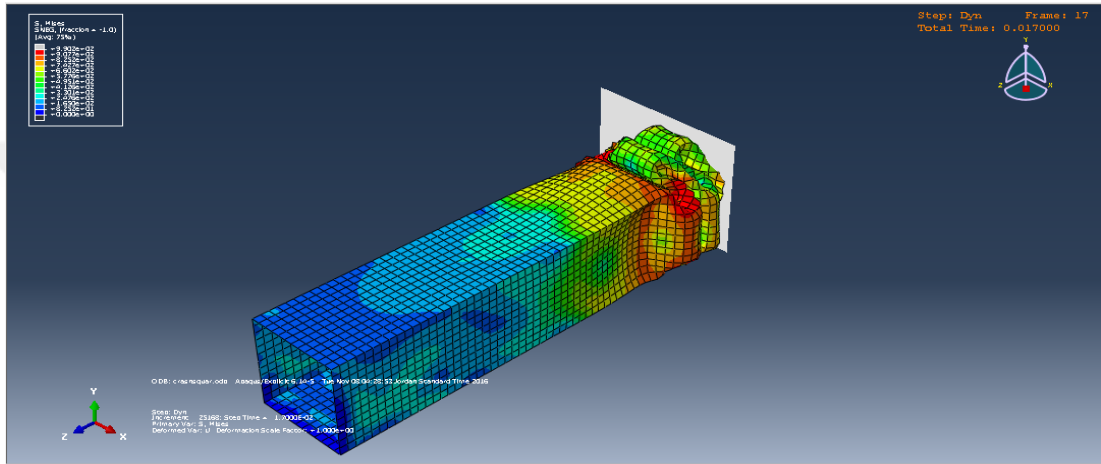
Şekil 5.27: Hibrit kare kesit 3. Katlama

Çizelge 5.10: Katlama #4

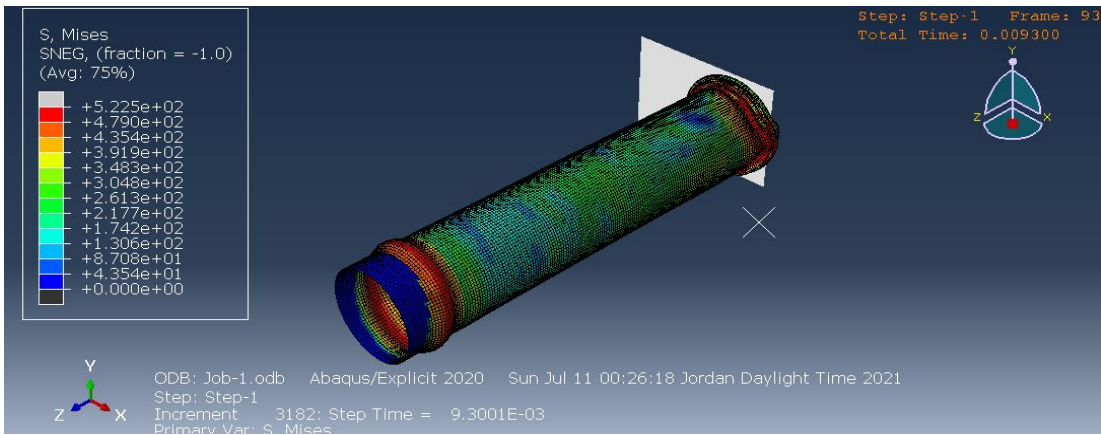
Kesit	Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirme
Diresel AL	0.0160001	137391	1492.04	132.478
Kare AL	0.0120001	182823	5302.32	108.789
Diresel hibrit	0.00900132	234017	9176.88	75.9863
Kare hibrit	0.0210062	200599	4502.29	104.963



