

L7 Tipi Elektrikli Bir Aracın Yüksek Şasili Olarak Tasarım,
Alternatif Malzeme ve Birleştirme Teknikleri ile Prototip
Üretimi

M. Buğrahan CEYHAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**L7 Tipi Elektrikli Bir Aracın Yüksek Şasili Olarak Tasarım, Alternatif Malzeme
ve Birleştirme Teknikleri ile Prototip Üretimi**

M. Buğrahan CEYHAN

0000-0002-7967-3587

Prof .Dr. Murat YAZICI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2020

TEZ ONAYI

Mehmet Buğrahan CEYHAN tarafından hazırlanan “L7 TİPİ ELEKTRİKLİ BİR ARACIN YÜKSEK ŞASİLİ OLARAK TASARIM, ALTERNATİF MALZEME ve BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ İLE PROTOTİP ÜRETİMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Murat YAZICI

Başkan : Prof. Dr. Murat YAZICI
0000-0002-8720-7594
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim
Dalı

İmza



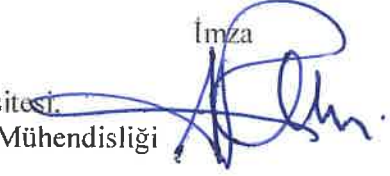
Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Erol SOLMAZ
0000-0001-9369-3552
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim
Dalı

İmza



Üye : Prof. Dr. Ali Rıza MOTORCU
0000-0002-9129-8935
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

.././....

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.

.../.../.....

M. Buğrahan CEYHAN

ÖZET

Yüksek Lisans

L7 Tipi Elektrikli Bir Aracın Yüksek Şasili Olarak Tasarım, Alternatif Malzeme ve Birleştirme Teknikleri İle Prototip Üretimi

M. Buğrahan CEYHAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat YAZICI

Günümüz dünyasında elektrikli araçlara olan ilgi ve talep oldukça artmıştır. Şehir içi lojistik sektöründe L kategori araçlara olan ilgi artmıştır. Bu çalışmada şehir içi lojistik sektöründe kullanılmak üzere tasarlanan elektrikli aracın şasi tasarımı ve analizlerine yer verilmiştir. Ayrıca dayanım, korozyon ve hafiflik gibi nedenlerden dolayı termoplastik kompozit salıncak kolu tasarımı yapılmıştır. Salıncak kolu tasarımındaki parametreleri belirlemek için simülasyon programları yardımıyla kaza senaryosu oluşturulmuştur. Salıncak koluna gelen yükler doğrultusunda tasarım yapılmış ve yapılan tasarım CAE programı vasıtasıyla incelenmiştir. İncelemelerde farklı malzemeler ve katman sayılarının etkisine bakılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Salıncak kolu, Elektrikli kamyonet, Şasi, Termoplastik kompozit malzemeler

2020, xii +85 sayfa.

ABSTRACT

Msc Thesis

Design As A High Chassis Of An L7 Type Electric Vehicle, Prototype Production With Alternative Materials And Joining Techniques

M. Buğrahan CEYHAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Murat YAZICI

Interest and demand for electric vehicles has increased rapidly in the today's World. Especially Interest in L category type approval electric vehicles has increased for last-mile and city logistics. The chassis design and analysis of electric vehicle which is designed to be driven in the last-mile delivery and city logistics, are given in this study. In addition, thermoplastic composite swing arm has been design for reasons such as strength, lightness and to prevent corrosion. An accident scenario was created with the help of simulation programs to determine the parameters in the swing arm design. Design was made considering the loads on the swing arm and this design was examined through the CAE program. The effects of different materials and number of layers were examined in the field and results.

Keywords: Suspansion arm, Electric truck, Chassis, Thermoplastic composite materials

2020, xii +85 pages.

TEŞEKKÜR

Bugünlere gelmemde desteğini benden esirgemeyen saygıdeğer aileme, değerli bilgilerini, tecrübelerini paylaőan ve hiğbir zaman bizlere destek olmaktan çekinmeyen değerli hocam Prof. Dr. Murat YAZICI'ya ve diğer hocalarıma, bu tez ęalıőmamıza imkan sağlayan Pilotcar firmasına ve manevi desteğini benden hiğ esirgemeyen niőanlım Merve Nur İLTİNE'e teşekkür ederim.

M. Buğrahan CEYHAN
25/08/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Şasi.....	2
2.1.1. Şasi Bağlantıları.....	2
2.1.2.Şasi Tipleri.....	3
2.1.3. Şasi Malzemesi Seçimi.....	6
2.1.4. Şasi Üretim Yöntemleri.....	8
2.2. Süspansiyon Sistemi.....	11
2.2.1. Süspansiyon Tipleri.....	11
2.2.2. Süspansiyon Elemanları.....	14
2.3. Kompozit Malzemeler.....	19
2.4. Salıncak Kolu Üretim Yöntemleri.....	24
2.5. Kompozit Üretim Yöntemleri.....	26
2.5.1. SMC Döküm.....	26
2.5.2. El Yatırma Yöntemi.....	27
2.5.3. Püskürtme Yöntemi.....	28
2.5.4. Enjeksiyon Döküm.....	28
2.5.5. Elyaf Sarma Yöntemi.....	29
2.5.6. Pultrüzyon.....	30
2.5.7. RTM (Reçine Transfer Kalıplama) Yöntemi.....	30
2.5.8. Isıl Şekillendirme.....	31
2.5.9. Şişirme Kalıplama.....	31

2.5.10. Diyaframlı Şekillendirme.....	32
2.5.11. Üzerine Enjeksiyon Kalıplama.....	32
2.6. Kompozit Malemeler Mekanığı.....	33
2.6.1. Hacim Oranı.....	33
2.6.2. Kütle Oranı.....	34
2.6.3. Yoğunluk.....	35
2.6.4. Boşluk Miktarı.....	36
2.7. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	37
2.7.1. Ortotropik Kompozit Malzemeler.....	37
2.7.2. Kompozit Malzeme Mekanik Özelliklerinin Hesaplanması.....	38
2.7.3.Ortotropik Tabakaların Makromekanik Analizi.....	43
2.8. Kompozit Malzemelerde Hasar Teorileri.....	50
2.8.1. Hashin Hasar Teorisi.....	50
2.8.2. Maksimum Gerilme Hasar Teorisi.....	51
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	52
3.1.Kinematik Analiz.....	52
3.2. Salıncak Kolu Sonlu Elamanlar Analizi.....	61
3.3. Şasi Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Analizi.....	74
3.4. Şasi Üretimi.....	78
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	81
5.SONUÇ.....	82
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
v_c	Kompozit hacmi
v_f	Fiber hacim
v_m	Matris hacmi
V_m	Matris hacim oranı
V_f	Fiber hacim oranı
w_f	Fiber kütlesi
w_c	Kompozit kütlesi
w_m	Matris kütlesi
W_f	Fiber kütle oranı
W_m	Matris kütle oranı
V_v	Boşluk hacim oranı
E_1	Boylamasına elastisite modülü
E_2	Enine elastisite modülü
ν_{12}	Poisson oranı
G_{12}	Kayma modülü
σ	Gerilme
ϵ_2	Enine birim şekil değiştirme
δ_c	Kompozit kayma deformasyonu
δ_f	Fiber kayma deformasyonu
δ_m	Matris kayma deformasyonu
τ_c	Kayma gerilmesi
γ_c	Kompozit laminanın kayma şekil değiştirmesi
γ_f	Fiber kayma şekil değiştirmesi
γ_m	Matris kayma şekil değiştirmesi
t_c	Kompozit laminanın kalınlığı
t_f	Fiber kalınlığı
t_m	Matris kalınlığı
G_{12}	Kompozit kayma modülü

G_m	Matris kayma modülü
G_f	Fiber kayma modülü
Q	Esneklik katsayısı
S_{ti}	Çekme dayanımı
S_{ci}	Basma dayanımı
S_{sij}	Kayma dayanımı

Kısaltmalar Açıklama

kg	Kilogram
m	Metre
s	Saniye
PQR	Procedure Qualification Record
WPS	Welding Procedure Specification
GPP	Cam elyaf katkılı propolipen
PP	Propolipen

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Merdiven tip şasi örneği.....	3
Şekil 2.2. Trapez şasi örneği.....	4
Şekil 2.3. X tipi şasi örneği.....	5
Şekil 2.4. Tek kollu platform şasi örneği.....	5
Şekil 2.5. Monokok Şasi örneği.....	6
Şekil 2.6. Form verilmiş profil görseli.....	7
Şekil 2.7. Bir monokok gövde üretim görüntüsü.....	9
Şekil 2.8. Boru ve profil büküm makinesi.....	10
Şekil 2.9. Kaynak fikstürü.....	10
Şekil 2.10. Bir double wishbone süspansiyon sistemi görüntüsü.....	12
Şekil 2.11. Mcpherson süspansiyon sisteminin bir örneği.....	13
Şekil 2.12. Bir rijit aks örneği.....	14
Şekil 2.13. Alüminyum ve döküm salıncak kolu örneği.....	15
Şekil 2.14. Şok emici (amortisör) örneği.....	16
Şekil 2.15. Yaprak yay örneği.....	17
Şekil 2.16. Helisel yay örneği.....	18
Şekil 2.17. Kauçuk salıncak burcu.....	18
Şekil 2.18. Sinter yatak burcu.....	18
Şekil 2.19. Kompozit malzemelerin sınıflandırma şeması.....	20
Şekil 2.20. Salıncak kolu üretim yöntemleri şeması.....	25
Şekil 2.21. Kompozit malzeme üretim yöntemleri şeması.....	26
Şekil 2.22. SMC döküm üretim yöntemi görseli.....	27
Şekil 2.23. El yatırma yöntemi görseli.....	28
Şekil 2.24. Sprey döküm görseli.....	28
Şekil 2.25. Enjeksiyon döküm görseli.....	29
Şekil 2.26. Tel sarma üretim yöntemi görseli.....	29
Şekil 2.27. Pultrüzyon yöntemi görseli.....	30
Şekil 2.28. RTM üretim yöntemi görseli.....	30
Şekil 2.29. Isıl şekillendirme yöntemi görseli.....	31
Şekil 2.30. Şişirme kalıplama üretim yöntemi.....	31
Şekil 2.31. Diyaframlı şekillendirme görseli.....	32

Şekil 2.32. Üzerine enjeksiyon kalıplama yöntemi görseli.....	33
Şekil 2.33. Kompozit malzemede gerilmenin takviye doğrultusunda uygulanması.....	39
Şekil 2.34. Kompozit malzemede gerilmenin fiber yönüne dik doğrultuda uygulanması.....	40
Şekil 2.35. Tek yönlü laminaya ait düzlem kayma modülünü hesaplamak için kullanılan temsili hacim elemanı üzerindeki düzlem kayma gerilmesi.....	42
Şekil 2.36. Açılı tabakalarda global ve lokal eksen takımları.....	46
Şekil 2.37. Açılı laminadaki global ve lokal eksenler.....	51
Şekil 3.1. Adams ortamında modelin genel görünüşü.....	53
Şekil 3.2. Senaryonun tasarımı.....	53
Şekil 3.3. Yay ve sönüm sabiti.....	54
Şekil 3.4. Lastikler ve zemin arasındaki sürtünme katsayıları.....	55
Şekil 3.5. Aracın x ve y eksenindeki hızları.....	56
Şekil 3.6. X, y ve z eksenlerinde etkiyen dinamik kuvvetler.....	56
Şekil 3.7. Y ekseninde etkiyen dinamik kuvvet.....	57
Şekil 3.8. Aracın x eksenindeki toplam yer değiştirmesi.....	57
Şekil 3.9. Tek bir amortisörün deformasyon hızı.....	58
Şekil 3.10. Amortisördeki deplasman miktarı.....	59
Şekil 3.11. Amortisöre gelen dinamik kuvvet.....	60
Şekil 3.12. Salıncak kolunun bağlantı noktasına gelen maksimum kuvvet.....	60
Şekil 3.13. FRT GPP 4570 Natural malzeme hashin damage özelliklerinin programa aktarılması.....	64
Şekil 3.14. GPP malzeme hashin damage özelliklerinin programa aktarılması.....	65
Şekil 3.15. FRT GPP 4570 Natural malzeme elastik özelliklerinin programa aktarılması.....	65
Şekil 3.16. GPP malzeme elastik özelliklerinin programa aktarılması.....	66
Şekil 3.17. Kompozit salıncak kolu mesh yapısı.....	66
Şekil 3.18. 30 kat için elyaf dizilimi ve katman sayısı.....	67
Şekil 3.19. Ankastre ve mesnet yük tanımları.....	67
Şekil 3.20. Salıncak kolunun araç üzerindeki bağlantı konumu.....	68
Şekil 3.21. FRT GPP 4570 Malzeme için fiber basma yönündeki hasar durumu.....	69
Şekil 3.22. Fiberde çekmedeki hasar durumu.....	70

Şekil 3.23. Matris olarak basma sonuçları.....	70
Şekil 3.24. Matris çekme durumu.....	71
Şekil 3.25. S11 yönünde oluşan gerilme değeri.....	71
Şekil 3.26. S12 yönünde oluşan gerilme değeri.....	72
Şekil 3.27. S22 yönünde oluşan gerilme değeri.....	72
Şekil 3.28. S23 döküm salıncak kolunda oluşan deformasyon miktarı.....	73
Şekil 3.29. Döküm salıncak kolunda oluşan gerilme değeri.....	73
Şekil 3.30. Değiştirilebilir akü paketinin araç üzerindeki yerleşimi.....	75
Şekil 3.31. Akü paketinin araç üzerinden çıkartılması.....	75
Şekil 3.32. Şasi üzerindeki kritik bölgeler.....	76
Şekil 3.33. Şasi üzerindeki yükleme durumu.....	76
Şekil 3.34. Şasi sabitleme noktaları.....	77
Şekil 3.35. Şaside oluşan gerilme değerleri.....	77
Şekil 3.36. Şaside oluşan deformasyon miktarı.....	78
Şekil 3.37. Üretilmiş şasi görseli.....	79
Şekil 3.38. Yürüyen aksam montajlanmış şasi görseli.....	80
Şekil 3.39. Yürüyen aksam montajlanmış şasi görseli.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Yüksek performans plastiklerin Bazı özellikleri.....	22
Çizelge 2.2. Mühendislik amaçlı bazı plastiklerin özellikleri.....	23
Çizelge 2.3. Termoplastik reçineler erime ve işlem.....	24
Çizelge 3.1. Döküm salıncak malzeme özellikleri.....	61
Çizelge 3.2. Kompozit malzeme özellikleri.....	62
Çizelge 3.3. Glass PP malzeme özellikleri.....	63
Çizelge 4.1. Sonlu elemanlar analiz sonuçları.....	81

1. GİRİŞ

L7 kategori araçlar, üç veya dört tekerlekli motosiklet olarak tanımlanmıştır. Bu araçlar ölçüsel olarak M kategori araçlara göre daha küçük olmak zorundadır. Benzinli, elektrikli veya hibrid olabilirler. Dar sokak ve caddelerde ulaşım ve lojistiğin sürdürülebilmesinde rol oynarlar.

Bu çalışma da L7 kategori bir elektrikli aracın şasi tasarımı ve tasarlanan şasinin statik analizleri yapılmıştır.

Şasi platformu bir araç için en önemli organlardan birisidir. Şasi, araçların tipine ve tasarımına göre farklı şekillerde olabilir. Başlıca şasi tipleri şunlardır;

- Merdiven tipi şasi.
- X tipi çapraz kollu şasi.
- Tek kollu platform tipi şasi.
- Trapez şasi.
- Monokok şasi

Şasi, bir araçta insan vücudundaki iskelet sistemine benzer. Süspansiyon parçaları için bağlantı yüzeyleri oluşturur ve aracın yürüyen aksamalarını bir araya getirir. Şasi tipine göre kabin bağlantısının yapılacağı taşıyıcı görevini üstlenir. Ayrıca bir aracın her türlü statik ve dinamik koşul altında maruz kalacağı yüklerin büyük kısmı dolaylı veya doğrudan yolla şasiye yüklenir. Dolayısıyla şasi tasarımı yapılırken tasarlanan aracın çalışma şartları, maruz kalacağı davranışlar (burulma, eğilme vb.), araç tipi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada L7 kategori bir elektrikli aracın şasi tasarımı yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemiyle statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan araç ticari kullanıma yönelik olup, hedef pazar yapılan fizibilite çalışmaları sonucu Avrupa ülkeleri olarak belirlenmiştir. Regülasyonlara göre araç kriterleri belirlenmiştir. Regülasyona göre aracın maksimum taşıma kapasitesi yolcu dahil 1000 kg'dır. Dolayısıyla şasi tasarımında en önemli parametre maksimum yük kapasitesi olarak alınmış ve Solidworks programında 3D olarak modellenen şasi Abaqus programında sonlu elemanlar analizi yapılarak ardından üretimi yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Şasi

Şasi, bir aracın en önemli yapısal elemanlarından birisidir. Günümüzde şasiler farklı tiplerde olabilmektedir. Otomobillerde kendinden karoserli (monokok) şasi kullanılır. Yani aracın kabini ve şasisi birliktedir. Ancak kamyonet, kamyon, pikap gibi araçlarda boyutlar büyük olduğu için monokok bir şasi yapmak pek mümkün değildir. Bu tip araçlarda kutu profil veya formlu saclar kullanılarak; merdiven tipi, x tipi çapraz kollu ve çatal kollu şasiler üretilir. Şasiden beklenen mukavemet özelliklerine göre malzeme seçimi ve tasarımı yapılır. Daha sonra üretilebilirlik kısmı kontrol edilir. Gerekli iyileştirmeler ve hafifletmeler için optimizasyonlar yapılır. Monokok olmayan şasilerde parçalar büyük olduğundan bu parçaların üretiminde kullanılacak kalıpların üretimi yüksek maliyetli olacaktır. Bu nedenle genellikle büyük kalıp gerektirecek tasarımlardan genellikle uzak durulur. İmalatın kolay olması ve hafiflik açısından genelde açık kesitli U profillerden oluşan ana taşıyıcı ve ara bağlantılar oluşturulur. Ancak, burulmaya müsait yerlerde kutu profillerin burulma mukavemetinin fazla olmasından dolayı kutu profil tercih edilir. Şasi tasarımı yapılırken, süspansiyon elemanlarının konumu, dingilin konumu, kabinin konumu gibi birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı zamanda, üretim kolaylığı ve maliyetinde düşünülmesi gerekmektedir.

2.1.1. Şasi Bağlantıları

Kamyon şasilerinde genellikle kaynak, cıvata, perçin bağlantıları bir arada kullanılır. Cıvata ve perçin bağlantıları şasiye bir miktar esneklik sağlar. Bu esneklik bozuk yol koşullarında ani olarak gelebilecek darbeler ile şasinin çabuk deforme olmasını engeller. Şasinin yenilenmesi zor ve maliyetli bir işlem olduğu için yol şartlarından mümkün olan en az hasarı alması istenir.

Kaynak parametreleri bu şekildeki hareketli yapılarda daha çok önem kazanmaktadır. Malzeme kalınlığı, malzeme cinsi, kaynak yöntemi ve kaynak şekline bağlı olarak kaynak akım değeri, kaynak ilerleme hızı ve tel sürme hızı gibi parametreler belirlenmelidir. Ardından PQR (prosedür kalifikasyon kaydı) çalışmaları yapılarak kaynak uygunluğu kanıtlanmalı ve WPS (kaynak prosedür şartnamesi) hazırlanarak seri üretimde aynı şartların her ürün için sağlandığından emin olunmalıdır.

Kullanılan cıvata ve perçinlerin ise mukavemet değerleri arasında çok büyük farklar olmamalıdır. Aksi takdirde düzensiz yük dağılımlarında bağlantı elemanlarına gelecek yüklerde şasinin vereceği tepkiden emin olunamaz.

2.1.2. Şasi Tipleri

a. Merdiven Tipi Şasi

Paralel kollu şasi tipleri, otomotiv endüstrisinde ilk kullanılmaya başlanan şasi tiplerindendir. Genellikle kamyonet ve arazi araçlarında kullanılır. Kısaca, iki adet ana taşıyıcıyı ara ve çapraz elemanlar ile birleştirilmesi ile oluşturulan şasi tipidir. Şekil 2.1’de Merdiven tipi şasi örneği görülmektedir.



Şekil 2.1. Merdiven tip şasi örneği (Anonim 2020)

b. Trapez Şasi

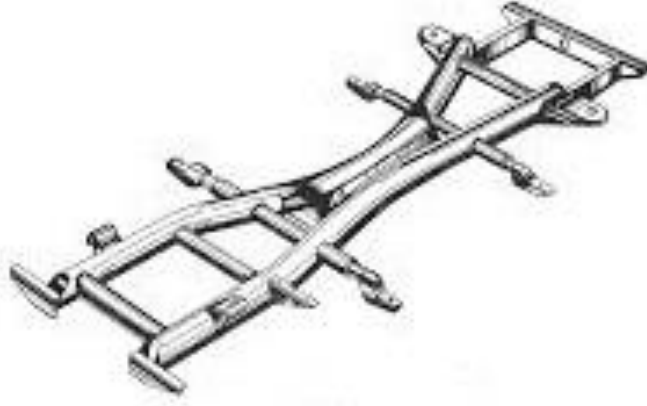
Merdiven tipi şasilere benzerler ancak aracın ön tarafına doğru şasi içeriye kapanır. Şekil 2.2'den görüleceği üzere bu kapanma aracın içine doğru gerçekleşmektedir. Bunun sebebi ön tarafta tekerleklerin dönüşüne yer açmaktır. Genellikle otomobillerde uygulanır.



Şekil 2.2. Trapez şasi örneği (Kurulay, 2016)

c. X Tipi (Çapraz Kollu) Şasi

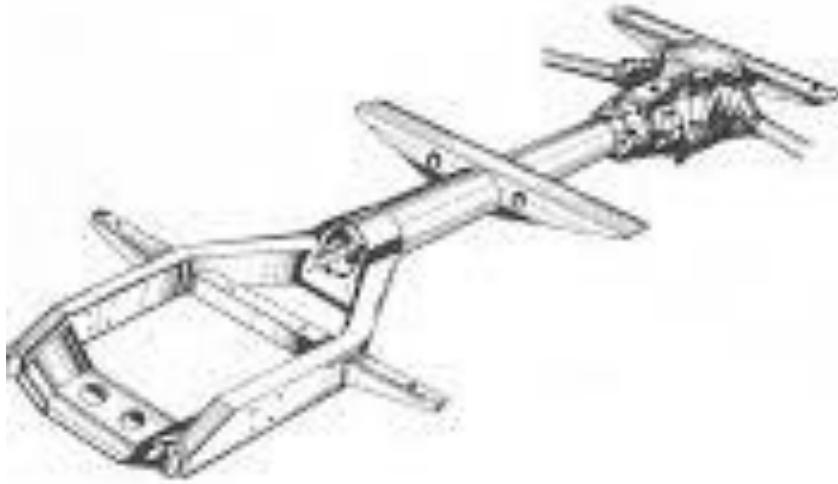
İki taşıyıcı ana elemanın dingilin orta noktalarına doğru birbirine yaklaşarak, üstten görüntüsü X şeklinde olan şasi tipidir. Şekil 2.3'te X tipi şasi örneği gösterilmiştir. X tipi şasilerin burulma direnci yüksektir. Şasiyi oluşturan elemanlar kutu (İçi boş dikdörtgen veya kare) şeklinde veya U kesit geometrisine sahip çelik profillerdir. Üzerinde pres operasyonları bulunduğu için üretimi biraz zahmetli ve maliyetlidir.



Şekil 2.3. X tipi şasi örneği (Kurulay, 2016)

d. Tek Kollu Platform Şasi

Aracın tam ortasından geçen bir ana taşıyıcıya yan elemanların bağlanmasıyla oluşturulan şasi tipidir. Şekil 2.4'te tek kollu platform şasi örneği gösterilmiştir. Bu tür şasiler, otomobiller için uygundur.