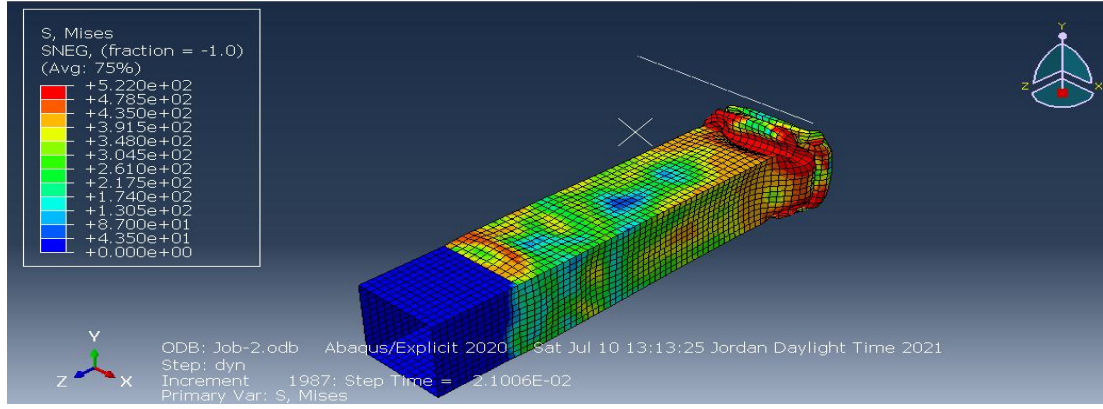
Şekil 5.28: Alüminyum dairesel kesit 4. Katlama



Şekil 5.29: Alüminyum kare kesit 4. Katlama



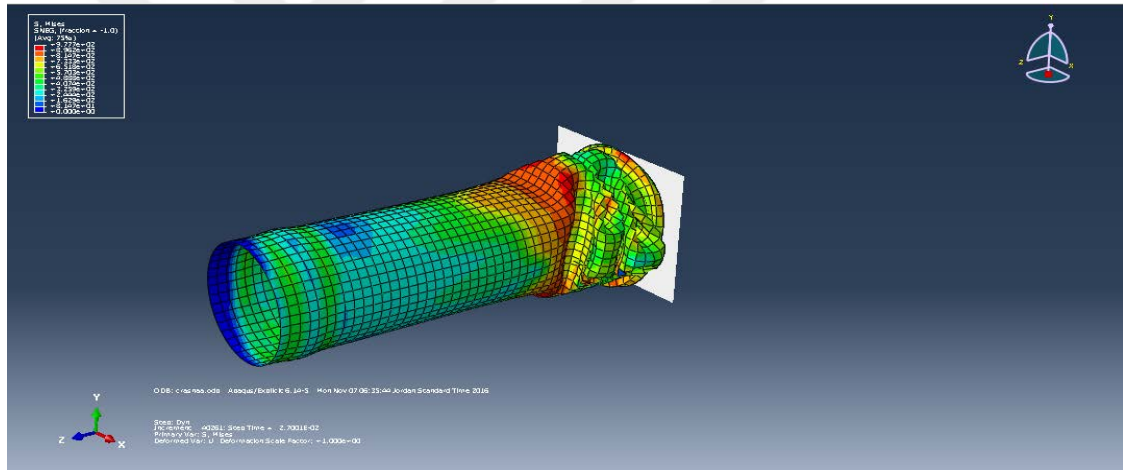
Şekil 5.30: Hibrit dairesel kesit 4. Katlama



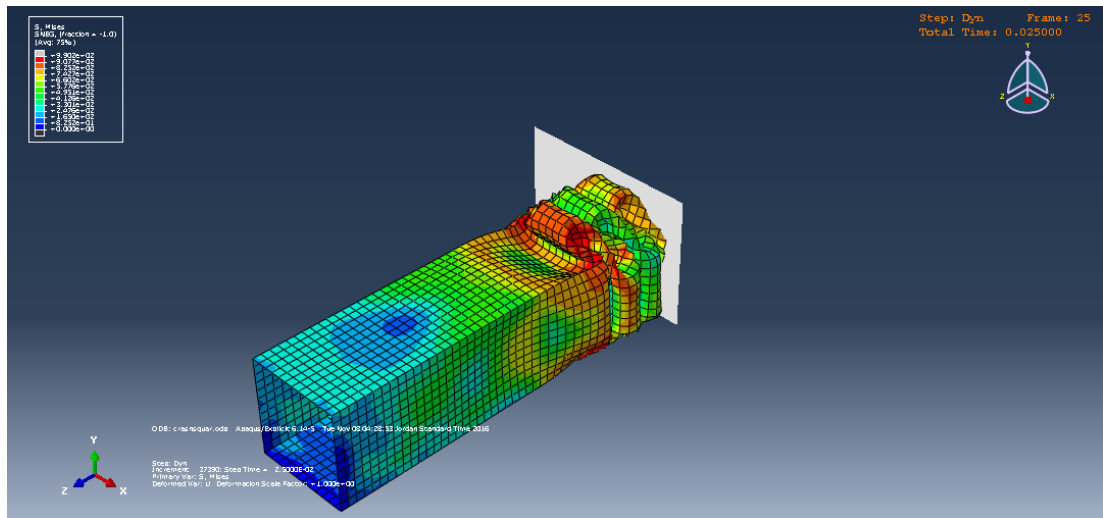
Şekil 5.31: Hibrit kare kesit 4. Katlama

Çizelge 5.11: Katlama #5

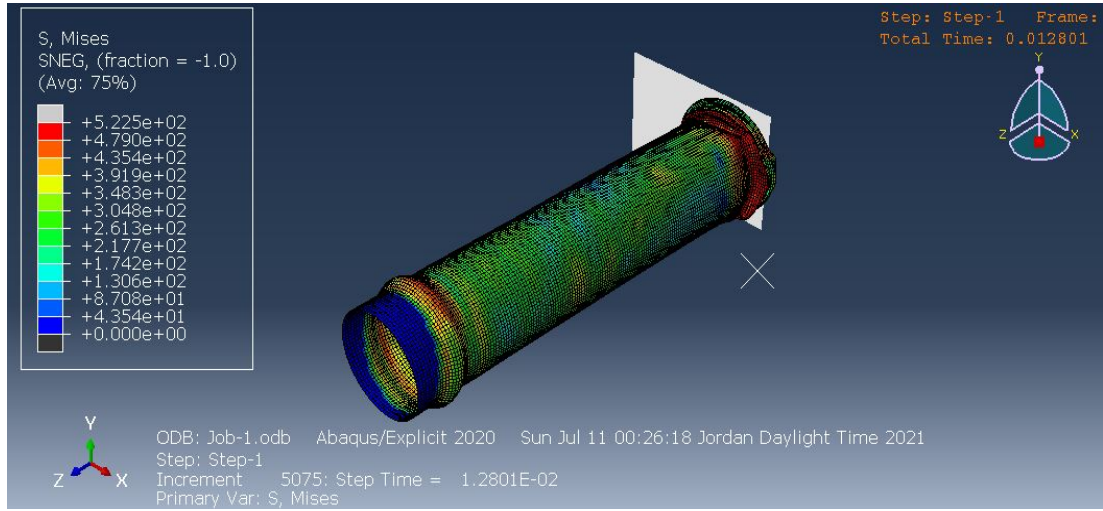
Kesit	Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirme
Diresel AL	0.0210003	2809.8	2209.51	163.521
Kare AL	202615	7977.93	172.283	6131.26
Diresel hibrit	0.0128	277078	37002.4	101.61
Kare hibrit	0.0260079	152354	10191.2	129.939