Şekil 2.4. Tek Kollu Platform Şasi Örneği (Kurulay, 2016)

e. Monokok Şasi

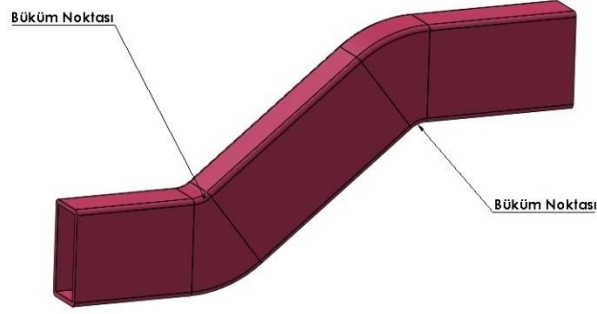
Monokok şasiler, araç gövdesinin kendinden taşıyıcı yapılardan oluşturulmasıyla elde edilmektedir. Şekil 2.5'te örnek bir Monokok şasi gösterilmektedir. Günümüz otomobillerinde çokça kullanılan bir şasi tipidir. Ayrı ayrı kabin ve şasi imal edip sonradan birleştirmek yerine ikisi tek bir yapı içerisinde. Formlu sacların kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmesiyle elde edilen yekpare bir yapıdır.



Şekil 2.5. Monokok Şasi Örneği (Anonim 2020)

2.1.3. Şasi Malzemesi Seçimi

Şasilerin tiplerine göre malzeme türleri farklılık gösterir. Ayrıca şasilerin üretim yöntemlerine göre de malzeme seçimi yapılması gerekir. Kutu profil veya U profil vb. gibi kesite sahip yapılar kullanılarak oluşturulan şasilerde genellikle St 52 gibi akma mukavemeti yüksek çelik malzemeler tercih edilir. Ancak bu yapılar üzerinde fazlaca büküm ve form operasyonu bulunuyorsa St 52 gibi uzama kabiliyeti düşük malzeme tercihi sakıncalı olabilir. Çünkü kutu profil veya U kesitli bir yapıya form verildiği takdirde Şekil 2.6 'da görüldüğü büküm bölgeleri oluşacaktır.



Şekil 2.6. Form verilmiş profil görseli

Bu büküm bölgelerinde dislokasyonların hareketi kısıtlanacaktır. Dolayısıyla malzemenin yapısı gereği uzama miktarı düşük olduğu için yırtılmalar oluşmaktadır. Bu tür kısıtlardan dolayı akma esnasında kararsızlık göstermeyen ve yüksek mukavemetli, iyi şekil alabilen çift fazlı çelikler (Örneğin DP 6000 ve üzeri) kullanılmaktadır.

Günümüzde araçlarda enerji tüketimini düşürmek amacıyla araç hafifletme üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Hafifletme için çalışılabilecek en uygun araç bileşenleri arasında şasiler gelmektedir. Alüminyum alaşımlı şasi üretimi için bazı firmaların çalışmalar yaptığı bilinmektedir. Hatta, Tesla marka elektrikli araçların şasileri neredeyse tamamen alüminyum alaşımlı malzemelerden üretilmektedir. Alüminyum alaşımı olarak ise otomotiv sektöründe genellikle 5000, 6000 serisi alüminyum alaşımlar tercih edilir. Ancak, bir yapının mekanik davranışına sadece malzeme özellikleri etki etmez. O yapının kesit geometrileri ve boyutları da çok önemli parametreler arasındadır. Dolayısıyla tasarım yapılırken sadece malzeme özellikleri baz alınmamalıdır.

Malzeme seçimi yapılırken bir diğer önemli nokta da üretim yöntemine göre malzeme seçmektir. Kaynaklı imalatla üretilen bir şasi tasarımı yapılıyorsa kaynak kabiliyeti yüksek S235JR, S355 vb. tercih edilmelidir. Monokok şasilerin üretiminde ise çok fazla pres operasyonu bulunmaktadır. Dolayısıyla şekil değiştirme kabiliyeti (Yüksek birim şekil değiştirme oranlarına herhangi bir çatlak veya yırtılma olmadan çıkabilen) yüksek bir malzeme seçimi yapılmalıdır. Bunun yanısıra akma mukavemeti yüksek bir malzeme seçimi, geliştirilen yapının kullanım esnasındaki mukavemet emniyetinin yüksek olması bakımından önemlidir.

2.1.4.Şasi Üretim Yöntemleri

Şasilerde kullanım alanına göre istenilen özellikler farklılıklar gösterebilir. Bir otomobil şasisi için rijit bir yapı istenir. Kamyon gibi ağır vasıtaların belirli yerlerin esnek bağlantı olması beklenebilir. Esnek bağlantı olması beklenen yerlerde civata ve perçin bağlantıları tercih edilebilir.

Rijit bir yapı elde etmek için eğilme ve burulma mukavemetini artırıcı bölgesel parça ve ekler yapılması gerekir. Bunun için çoğunlukla kaynakla birleştirme yöntemi tercih edilir. Monokok şasilerde genelde 1 mm'nin altında ince saclar kullanıldığı için uzun kaynaklar çok fazla tercih edilmez. Dolayısıyla hem üretiminin basit olması hem de malzeme üzerine fazla ısı girdisi oluşturup parçada artık gerilmelerin önlenmesi amacıyla nokta (punta) kaynağı tercih edilir. İnce saclar (kalınlığı 1 mm'den düşük) kullanılarak mukavemetli bir yapı elde etmek kolay değildir. Bu amaçla, saclara preslerde form verilir. Bu formun amacı ince saclardan üretilen parçanın kesit atalet momentlerini yükselterek parçanın eğilme ve burulma rijitliklerini artırmaktır. Ayrıca, form verme esnasında dislokasyon hareketlerine müsaade edilmesi nedeniyle malzemede pekleşme oluşmaktadır. Bu esnada, iç yapısındaki tanelerin hareketlerinin kısıtlanması nedeniyle de malzemede bir mukavemet artışı oluşmaktadır.



Şekil 2.7. Bir monokok gövde üretim görüntüsü (Anonim 2020)

Şekil 2.7’de bir araca ait kapının robotlarla punta kaynaklarının yapılma anına ait bir görüntü verilmektedir. Günümüzde üretimde verimliliğin ve insan gücü kullanımının azaltılması yönünde birçok çalışmalar yapılmaktadır. Endüstride hem hassasiyetin hem de üretimin verimliliğinin artırılması amacıyla seri üretimin olduğu yerlerde robotlarla imalat tercih edilir.

Ancak üretim adetleri çok yüksek olmayan ürünlerde robot kullanımı çok maliyetli bir iş olduğundan pek tercih edilmez.

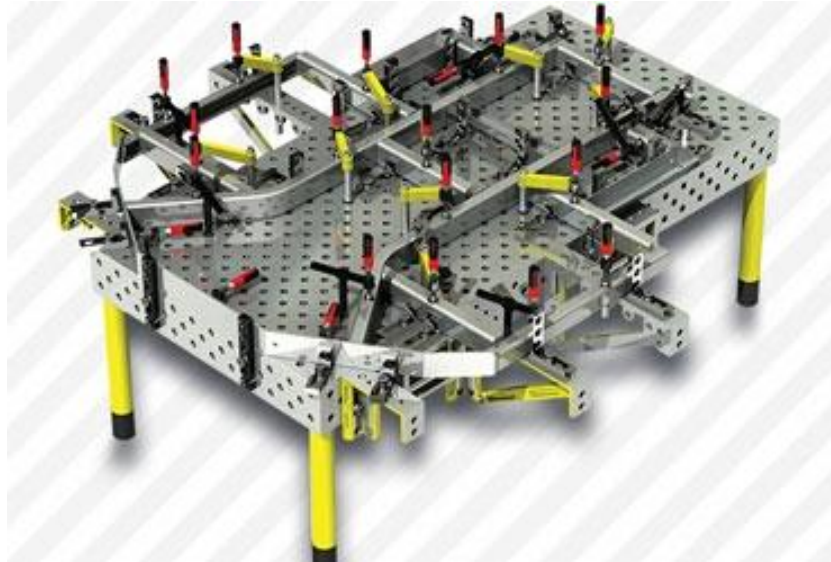
Kutu kesit veya U kesitli profiller ile şasilerin üretim yöntemi biraz daha farklıdır. Kutu profillere form verilmek istenirse büküm makineleri kullanılır. Şekil 2.8’de bir profil büküm makinesinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.8. Boru ve profil büküm makinesi

U kesitli yapılar üretmek için iki yöntem vardır. U şeklinde üretilmiş NPU adıyla bilinen profiller kullanılabilir veya düz bir sacın preste bükülerek U formu verilmesiyle üretilebilir. Eğer U profilin boyutu büyük ise abkant preste form vermek maliyet açısından çok daha uygun olacaktır.

Kaynak için hazır hale getirilen ana taşıyıcı ve yan bağlantılar, bir kaynak fikstürü kullanılarak kaynatılabilir. Şekil 2.9’da örnek bir kaynak fikstürü gösterilmiştir. Kaynak fikstürü kullanılmasının amacı tasarım ölçülerini yakalayabilmek ve kaynak sırasında oluşabilecek gerilmelerin neden olacağı ölçüsel sapmalara engel olmaktır.



Şekil 2.9. Kaynak fikstürü (Anonim 2020)

Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra şasi üzerinde kaynak sonucu oluşan cüruf ve çapaklar tesviye edilir. Tesviye işleminin tamamlanmasının ardından korozyon dayanımının artırılması için şasi üzerine farklı boya ve kaplama işlemleri uygulanır. Genellikle astar, kataforez, elektrostatik boya yapılarak korozyon ömrü sağlanır. Araç şasi parçalarında korozyon ömrü 1000 saatlik bir tuz testi sonucunda parça üzerindeki pas oluşumu kontrol edilerek test edilir.

2.2.Süspansiyon Sistemi

Süspansiyon sistemi aracın en önemli sistemlerinden birisidir. Aracın, yolda maruz kaldığı titreşimlerin gövdeye gelmeden sönmelenmesi işlevini görür. Ayrıca aracın zemin ile bağlantısının kopmamasını sağlar. Aracın viraj alma sırasında büyük bir rol alır ve aracın yol ile olan temasını sabit tutar.

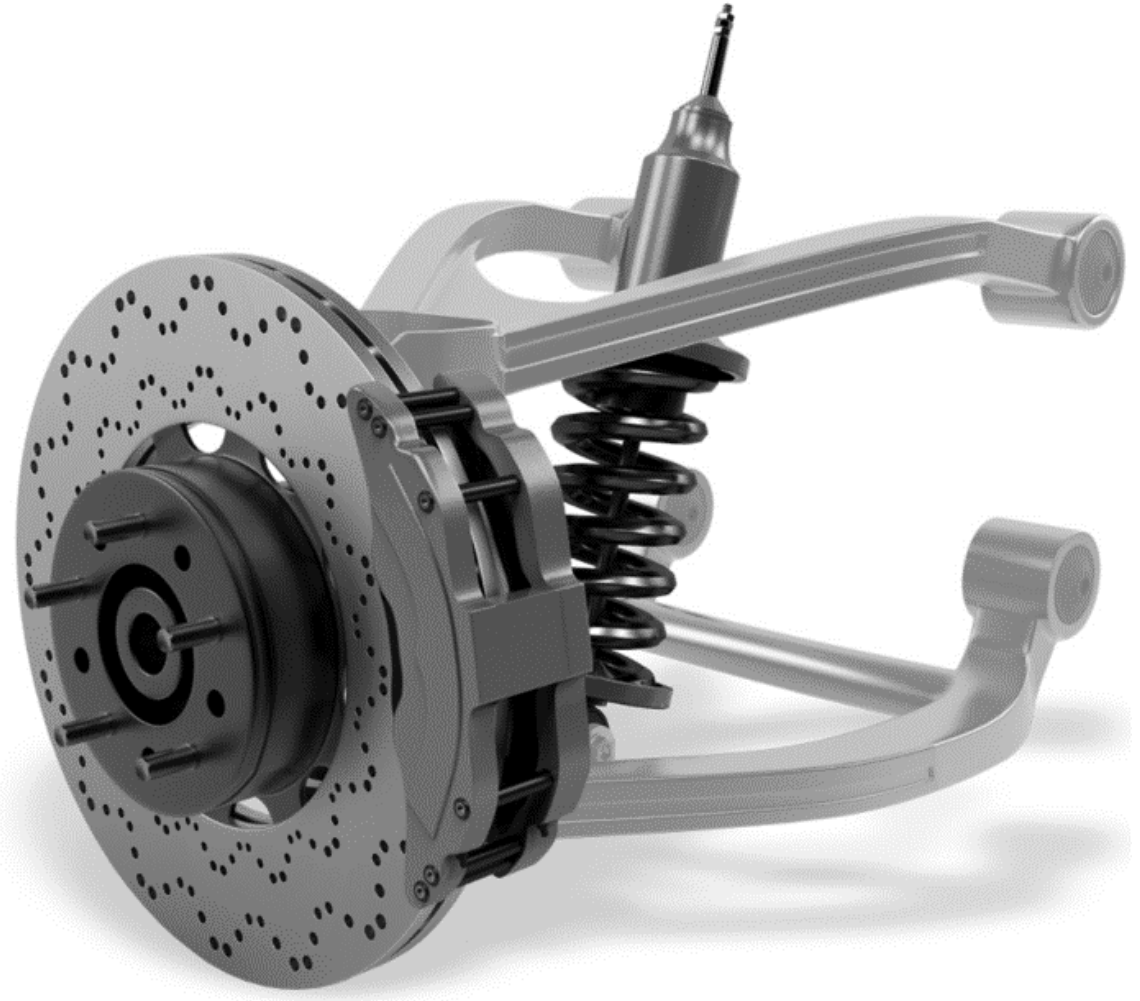
2.2.1. Süspansiyon Tipleri

Süspansiyon tipleri araçlardan beklenen özelliklere göre farklı tasarımlara sahip olabilir temel bazda iki sınıfa ayrılabilir;

- Bağımsız süspansiyon
 - Doublewishbone
 - Mcpherson
- Rijit süspansiyon

a. Double Wishbone Süspansiyon Sistemi

Bu tip süspansiyon sistemleri içerisinde iki adet salıncak kolu içerir. Şekil 2.10'da örnek bir görsel verilmiştir. Çift salıncak süspansiyon sistemi olarakta anılır. Amortisör için yer problemi bu tip süspansiyonlarda pek ortaya çıkmaz. Ayrıca salıncak kollarının birbirine göre uzunlukları değiştirilerek aracın viraj alma esnasındaki kararlılığını artırmada oldukça işe yarar. Genelde hafif ticari araçlarda kullanılır.



Şekil 2.10. Bir Double Wishbone süspansiyon sistemi görüntüsü (Anonim 2020)

b. Mcpherson Süspansiyon Sistemi

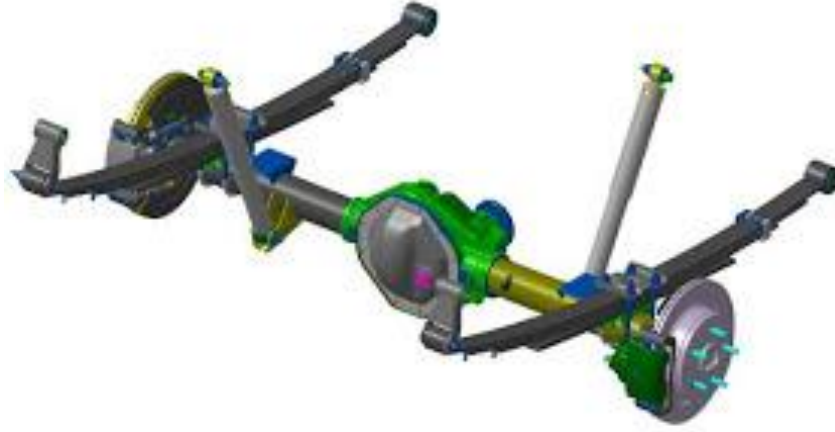
Tek salıncak kolu içeren süspansiyon sistemidir. Şekil 2.11’de görülmektedir. Montajı için geniş bir boşluğa ihtiyaç duyulur. Kamber açısı değişimi bu süspansiyonda azdır. Amortisörün yanal kuvvetlerden etkilenip ömrünün kısalması için tasarımda yerleşim açıları büyük önem taşır.



Şekil 2.11. Mcpherson süspansiyon sisteminin bir örneği (Anonim 2020)

c. Rijit Aks

İçerisinde yaprak yaylar ve şok emiciler içeren süspansiyon sistemleridir. Genellikle ağır vasıta veya ticari araçlar da kullanılır. Yapı gereği süspansiyonun bir taraftaki hareketi diğer tarafı doğrudan etkileyerek aynı hareketi yapmasını sağlar. Şekil 2.12’de yaprak yaylarla oluşturulmuş bir süspansiyon sistemi görülmektedir.



Şekil 2.12. Bir rijit aks örneği (Anonim 2020)

2.2.2. Süspansiyon Elemanları

Süspansiyon sistemi genel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Salıncak kolu
- Şok emici
- Yaprak yay
- Helisel yay
- Burçlar

Bu bileşenlerin tamamı her süspansiyon sisteminde bulunmayabilir. Süspansiyon yapısına göre yukarıdaki elemanlardan bazıları bir araya gelerek süspansiyon sistemini oluştururlar.

a. Salıncak Kolu

Salıncak kolu, bir aracın tekerleklerin aşağı yukarı hareketi esnasında düşey yönde salınım hareketi yaparak araç dengesinin korunmasına yardımcı olur. Araç yolda hareket esnasında her türlü kuvvete maruz kalabilir. Ancak yoldaki düzensizliklerden dolayı sürekli olarak düşey yönde bir kuvvet gelir. Bu kuvvetin etkisiyle de sürekli bir salınım maruz kalır. Bu salınımın direkt olarak etkilediği eleman ise salıncak koludur. Dolayısıyla salıncak kolu için maruz kaldığı tekrarlı yüklemeye dolayı yorulmaya maruz kaldığı söylenebilir. Salıncak kolları araçtan araca, hem malzeme hem de üretim

yöntemleri açısından farklılık gösterebilir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan üretim yöntemleri; döküm, pres ve kaynak yöntemleri kullanılarak üretim olarak söylenebilir. Döküm ile üretim yapıldıktan sonra bağlantı deliklerinin ve bağlantı yüzeylerinin hassas ölçülere getirilebilmesi için talaşlı imalat yöntemine başvurulur. Döküm yönteminde ise genellikle küresel grafitli dökme demir kullanımı tercih edilir. Bunun sebebi ise malzemenin talaşlı imalata uygun olmasıdır. Ayrıca yeni nesil araçlarda aracın ağırlığını hafifletmeye yönelik yapılan çalışmalar da salıncak kollarının basınçlı döküm (Alüminyum enjeksiyon) yöntemi ile alüminyum alaşımından imal edildiği görülebilmektedir. Pres ve kaynak yöntemi kullanılarak yapılan üretimlerde ise, sac parçalar kullanılır. Kullanılan sac parça çalışma doğrultusunda gelen yüklere karşı mukavim olması amacıyla özel formlar verilir.

Sac parçalara form verildikten sonra iki sac parçanın birbirine kaynak ile birleştirilmesi sonucu salıncak kolu oluşturulur. Pres ve kaynak yöntemi çok fazla operasyon gerektirmesi nedeniyle ilk yatırım maliyeti yüksektir. Şekil 2.13’de döküm salıncak kolu örneği görülmektedir.



Şekil 2.13. Alüminyum ve döküm salıncak kolu örneği (Anonim 2020)

b. Şok Emici

Şok emicinin temel görevi yoldan gelen titreşimleri sönmülemektir (Şekil 14). Araçta şok emicinin olmaması aracın rezonansa girmesine sebep olabilir. Şok emiciler genelde yağın kapalı bir hacim içerisinde yağın düşük kesitli deliklerden geçmeye zorlanması ile oluşan viskoz sürtünme ile gelen kuvvetleri sönmümlerler. Şok emiciler yay ileri geri dönüş hareketini kontrollü bir şekilde sağlar ve araç konforunu artırır. Araçta şok emicileri seçerken dikkat edilmesi gereken en önemli parametre sönmüm sabitidir. Araçta

kullanılacak şok emici eleman özelliklerini belirlerken dikkat edilmesi gereken en önemli parametre sönüm sabitidir. Sönüm sabiti aracın ağırlığına, süspansiyondan istenilen özelliklere göre ve yay katsayısıyla uyumlu olacak şekilde belirlenir.



Şekil 2.14. Şok emici (amortisör) örneği (Anonim 2020)

c.Yaprak Yay

Haddelenmiş lamalara parabolik form verilir ve üst üste lamaların birleştirilmesiyle elde edilen yay tipidir. Sürüş esnasında gelen kuvvetleri kısmen sönümleyebilen yay sistemleridir. Araçlarda genellikle, şok emiciyle beraber kullanılmaktadır. Tasarım esnasında aracın ağırlığını karşılayacak şekilde yay sabiti belirlenmelidir. Yay sabitini karşılayacak şekilde lama kalınlığı ve yaprak sayısı belirlenir. Ağır vasıta ve ticari araçlarda tercih edilir.



Şekil 2.15. Yaprak yay örneği (Anonim 2020)

d. Helisel Yay

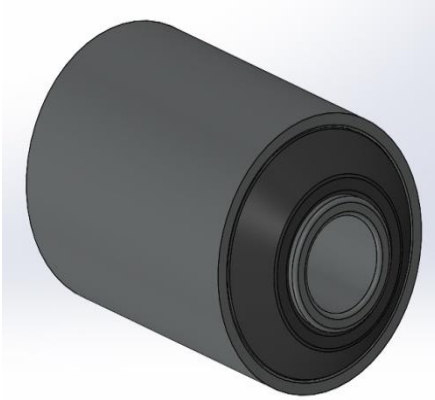
Yaylar üzerinde potansiyel enerji depolayan, süspansiyon sisteminin elemanlarıdır. Helisel yaylar adını sarım şeklinden alır. Özel tellerin sarılmasıyla oluşturulurlar. Bu sarım yöntemi en ilkel olarak torna tezgahına bir milin üzerine telin sarılmasıyla yapılır. Gelişen teknoloji ile yay üretimine dönük mekanik veya elektronik tam otomatik makineler ortaya çıkmıştır. Bir araç için yay seçimi çok önemlidir. Araç ağırlığına ve gelen kuvvetlere göre yay sabiti belirlenir. Belirlenen yay sabitinin şok emicinin sönüm sabiti ile uyumlu olması gerekmektedir. Sönüm sabiti ve yay sabitinin birbirlerine göre durumları hareketin karakteristiğini belirler. Hareket kritik sönümlü, aşırı sönümlü, zayıf sönümlü olarak gruplandırılabilir. Helisel yay tasarımı yapılırken aracın süspansiyonundan istenilen deplasman, konfor ve beklenen araç tepkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 2.16'da bir helisel yay örneği gösterilmiştir.



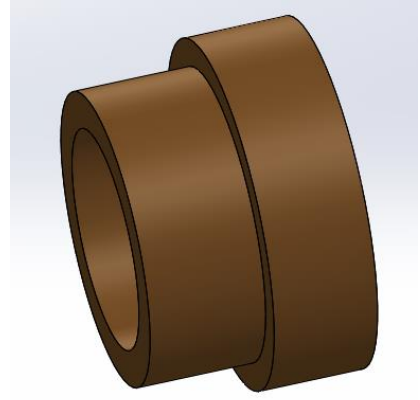
Şekil 2.16. Helisel yay örneği (Anonim 2020)

e. Burçlar

Burçlar, süspansiyon sisteminin bileşen bağlantılarında kullanılır. Kullanım amaçları arasında çalışma eksenleri dışında gelen yükleri azaltarak aktarmak vardır. Bu tip burçlar kauçuk esaslı olurlar (Şekil 2.17). Burçların başka bir tipi ise tozların sinterlenmesiyle elde edilen, düşük sürtünme katsayılı malzemelerden elde edilmiş olup, dönen parçaları yataklamakta kullanılır. Bu tip burçlarda aynı zamanda da aşınma direnci de yüksektir.