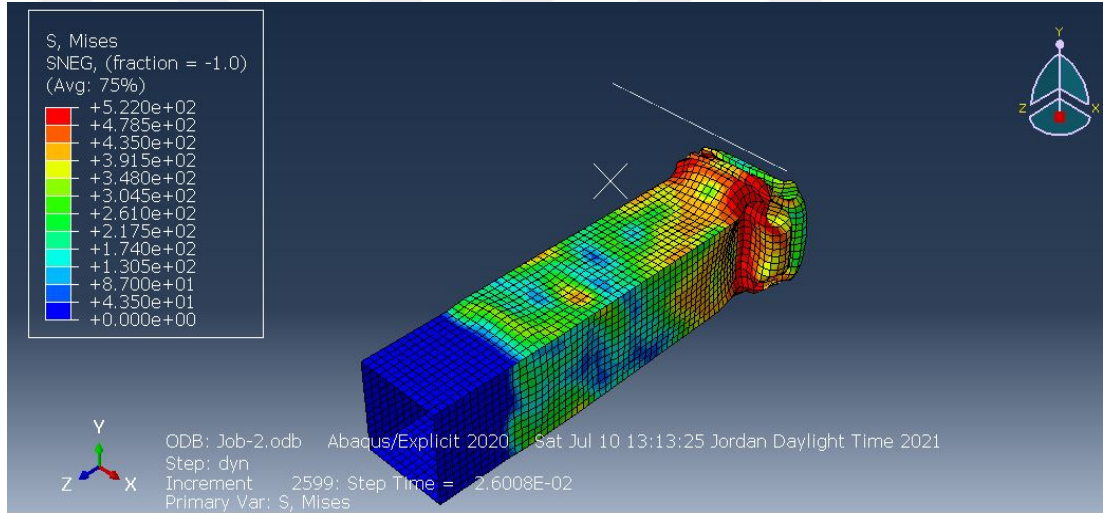
Şekil 5.32: Alüminyum diresel kesit 5. Katlama



Şekil 5.33: Alüminyum kare kesit 5. Katlama



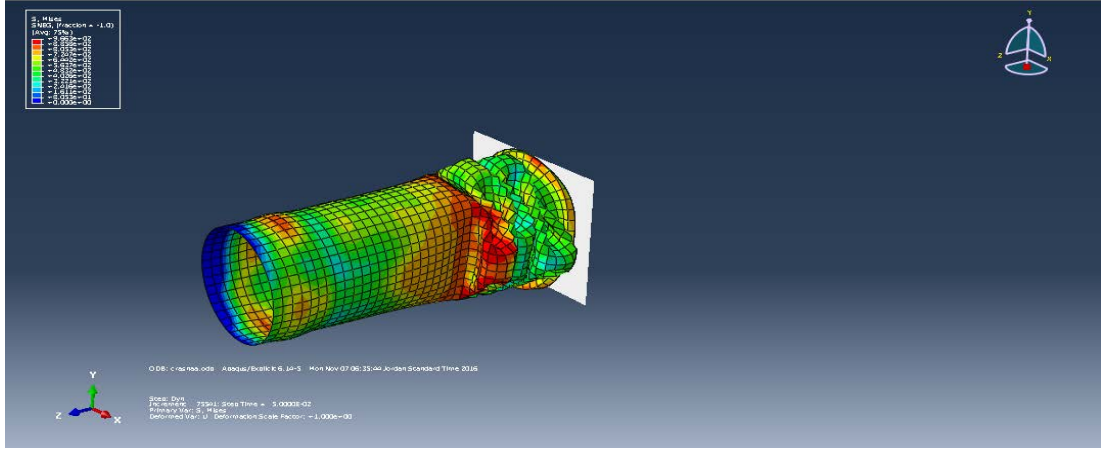
Şekil 5.34: Hibrit dairesel kesit 5. Katlama



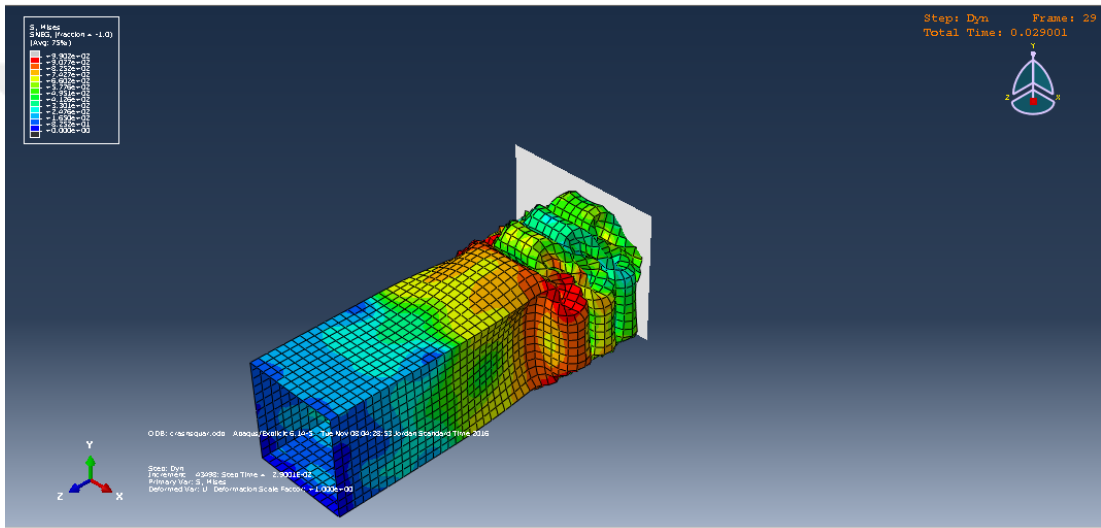
Şekil 5.35: Hibrit kare kesit 5. Katlama

Çizelge 5.12: Katlama #6

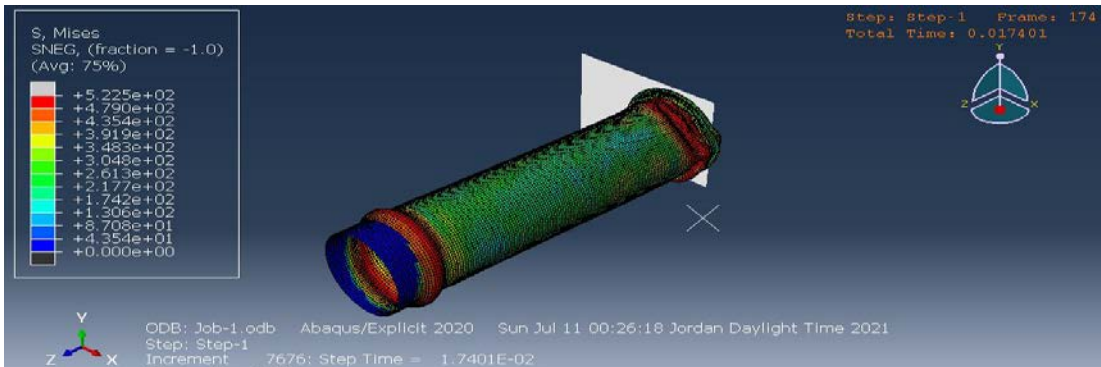
Kesit	Zaman	İvme	Kuvvet	Yer değiştirme
Diresel AL	0.0260006	278980	2922.2	189.446
Kare AL	177058	2550.88	219.729	4379.01
Diresel hibrit	0.0174009	213562	36712.2	128.516
Kare hibrit	0.0340025	293906	7043.33	169.851



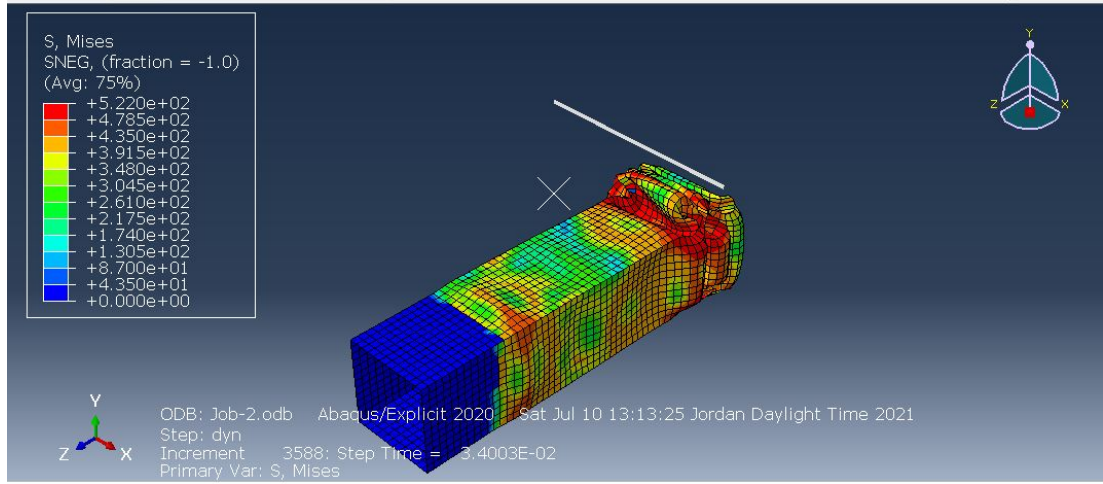
Şekil 5.36: Alüminyum dairesel kesit 6. Katlama