Şekil 2.17. Kauçuk salıncak burcu



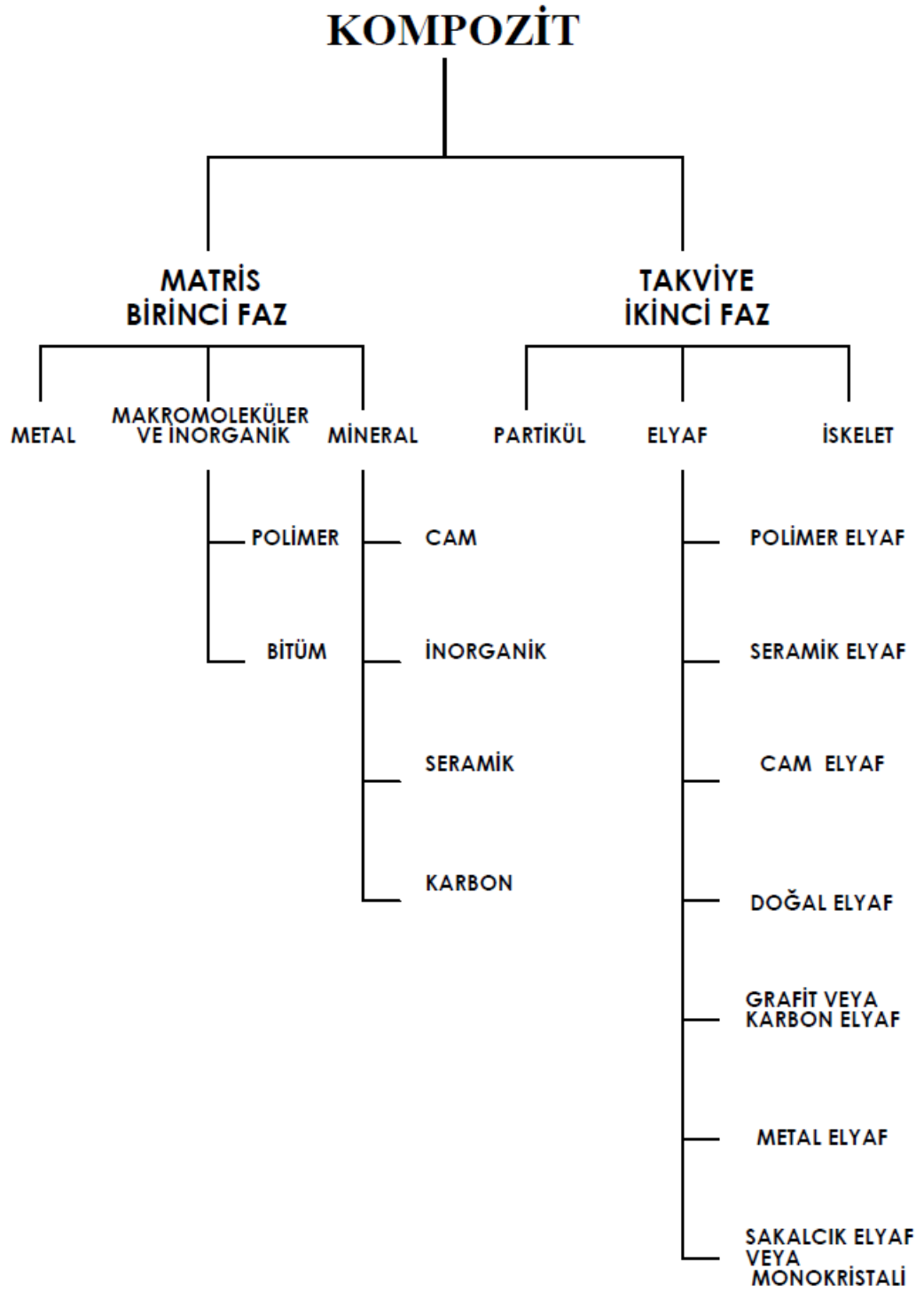
Şekil 2.18. Sinter yatak burcu

2.3.Kompozit Malzemeler

En az iki bileşenin makro seviyede bir araya getirilmesiyle elde edilen malzemelere kompozit malzemeler denmektedir. Bu iki bileşenden biri matris malzemesi diğeri ise takviye malzemesi olarak isimlendirilmektedir. Matris malzemesi için sürekli faz, takviye malzemesi için süreksiz faz tanımlamaları da yapılabilir. Matris malzemesi takviye malzemelerini bir arada tutma ve fonksiyonlarını yerine getirmelerini sağlamaktadır. Takviye malzemesi ise hedeflenen özelliği elde etmek adına katkı olarak kullanılan malzemelerdir. Matris malzemesi olarak polimer malzemelerin ve takviye olarakda yüksek mukavemetli elyafların kullanıldığı, Elyaf Takviyeli Polimer Kompozitler sağladığı yüksek özgül mukavemet ve özgül rijitlik özellikleri ile günümüzün en popüler malzemesi olmuştur. Düşük yoğunlukta yüksek mukavemet ve rijitliğin dışında; korozyon direnci, elektriksel yalıtkanlık, düşük ısı iletkenliği, ısıl direnç, üretim ve tamir kolaylığı gibi avantajları, kompozit malzemeleri tercih edilen malzemeler haline getirmiştir. Bu özelliklerinden dolayı savunma sanayi, otomotiv, havacılık sektörü, kimya sektörü vb. birçok alanda uygulamaları görülmektedir.

➤ Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin birçok sınıflandırma şekli mevcuttur. Matris malzemeleri ve takviye malzemelerine göre yapılan sınıflandırmalar en çok tercih edilenidir. Takviye malzemelerinin geometrilerine göre yapılan sınıflandırmada elyaf veya partikül takviyesi olarak ana iki sınıf ortaya çıkmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitler ise sürekli ve kısa elyaf olarak ikiye ayrılmaktadır. Takviye malzemenin geometrisi, kompozit malzemenin üretimini ve özelliklerini belirler. Sunulan Yüksek Lisans tezinde sürekli elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler üzerinde çalışılmıştır. Bu nedenle Şekil 2.19'da verilen sınıflandırma çizelgesinde diğeri tiplerin detaylarına girilmemiştir.



Şekil 2.19. Kompozit malzemelerin sınıflandırma şeması

➤ **Matris Malzemeleri**

İkinci faz için ana gövde görevini üstlenir. Aynı zamanda kompozit malzemenin şeklini matris malzeme belirler ve parçayı dış etkenlerden korur. Matris malzemeleri üç bölüme ayırmak mümkündür.

Metal matris malzemeler için alüminyum, magnezyum, titanyum, gümüş, bakır sayılabilir. Kompozit malzemedan elektrik iletkenliği isteniyorsa bakır ve gümüş tercih edilebilir. Metal matris tercih edilme sebebi termal iletkenlik, aşınma direncini artırmalarıdır.

Matris malzeme olarak en yaygın kullanılan sınıf polimerlerdir. Polimerler de kendi içerisinde termoplastik, termoset ve elastomerler olarak ayrılır. Termosetler en yaygın olarak kullanılan matris malzemedir ancak geri dönüşümünün olmaması bir dezavantaj olarak gösterebilir. Termoplastikler ise termosetlerin aksini geri dönüşümü olan malzemelerdir.

a. Termoplastik Kompozitler

Malzemeye ısı verilerek bir kalıp içerisinde basınç altında istenilen şekil verilebilir. Termoplastik kompozitler yapısal olarak polimerdir. Termoplastikler moleküllerin birbirine doğrusal bağlanmasıyla oluşur. Termoplastikler yaklaşık 1 g/cm^3 yoğunluğa sahip olması ağırlık açısından büyük avantaj sağlamaktadır.

Termoplastik kompozitleri iki gruba ayırmak mümkündür.

- a) Mühendislik termoplastikleri
- b) Yüksek performanslı termoplastikler

Termoplastik matris malzemelerinden en çok kullanılanlara örnekler aşağıda verilmiştir.

- a) Asetol reçineler
- b) Akrilikler
- c) Selilozik
- d) Florokarbon
- e) İzosiyonatlar
- f) Poliamidler

- g) Poliefinler
- h) Stiren (polistren)
- i) Vinil
- j) Polikarbonat
- k)PEEK(Polieter Eter Keton)

Termoplastik malzemeler, birçok fiziksel ve kimyasal üstün özelliklerinin yanında geri dönüşürebilir olmaları nedeniyle ön plana çıkmaktadır.

a) Yüksek Performanslı Termoplastikler

Yüksek performanslı termoplastikler yüksek mukavemet, elektriksel yalıtkan ve hafif olmaları sebebiyle havacılık ve uzay sanayisinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu sınıftaki kompozit tabakalarının birbiri üzerinde kayması darbeyi absorbe etmesini sağlar. Bu yüzden tercih sebebi olmaktadır. Çizelge 2.1'de yüksek performans termoplastiklerinin bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yüksek performans plastiklerin bazı özellikleri (Özer, 2015)

MALZEME	YOĞUNLUK (g/cm ³)	ÇEKME DAYANIMI (Mpa)	DARBE DAYANIMI (izod, J/m)
Polietilen (yüksek yoğunluk)	0,95-0,96	20-37,2	21,35-747,3
Polietilen (düşük yoğunluk)	0,952-0,93	51,7-62,1	
Bükülmez PVC	1,49-1,58	33-38	53,38-298,9
PP	0,9-0,91	69-82,8	21,35-117,4
Stirenakrilonitril	1,08	40,7	21,35-26,69
ABS	1,05-1,07	75,9	320,28
Akrilik	1,11-1,19	20,7-55,2	122,7
Selüloz,asetat	1,2-1,3	6,9-27,6	133,45-213,52
Plitetrafloretilen	2,1-2,3	62,1-82,8	64,05-362,98

b)Mühendislik Termoplastikleri

Endüstride mevcut kullanılan seramik veya metallerin yerini alabilecek materyaller denilebilir. Mekanik özelliklerinin iyi olması, işlenebilirlik, kimyasal direnç ve aşınma direnci gibi özellikler bu kompozitleri tercih sebebi kılar. Çizelge 2.2’de mühendislik termoplastiklerine ait bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Mühendislik amaçlı bazı plastiklerin özellikleri (Özer, 2015)

MALZEME	YOĞUNLUK (g/cm ³)	ÇEKME DAYANIMI(Mpa)	DARBE DAYANIMI (izod, J/m)
Naylon 6.6	1,13-1,15	69	106,76
Poliasetat	1,42	62,1	74,73
Polyester(PET)	1,37	71,7	42,7
Polyester(PBT)	1,31	55,2-56,5	64,05-69,39
Polifenilen oksit	1,06-1,10	53,8-66,2	266,9
Polisülfon	1,24	70,3	64,05
Poliefenilen sülfür	1,34	69	16,01

Çizelge 2.3' de termoplastik reçinelerin erime sıcaklığı ve işlem yapılabilecek maksimum sıcaklıkları verilmiştir. Bazı termoplastiklerin yüksek sıcaklıklara dayanabildiği Çizelge 2.3'de görülmektedir. Bu durum termoplastiklerin ısının yüksek olduğu yerlerde kullanımına olanak sağlamaktadır.

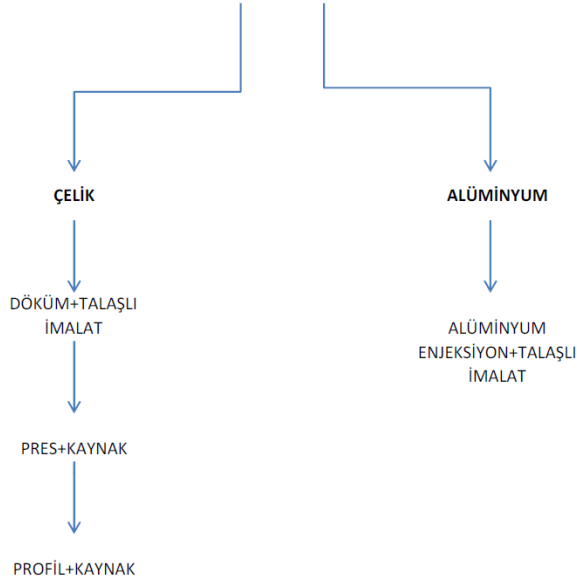
Çizelge 2.3.Termoplastik reçineler erime ve işlem sıcaklıkları (Özer, 2015)

MALZEME	ERİME SICAKLIĞI ARALIĞI (°C)	MAKSİMUM İŞLEM SICAKLIĞI (°C)
PP	160-190	110
PA	220-270	170
PES-Polie Eten Sülfon	-	180
PEI-Polietirimid	-	170
PAI-Poliamid İmide	-	230
PPS-Polfenilen Sülfid	290-340	240
PEEK-Poliester Eter Keton	350-390	250

2.4.Salıncak Kolu Üretim Yöntemleri

Salıncak kolları geleneksel olarak malzeme türlerine göre aşağıdaki yöntemlerle üretilir. Şekil 2.20’de üretim yöntemleri şeması verilmiştir.