Şekil 5.37: Alüminyum kare kesit 6. Katlama



Şekil 5.38: Hibrit dairesel kesit 6. Katlama



Şekil 5.39: Hibrit kare kesit 6. Katlama

Karşılaştırma bölümüne göre, malzeme özelliği geometrisi, darbe alındığında ön rayın performansını büyük ölçüde etkiler, bu rapor bu farklılıkları vurgulamaktadır.

Daraltma Modu:(Aşamalı katlama)

Eksenel yükleme uygulanan tüm geometriler aynı malzeme özelliklerine ve aynı sınır koşullarına sahip olduğundan, benzer çökme moduna sahiplerdir (Aşamalı katlama).

6. SONUÇ

Eleştirel inceleme ve genel karşılaştırma:

A. Tresca VS.von Mises

- Tresca ve von Mises verim yüzeylerinin karşılaştırılması, vurgulanması gereken en dikkat çekici konulardan biridir. Bu iki yöntemin farklı varsayımlara ve dolayısıyla farklı sonuçlara sahip olduğunu belirtmek önemlidir.
- Von Mises: Von Mises modeline göre, plastisite eşiği elastik kesme enerjisine bağlıdır.
- Tresca: Kesme enerjisi yerine maksimum kesme gerilimi kritik değer olarak alınır.
- Her iki varsayıma dayalı olarak aşağıdaki şekil Tresca yönteminin daha tutucu olduğunu göstermektedir. Bu nedenle güvenlik ve daha kesinlik açısından Tresca sonuçlarını seçmek daha doğru olacaktır.

B. Hızlanma sonuçları:

İvme karşılaştırma tablolarına göre KC dairesel kesiti en yüksek ortalama ivmeye sahiptir ve AL kare en düşük ortalama ivmeye sahiptir.

C. Kuvvet sonuçları:

Kuvvet karşılaştırma tablolarına göre, dairesel kesit, kare kesitten daha az ortalama kuvvet uygular ve AL dairesel kesit en düşük ortalama kuvvete sahiptir.

D. Yer değiştirme sonuçları:

Yer değiştirme karşılaştırma tablolarına göre, dairesel kesitlerin kare kesite göre daha az toplam yer değiştirmeye sahip olduğu ve hibrit dairesel kesit alanının en düşük toplam yer değiştirmeye sahip olduğu ve bu da bize hibrit kompozitlerin hayatımızdaki ve endüstriyel alandaki önemi hakkında bir fikir vermektedir.

E. Hız sonuçları:

Yer değiştirme karşılaştırma şekillerine göre, tüm geometriler benzer davranışa sahiptir. Hız ise, geometriden bağımsızdır. Hız benzer davranışa sahiptir ve kesit alanının değiştirilmesinden etkilenmez. İvme değişiminin yer değiştirme davranışı ile telafi edildiği yerdir.

F. Yukarıdaki kriterlere ve şekillerden elde edilen sonuçlara göre KC İnter dairesel kesit iyi bir seğenek ve kare kesit en kötü performansa sahiptir.