SALINCAK KOLU



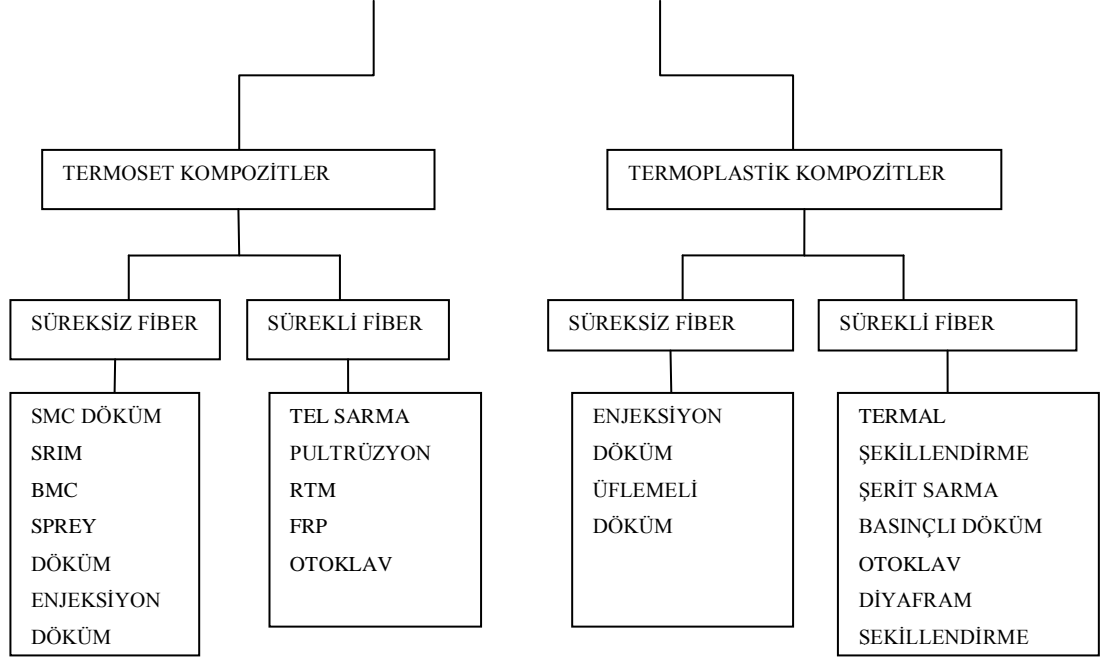
Şekil 2.20. Salıncak kolu üretim yöntemleri şeması

Çelik malzemeler kullanılarak üretilen salıncak kollarında en yaygın olarak döküm ve pres, kaynak yöntemleri görülür. Döküm salıncak kollarında, genellikle küresel grafitli dökme demir kullanılır. Brüt parçadan talaşlı imalat ile montaj bölgeleri açılır. Ardından korozyon dayanımı sağlamak amacıyla kataforez, boya vb. gibi yüzey kaplama işlemlerine tabi tutulur. Pres, kaynak yönteminde ise sac parçalara form verilere mukavim bir yapı elde edilir. Genellikle iki formlu sacın birbirine nokta kaynak ile birleştirilmesiyle oluşur. Bu yöntemde çok fazla pres kalıbı kullanımı gerekir. Aynı şekilde korozyon dayanımı sağlamak amacıyla parça kataforez, boya vb. yüzey kaplama işlemlerine tabi tutulur. Şekil 2.20'de salıncak kolu üretim prosesleri verilmiştir.

Son zamanlarda üst sınıf araçlarda alüminyum salıncak kolları kullanıldığı gözlemlenmektedir. Alüminyum salıncak kolu genellikle enjeksiyon yöntemi ile üretilir. Kalıp geometrisi veya parça tasarımı sebebiyle bazı noktalarına talaşlı imalat gerekebilir. Çeliğe göre korozyon dayanımı yüksek olduğundan herhangi bir yüzey kaplama operasyonuna tabi tutulmaz.

2.5. KOMPOZİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ

PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ



Şekil 2.21. Kompozit malzeme üretim yöntemleri şeması

Şekil 2.21'de kompozit malzemelerin üretim yöntemleri verilmiştir.

2.5.1. SMC Döküm

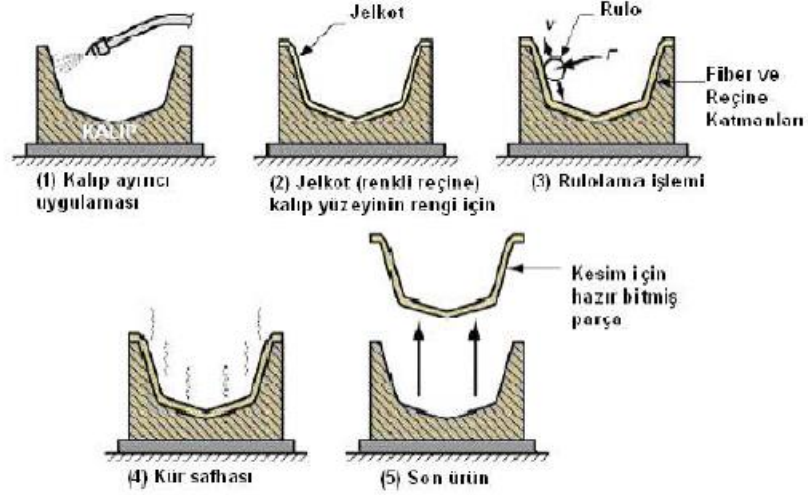
SMC (Sıcak pres kalıplama pestili) yöntemi iki aşamadan oluşan bir üretim yöntemidir. Önce cam elyaf, çeşitli kimyasallar ve polyester karıştırılarak bir pestil haline getirilir. Daha sonra özel bir prese bulunan kalıplar ısıtılır ve pestil kalıba yerleştirilir. Daha sonra basınç altında iki kapalı kalıp arasında belirli bir süre malzeme bekletilir. Bu süre zarfında matris malzemesi kür olmakta ve çapraz bağlar oluşarak katılaşmaktadır. Üretim seri olarak yapılabilir, kalıp yatırım maliyeti yüksektir parça bazlı maliyet düşüktür. Bu yöntemde yapı içerisine çeşitli insertler, sac parçalar eklenebilir. Şekil 2.22'de örnek bir SMC döküm gösterilmiştir.



Şekil 2.22. SMC döküm üretim yöntemi görseli

2.5.2. El Yatırma Yöntemi

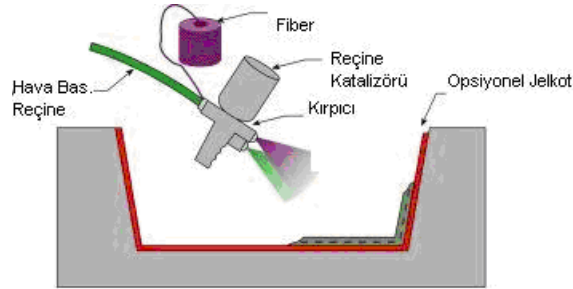
Bu yöntem için bir dişi kalıp gereklidir. Dişi bir kalıba öncelikle kalıp ayırıcı sürülür. Ardından kalıp üzerine reçine sürülür ve üzerine elyaf yerleştirilir. Fırça ve rulo yardımıyla kalıp üzerine reçine ve elyaf karışımının homojen dağılması sağlanır (Şekil 2.23). Reçinenin yetersiz kaldığı yerlerde reçine eklenerek rulo ile elyaf veya kumaşa emdirilmeye devam edilir. İstenen mukavemete göre katman sayısı değişkenlik gösterir. En önemli dezavantajı el işçiliğine fazla bağlı olmasıdır. Yapı içerisinde hava boşluğu kalması mukavemeti olumsuz yönde etkileyen en büyük parametredir.



Şekil 2.23. El yatırma yöntemi görseli (Yeşil, 2019)

2.5.3. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme ile kalıplama yönteminin el yatırması yönteminden farkı, reçine ve fiberin spreyle kalıba püskürtülmesidir (Şekil 2.24). Dışı bir kalıp yüzeyine kalıp ayırıcı sürülür. Çift nozullu tabanca ile fiber ve reçine ve kalıp yüzeyine püskürtülür. Püskürtme sırasında nozul sistematığı etkileyen önemli parametrelerdendir. El yatırması yöntemine göre daha kolay ve tasarruflu bir yöntem olduğu söylenebilir.



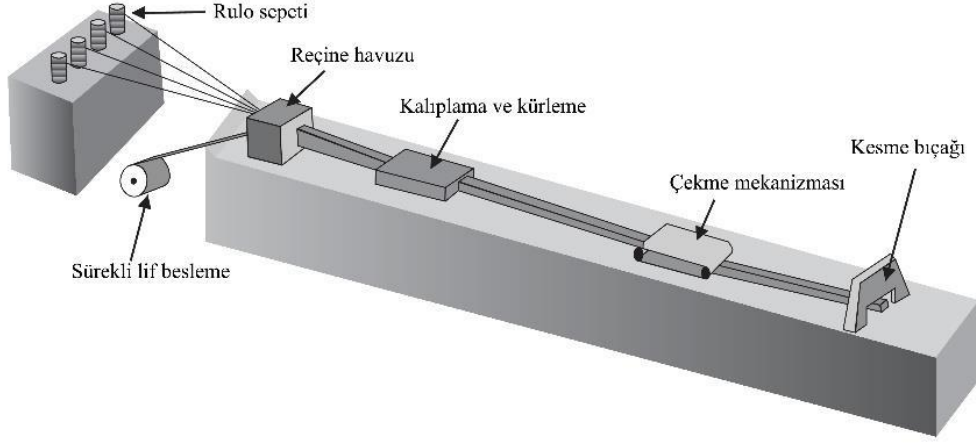
Şekil 2.24. Sprey döküm görseli (Akbulut, 2018)

2.5.4. Enjeksiyon Döküm

Polimer granüller ile elyaf parçacıkları karıştırılır (Şekil 2.25). Daha sonra vidalı mil ile ısıtma bölümüne itilir. Burada ısıtılan polimer elyaf karışımı kalıp arasına itilir. Kalıp içerisinde malzeme katılaşıncaya kadar soğuduktan sonra kalıp açılır ve parça çıkartılır.

2.5.6. Pultrüzyon

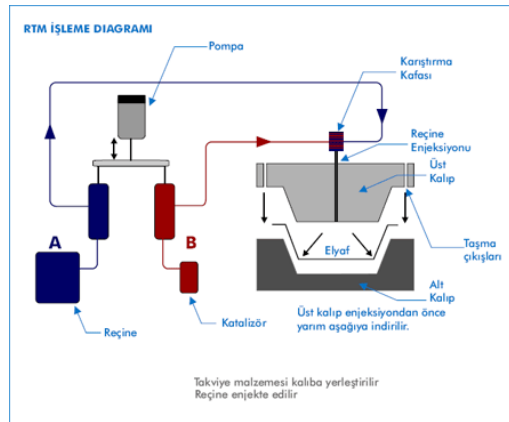
Takviye malzemesi bir reçine banyosundan geçirilir. Isıtılan kalıp içerisinde geçen malzeme şeklini almış olur (Şekil 2.27). Basit geometriye sahip malzemeler için uygun bir yöntemdir.



Şekil 2.27. Pultrüzyon yöntemi görseli (Zorer, 2019)

2.5.7. Reçine Transfer Kalıplama (RTM) Yöntemi

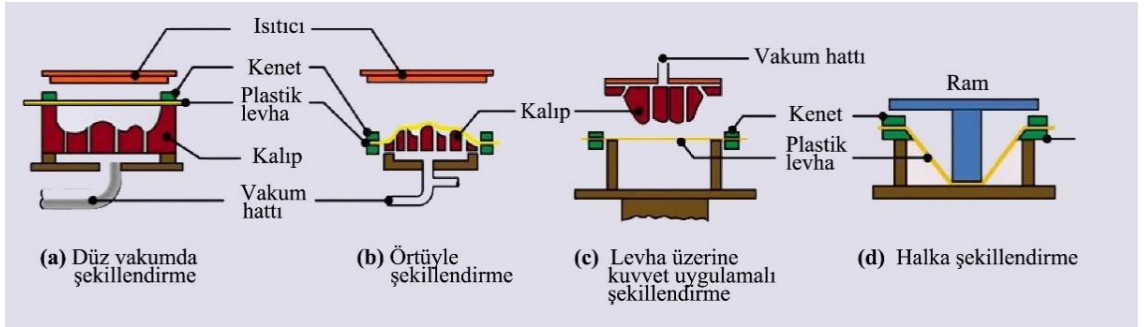
Erkek ve dişi kalıp kullanılarak uygulanan bir yöntemdir. Öncelikle, kalıp içerisine elyaf yerleştirilir. Daha sonra kalıp kapatılır ve içerisine basınç yardımıyla reçine aktarılır (Şekil 2.28). Belirli bir süre sonra kalıp açılır ve parça çıkartılır. Yöntemin en büyük özelliği her iki yüzeyi temiz parça üretebilmektir.