KAYNAKLAR

- [1] **C.Elanchezian1 ***, **B.Vijaya Ramnath2**, **J.Hemalatha3** (2014) Mechanical behaviour of glass and carbon fibre reinforced composites at varying strain rates and temperatures.
- [2] **A. Güneş ***, **Ö.A. Şahin** ,(2016), Stiffness behavior of hybrid laminated composites with surface crack.
- [3] **Wentao He a,b,c**, **Jingxi Liu a,b,†**, **Bo Tao c**, **De Xie a,b**, **Jiayi Liu a**, **Min Zhang a** ,(2016) ,Experimental and numerical research on the low velocity impact behavior of hybrid corrugated core sandwich structures.
- [4] **M.V. Hosur ***, **M. Adbullah**, **S. Jeelani**, (2005), Studies on the low-velocity impact response of woven hybrid composites.
- [5] **Md. Hasan Iqbal**, **Azzam Ahmed**, **Wang Qingtao**, **Zeng Shuai** and **Li Wei**, (2016), Hybrid composites made of unidirectional T600S carbon and E-glass fabrics under quasi-static loading.
- [6] **Meisam Jalalvand** , **Gergely Czél**, **Michael R. Wisnom**, Numerical modelling of the damage modes in UD thin carbon/glass hybrid laminates.
- [7] **G KRETSIS** A review of the tensile, compressive, flexural and shear properties of hybrid fibre reinforced plastics.
- [8] **Farzad Pashmforoush**, Finite Element Analysis of Low Velocity Impact on Carbon Fibers/Carbon Nanotubes Reinforced Polymer Composites.
- [9] **Hebin Hu1**, **Xueliang Bian1**, **Xiaoyan Cao2**, **Wenqi Shen1**, **Bing Li2**, (2017), Impact Properties Study of Fibre Reinforced Resin Matrix Composites.
- [10] **Pu-Woei Chen** and **Kuan-Jung Chen**, (2016), A CRASHWORTHINESS SIMULATION FOR A LIGHT AIRCRAFT CONSTRUCTED OF COMPOSITE MATERIALS.
- [11] **Y. Ren**, **J. Xiang**, (2014), Energy absorption structures design of civil aircraft to improve crashworthiness.
- [12] **Karen E. Jackson**, **Yvonne T. Fuchs** and **Sotiris Kellas** Overview of the national Aeronautics and space administration Subsonic rotary wing Aeronautics research program in Rotorcraft Crashworthiness 2007.
- [13] **M. Guida** and **F. Marul** Partial modeling of aircraft fuselage during an emergency crash landing 2014.
- [14] **P. Xue**, **L. Ding**, **F. Qiao** and **X. Yu** Crashworthiness study of a civil aircraft fuselage section 2014.
- [15] **Xiaochuan Liu**, **Jun Guo**, **Chunyu Bai**, **Xiasheng Sun** and **Rangke Mou** Drop test and crash simulation of a civil airplane fuselage section 2015.
- [16] **J.W. Tedesco**, **B.T. Rosson** and **W.G. McDougal** Numerical simulation of dolos drop tests 1991.
- [17] **Ren, Y. and Xiang, J.** (2014) ‘Energy absorption structures design of civil aircraft to improve crashworthiness’, *The Aeronautical Journal*, 118(1202), pp. 383–398.