Şekil 2.28. RTM yöntemi görseli (Özer, 2015)

2.5.8. Isıl Şekillendirme

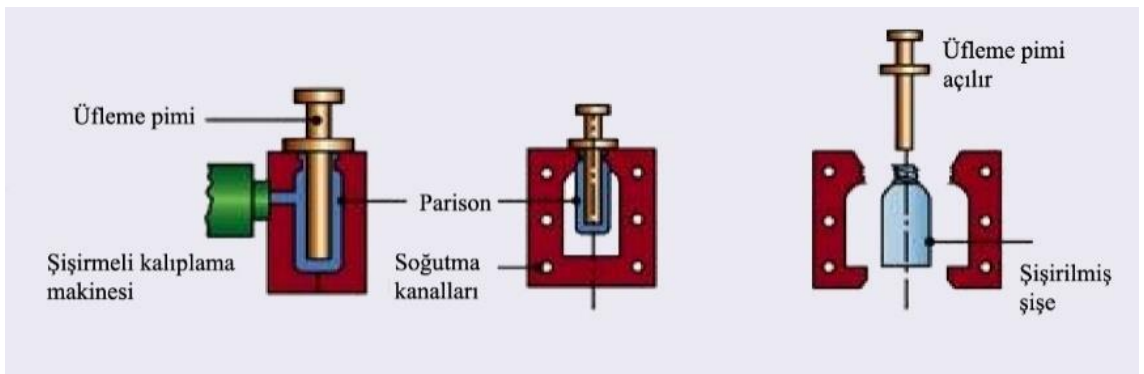
Isı ile şekillendirme yönteminde vakum ve ısı kullanılır. Dişi veya erkek kalıp kullanılan yöntemde, plastik levha ısıtılır ve şekil değiştirme sıcaklığına ulaştığında kalıp üzerine vakum ile çekilir (Şekil 2.29). Vakumlanan levha belirli bir süre bekletildikten sonra vakum bırakılır ve parça kalıp üzerinden alınır.



Şekil 2.29. Isıl şekillendirme yöntemi görseli (Zorer, 2019)

2.5.9. Şişirme Kalıplama

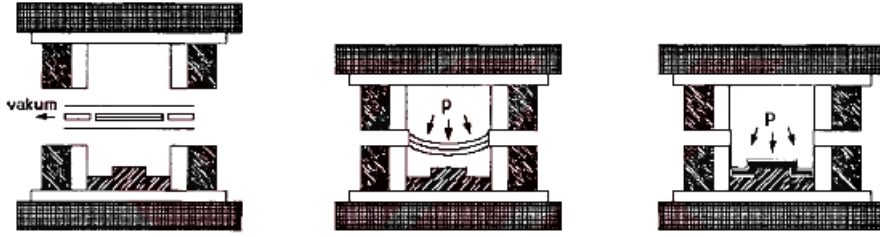
Bidon, şişe vb. içi boş parçaların üretiminde kullanılan yöntemdir. Erkek ve dişi kalıp içerisine malzeme üflenerek kalıp duvarlarına yapışması sağlanır. Kalıp duvarlarına malzeme yapışır ve soğuması için bir süre beklenir. Daha sonra kalıp açılır ve malzeme çıkartılır. Şekil 2.30'da şişirme kalıplama ile parça üretimi görsel olarak anlatılmaktadır.



Şekil 2.30. Şişirme kalıplama üretim yöntemi (Zorer, 2019)

2.5.10. Diyaframlı Şekillendirme

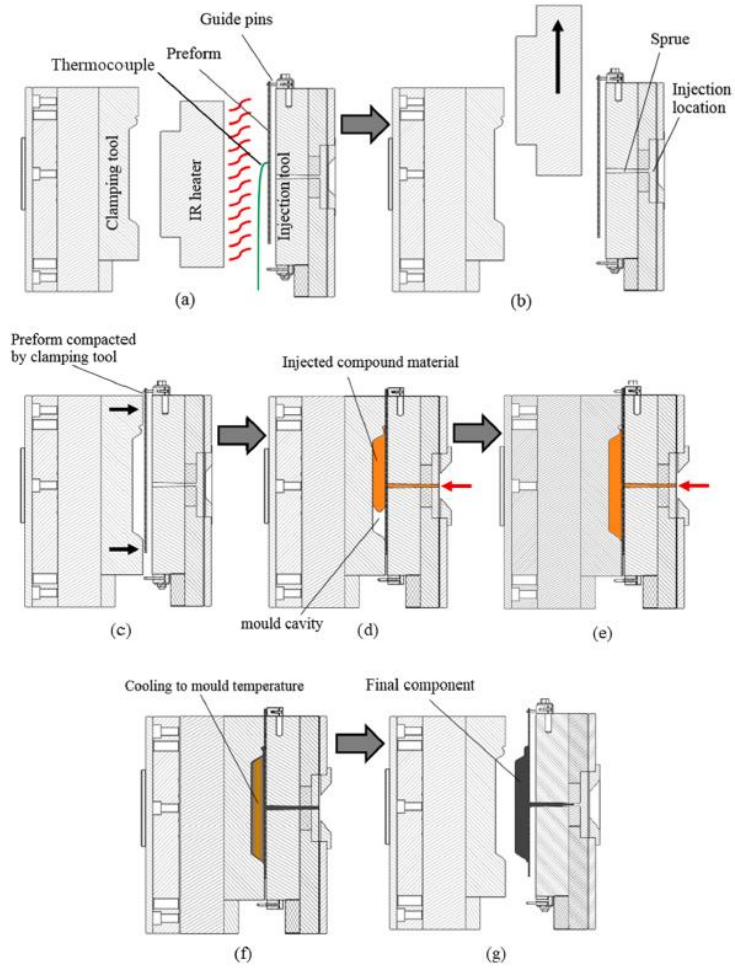
Bu yöntemde vakum ve pnömatik basınç kullanılır. İş parçası ve diyaframlar ısıtılır ve kalıp arasında hava ile sıkıştırılır, bu sırada oluşabilecek gaz boşluğunu önlemek için vakum yapılır. Daha sonra kalıp arasında parça belirli bir süre bekletilir ve işlem tamamlanır. Şekil 2.31’de görsel bir anlatımla diyafram kalıplama yöntemi ile parça üretimi gösterilmektedir.



Şekil 2.31. Diyaframlı şekillendirme görseli (Güleşen, 2005)

2.5.11. Üzerine Enjeksiyon Kalıplama

Bu yöntemde bir erkek bir dişi kalıp kullanılır. Plastik enjeksiyon kalıplama sistemine uygun kalıp tasarımı yapılır. Şekil 2.32.'de lamine film belirli sıcaklık ve belirli süre altında ısıtılır daha sonra ısıtıcı ayrılır. Kalıp kapatılır ve bileşik malzeme kalıp içerisine enjekte edilir. Parçanın kalıp içerisinde bir süre soğuması beklenir. Son olarak kalıp açılır ve parça çıkartılır.



Şekil 2.32. Üzerine enjeksiyon kalıplama yöntemi görseli (Valverde, 2020)

2.6 Kompozit Malzeme Mekanîği

Bu bölümde kompozit malzemeleri oluşturan bileşenlerin, hacim, kütle oranları ve boşluk miktarlarıyla alakalı teorik bilgiler verilmiştir.

2.6.1. Hacim Oranı

Fiber matristen oluşan bir kompozit aşağıdaki sembollerle ifade edilsin (Kaw 2006).

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \quad (2.1a)$$

$$V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (2.1b)$$

Denklem 2.1a ve 2.1b'de geçen iki ifadede bulunan sembollerin anlamları aşağıda verilmektedir:

v_c =Kompozit hacmi

v_f =Fiber hacim

v_m =Matris hacmi

V_m =Matris hacim oranı

V_f =Fiber hacim oranı

Elyaf ve matris hacimsel oranları arasında aşağıdaki bağıntılar bulunmaktadır;

$$V_f + V_m = 1 \quad (2.1c)$$

Denklem (2.1)'den

$$V_f + V_m = V_c \quad (2.1d)$$

2.6.2. Kütle Oranı

Kompozit mekanik özellikler tanımlanırken kütle oran kavramlarından yararlanır. Buna göre,

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} \quad (2.2a)$$

$$W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad (2.2b)$$

Bu iki ifade elyaf ve matris kütle oranlarını vermektedir. Bu ifade de geçen semboller,

w_f =Fiber kütlesi

w_c =Kompozit kütlesi

w_m =Matris kütlesi

W_f =Fiber kütle oranı

W_m =Matris kütle oranı

şeklinde tanımlanır. Elyaf ve matris kütle oranları arasında aşağıda verilen bağıntılar mevcuttur.

Kütle oranları toplamı;

$$W_f + W_m = 1$$

Denklem (2.2)'den

$$w_f + w_m = w_c$$

Tek bir malzeme yoğunluğu;

$$w_c = \rho_c v_c$$

$$w_f = \rho_f \quad (2.3)$$

denklem (2.3), denklem (2.2) de yerine konursa kütle ve hacim oranları aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$w_m = \rho_m v_m \quad (2.4a)$$

$$W_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} V_f \quad (2.4b)$$

$$W_m = \frac{\rho_m}{\rho_c} V_m \quad (2.4c)$$

Kütle ve hacim oranları, bileşen özelliği cinsinden özelliği aşağıda ifade edilmiştir.

$$W_f = \frac{\frac{\rho_f}{\rho_m} V_f}{\frac{\rho_f}{\rho_m} V_f + V_m} V_f \quad (2.5a)$$

$$W_m = \frac{1}{\frac{\rho_f}{\rho_m}(1-V_m) + V_m} V_m \quad (2.5b)$$

2.6.3. Yoğunluk

Hacimsel oranları bilinen kompozit malzemelerin yoğunluğu aşağıdaki denklemlerle bulunur (Kaw, 2006).

$$w_m + w_f = w_c \quad (2.6)$$

Denklem (2.3), denklem (2.6) da yerine yazılırsa

$$\rho_m v_m + \rho_f v_f = \rho_c v_c \quad (2.7a)$$

$$\rho_f \frac{v_f}{v_c} + \rho_m \frac{v_m}{v_c} = \rho_c \quad (2.7b)$$

Denklem (2.1) kullanılarak

$$\rho_m V_m + \rho_f V_f = \rho_c \quad (2.8)$$

Kompozit hacmi, fiber ve matris hacmi oranları toplamıdır.

$$v_f + v_m = v_c \quad (2.9)$$

Kütle oranları türünden kompozit yoğunluğu, denklem (2.10)'daki gibi tanımlanır.

$$\frac{1}{\rho_c} = \frac{w_f}{\rho_f} + \frac{w_m}{\rho_m} \quad (2.10)$$

2.6.4. Boşluk Miktarı

Kompozit malzemelerin üretimi esnasında yapı içerisinde boşluklar kalabilir. Bu boşluklar, teorik yoğunluk ile gerçek yoğunluk arasında farklar oluşmasına sebep olmaktadır. Bir diğer etkisi ise kompozit malzemenin mekanik özelliklerini düşürmektedir.

Kompozit yapılarda oluşabilecek boşluklar aşağıdaki özelliklere olumsuz etki oluşturmaktadır (Kaw, 2006).

- Kayma mukavemeti
- Enine çekme mukavemeti
- Yorulma direnci
- Basma mukavemeti
- Korozyon direnci

Kompozit yapı içerisinde meydana gelebilecek %1 boşluk yapıda %2-10 arasında dayanım kaybına neden olur (Özer, 2012).

v_v boşluk hacmine sahip kompozit için boşluk hacim oranı V_f aşağıdaki gibi ifade edilir.