- [18] **Kellas, S. and Jackson, K.E.** (2010) ‘Multiterrain vertical drop tests of a composite fuselage section’, *Journal of the American Helicopter Society*, 55(4),.
- [19] **Liu, X., Guo, J., Bai, C., Sun, X. and Mou, R.** (2015) ‘Drop test and crash simulation of a civil airplane fuselage section’, *Chinese Journal of Aeronautics*, 28(2), pp. 447–456.
- [20] **González, E.V., Maimí, P., Camanho, P.P., Turon, A. and Mayugo, J.A.** (2012) ‘Simulation of drop-weight impact and compression after impact tests on composite laminates’, *Composite Structures*, 94(11), pp. 3364–3378.
- [21] **Woei Chen, P. and Jung Chen, K.** (2015) ‘A CRASHWORTHINESS SIMULATION FOR A LIGHT AIRCRAFT CONSTRUCTED OF COMPOSITE MATERIALS’, *Department of Aerospace Engineering, Tamkang University, Taiwan, R.O.C.*, 1(14-CSME-80), p. 15.
- [22] **Ross A, Sierakowski RL.** Studies on the impact resistance of composite plates. *Composites* 1973; 4:157–61.
- [23] **Reid SR, Zhou G.** Impact behavior of fibre-reinforced composite materials and structures. Woodhead publishing and CRC press; 2000.
- [24] **Kostreva K, Zhao Y, Thomas F.** Through the thickness compression properties for laminated composites – and experimental study. *Am Inst Aeronaut Astronaut* 2003;44(7–10).
- [25] **Hwang S-F and Mao C-P.** Failure of delaminated interply hybrid composite plates under compression. *Compos Sci Technol* 2001; 61: 1513–1527.
- [26] **Bunsell A and Harris B.** Hybrid carbon and glass fibre composites. *Composites* 1974; 5: 157–164.
- [27] **Fariborz S, Yang C and Harlow D.** The tensile behavior of intraply hybrid composites I: Model and simulation. *J Compos Mater* 1985; 19: 334–354.
- [28] **Kretsis G.** A review of the tensile, compressive, flexural and shear properties of hybrid fibre-reinforced plastics. *Composites* 1987; 18: 13–23.
- [29] **Khatri SC and Koczak MJ.** Thick-section AS4-graphite/E-glass/PPS hybrid composites: Part I. Tensile behavior. *Compos Sci Technol* 1996; 56: 181–192.
- [30] **Chiang MYM, Wang X, Schultheisz CR,** et al. Prediction and three-dimensional Monte-Carlo simulation for tensile properties of unidirectional hybrid composites. *Compos Sci Technol* 2005; 65: 1719–1727.
- [31] **Choi A H, Heness G and Ben-Nissan B** (2018) In *Advances in Ceramic Matrix Composites Woodhead Publishing*. 375
- [32] **Hua Y X, Han L H and Hou C** (2019) *Journal of Constructional Steel Research* **157** 245.
- [33] **Bhatnagar Nbaiot, Ramakrishnan N, Naik N K and Komanduri Rbaosu** (1995) *International Journal of Machine Tools and Manufacture* **35** 701.
- [34] **Li H, Xu Y, Hua X, Liu C and Tao J** 2018 *Composite Structures* **187** 354.
- [35] **Hool George A and Johnson Nathan Clarke** 1920 *Elements of Structural Theory - Definitions Handbook of Building Construction New York: McGraw-Hill*.
- [36] **] Boresi A P, Schmidt R J and Sidebottom O M** 1993 *Advanced mechanics of materials John Wiley and sons: New York*.
- [37] **Aisyah H A, M T Paridah, A Khalina, S. M. Sapuan, M. S. Wahab, O. B. Berkalp, C. H. Lee and S. H. Lee** 2018 *Polymers* **10** 1320.
- [38] **Hu Y, Li, Z, Yu X and Yao Z.** (2015) *Journal of Materials Processing Technology* **221** 214.

- [39] **Tsai J L, Huang B H and Cheng Y L.** 2009 *Journal of composite materials* **43** 3107.
- [40] **Poon, C.** (1990) *REVIEW OF CRASHWORTHINESS OF COMPOSITE AIRCRAFT STRUCTURES*, National Aeronautical Establishment, p.42.



ÖZGEÇMİŞ

- **Adı Soyadı:** Khaled Al_Nimer

Eğitim:

- **2010 – 2016** Ürdün Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nden (Jordan University of science and technology) **Havacılık Mühendisliği Lisansı.**
- İstanbul Aydın üniversitesi 2019-2021'de **makine mühendisliği yüksek lisansı.**

İş deneyimi:

- **Ürdün Sivil Havacılık Düzenleme Komisyonu'nda bir yıl süreyle eğitim.**
- **Altı ay boyunca JORAMCO'da eğitim.**

Diller:

- **İngilizce:** İleri düzey
- **Türkçe:** İleri düzey
- **Arapça:** Ana Dil

Yetenekler:

- İletişim, Takım Çalışması, Problem Çözme, Esneklik, Yaratıcılık
- Bilgisayar becerileri (Matlab, Ansys, Abaqus, Autocad, Solidworks, Microsoft Office) ve diğerleri.