$V_v =$ Boşluk hacim oranı

$$V_v = \frac{v_v}{v_c} \quad (2.11)$$

Boşluğa sahip kompozit malzemenin toplam hacmi (v_c)

$$v_c = v_m + v_f + v_v \quad (2.12)$$

Kompozit malzemenin yoğunluğu ρ_{ce} ile ifade edilirse kompozit malzemenin gerçek hacmi,

$$v_c = \frac{w_c}{\rho_{ce}} \quad (2.13)$$

Kompozit teorik yoğunluğu ρ_{ct} ile ifade edilirse kompozit malzemenin gerçek hacmi,

$$v_m + v_f = \frac{w_c}{\rho_{ct}} \quad (2.14)$$

Denklem (2.13) ve (2.14), denklem (2.12) de yerine yazılırsa

$$\frac{w_c}{\rho_{ce}} = \frac{w_c}{\rho_{ct}} + v_v,$$

boşluk hacmi aşağıdaki gibi olur.

$$v_v = \frac{w_c}{\rho_{ce}} \left(\frac{\rho_{ct} - \rho_{ce}}{\rho_{ct}} \right) \quad (2.15)$$

Denklem (2.13) ve (2.15), denklem (2.11) de yerine yazılırsa boşluk hacim oranı aşağıdaki gibi bulunur (Kaw, 2006).

$$V_v = \frac{v_v}{v_c} = \left(\frac{\rho_{ct} - \rho_{ce}}{\rho_{ct}} \right) \quad (2.16)$$

2.7. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde elastisite modülü, poisson oranı ve kayma modülü etkilidir.

2.7.1. Ortotropik Kompozit Malzemeler

Karşılıklı iki adet simetri düzlemine sahip kompozit malzemelere ortotropik kompozit malzemeler denir. Ortotropik malzemenin elastiklik modülleri (E_1, E_2) ve poisson oranları arasında $i, j=1, 2$ olmak üzere

$$\nu_{12} < \left(\frac{E_i}{E_j}\right) 0,5 \quad (2.17)$$

şartı bulunmalıdır (Tümer, 2013).

Uygunluk matrisinin simetrikliğinden dolayı majör ve minör poisson oranları arasındaki ilişki,

$$\frac{\nu_{ij}}{E_i} = \frac{\nu_{ji}}{E_j} \quad (2.18)$$

eşitliği vardır. Gerilmenin uygulandığı yöne göre poisson oranları farklılık gösterebilir. Fiber doğrultusunda uygulanan gerilme sonucu majör poisson oranı, fibere dik doğrultuda uygulanan gerilmede ise minör poisson oranı oluşur (Özer, 2012).

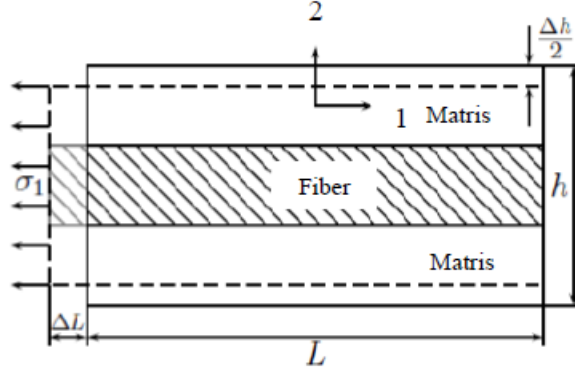
2.7.2. Kompozit Malzeme Mekanik Özelliklerinin Hesaplanması

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri karışım oranları kullanılarak hesaplanabilir. Tek doğrultuda elyaf ile takviye edilen bir laminanın elastik bölgede geçerli aşağıdaki gibi dört elastik sabiti vardır.

- E_1 : Boylamasına elastisite modülü
- E_2 : Enine elastisite modülü
- ν_{12} : Poisson oranı
- G_{12} : Kayma modülü

a. Takviye doğrultusundaki Elastisite Modülü E_1 'in Hesaplanması

Kompozit malzemeye fiber doğrultusunda σ_1 gerilmesi uygulandığı kabul edilirse, kompozit malzemeyi oluşturan matris ve takviye elemanlarının aynı miktarda şekil değiştirmeye ϵ_1 sahip olurlar (Tümer, 2013). Şekil 2.33'te kompozit malzemede gerilmenin takviye doğrultusunda uygulanmasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.33. Kompozit malzemede gerilmenin takviye doğrultusunda uygulanması
(Tümer,2013)

$$\varepsilon_m = \varepsilon_f = \varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.19)$$

Fiber ve matris gerilmeleri,

$$\sigma_m = E_m \varepsilon_1 \quad (2.20a)$$

$$\sigma_f = E_f \varepsilon_1 \quad (2.20b)$$

Yukarıda verilen ifadeler;

- E :Elastisite modülü
- σ :Gerilme
- m :Matris
- f :Elyaf
- 1 :1 yönüne ait değerleri göstermektedir.

Kompozit malzemeye etki eden kuvvet F ve kesit alanı A ile gösterilirse,

$$\sigma_1 = \sigma_f + \sigma_m \quad (2.21)$$

$$A = A_m + A_f \quad (2.22)$$

$$F = \sigma_1 A = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f \quad (2.23)$$

denklemleri elde edilir. Denklem (2.20) denklem (2.23)'te yerine konursa,

$$E_1 = \frac{v_m}{v_c} E_m + \frac{v_f}{v_c} E_f \quad (2.24)$$

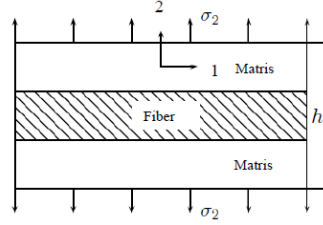
E_1 Elastisite modülü elde edilir. Denklem (2.1) de verilen matris ve fiber hacimsel oranları denklem (2.24) de yerine konursa E_1 elastiklik modülü;

$$E_1 = V_m E_m + V_f E_f \quad (2.25)$$

şeklinde elde edilir.

b. Takviyeye Dik Doğrultudaki Elastisite Modülü E_2 'in Hesaplanması

Kompozit malzemeye fiber yönüne dik doğrultuda bir σ_2 gerilmesi uygulandığı farz edilirse, gerilme sonucu fiber ve matris malzemede Δh kadar uzama meydana gelir (Tümer, 2013).



Şekil 2.34. Kompozit malzemede gerilmenin fiber yönüne dik doğrultuda uygulanması (Tümer, 2013)

$$\Delta h = \Delta h_m + \Delta h_f \quad (2.26)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h} \quad (2.27)$$

Formülleriyle ifade edilir. Δh_m ve Δh_f değerleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta h_m = \varepsilon_m h_m \quad (2.28a)$$

$$\Delta h_f = \varepsilon_f h_f \quad (2.28b)$$

h_m ve h_f değerleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$h_m = h V_m \quad (2.29a)$$

$$h_f = h V_f \quad (2.29b)$$

Denklem (2.26) ve (2.29) düzenlenirse ε_2 aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_m V_m + \varepsilon_f V_f \quad (2.30)$$

Hook kanunu hatırlanır,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.31)$$

Ve denklem (2.30) da yerine yazılırsa,

$$\frac{1}{E_2} = \frac{E_m}{V_m} + \frac{E_m}{V_m} \quad (2.32)$$

Şeklinde Denklem 2.32 elde edilir. Bu denklem, elyaf doğrultusuna Elastisite modülünün matris ve takviye elyaf hacimsel oranlarına bağlı olarak bulunmasını sağlamaktadır (Tümer, 2013).

c. Poisson Oranı ν_{12} hesaplanması

Poisson enine daralmanın boyuna uzamaya oranıdır.

Poisson oranı ν_{12} ,

$$\nu_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (2.33)$$

enine birim şekil değiştirme ε_2 ,

$$\varepsilon_2 = -\frac{\Delta h}{h} \quad (2.34)$$

şeklinde hesaplanır. Denklemde verilen Δh denklem (2.26) da verilen fiber ve matris malzemenin kısalmaları toplamıdır. Denklem (2.34) den faydalanarak;

$$\Delta h_m = h V_m \varepsilon_1 \nu_m \quad (2.35a)$$

$$\Delta h_f = h V_f \varepsilon_1 \nu_f \quad (2.35b)$$

Denklemleri elde edilir.

$$\nu_{12} = \nu_m V_m + \nu_f V_f \quad (2.36)$$

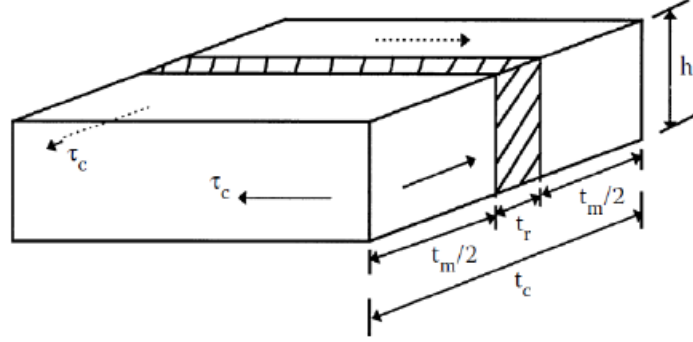
d. Kayma Modülü G_{12} Hesaplanması

δ_c : Kompozit kayma deformasyonu

δ_f : Fiber kayma deformasyonu

δ_m : Matris kayma deformasyonu

τ_c : Kayma gerilmesi



Şekil 2.35. Tek yönlü laminaya ait düzlem kayma modülünü hesaplamak için kullanılan temsili hacim elemanı üzerindeki düzlem kayma gerilmesi (Kaw, 2006)

$$\delta_c = \delta_f + \delta_m \quad (2.37)$$

kayma şekil değiştirmesi,

$$\delta_c = \gamma_c t_c \quad (2.38a)$$

$$\delta_f = \gamma_f t_f \quad (2.38b)$$

$$\delta_m = \gamma_m t_m \quad (2.38c)$$

γ_c Kompozit laminanın kayma şekil değiştirmesi

γ_f Fiber kayma şekil değiştirmesi

γ_m Matris kayma şekil değiştirmesi

t_c Kompozit laminanın kalınlığı

t_f Fiber kalınlığı

t_m Matris kalınlığı

Hook kanunu kullanılarak,

$$\gamma_c = \frac{\tau_c}{G_{12}} \quad (2.39a)$$

$$\gamma_f = \frac{\tau_f}{G_f} \quad (2.39b)$$

$$\gamma_m = \frac{\tau_m}{G_m} \quad (2.39c)$$

G_{12} Kompozit kayma modülü

G_m Matris kayma modülü

G_f Fiber kayma modülü

Denklem (2.37) ve denklem (2.38) den

$$\frac{\tau_c}{G_{12}} t_c = \frac{\tau_f}{G_f} t_f + \frac{\tau_m}{G_m} t_m \quad (2.40)$$

$\tau_c = \tau_f = \tau_m$ eşit kabul edilirse,

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{G_f} \frac{t_f}{t_c} + \frac{1}{G_m} \frac{t_m}{t_c} \quad (2.41)$$

Kayma modülü elde edilir.

$$V_f = \frac{A_f}{A_c} \quad (2.42a)$$

$$= \frac{t_f}{t_c}$$

$$V_m = \frac{A_m}{A_c} \quad (2.42b)$$

$$= \frac{t_m}{t_c} \\ = 1 - V_f$$

Denklem (2.42a) ve (2.42b) de görüldüğü üzere kalınlık oranının , hacim oranına eşit olması aşağıdaki eşitliği ifade eder.

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{V_f}{G_f} + \frac{V_m}{G_m} \quad (2.43)$$

2.7.3. Ortotropik Tabakaların Makromekanik Analizi

Tek yönlü sürekli lifler veya iki yönlü takviyeli olarak düzenlenen kompozit malzemede, lif doğrultusunda dayanımın ve rijitliğin yüksek olduğu görülür.

E_x, E_y, E_z Elastisite modülleri

G_{xy}, G_{yz}, G_{xz} Kayma modülleri

$\nu_{xy}, \nu_{yx}, \nu_{xz}, \nu_{zx}, \nu_{yz}, \nu_{zy}$ Poisson Oranı

Ortotropik malzeme için esneklik matrisinin elamanları aşağıda verilmiştir.

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & S_{25} & S_{26} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} & S_{45} & S_{46} \\ S_{51} & S_{52} & S_{53} & S_{54} & S_{55} & S_{56} \\ S_{61} & S_{62} & S_{63} & S_{64} & S_{65} & S_{66} \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

$$S_{11} = \frac{1}{E_x} S_{22} = \frac{1}{E_y} S_{33} = \frac{1}{E_z}$$

$$S_{12} = S_{21} = -\frac{\nu_{xy}}{E_x} S_{13} = S_{31} = -\frac{\nu_{xz}}{E_x} S_{23} = S_{32} = -\frac{\nu_{yz}}{E_y}$$

$$S_{44} = \frac{1}{G_{yz}} S_{55} = \frac{1}{G_{zx}} S_{66} = \frac{1}{G_{xy}}$$

$$S_{14} = S_{41} = S_{15} = S_{51} = S_{16} = S_{61} = S_{24} = S_{42} = S_{25} = S_{52} = S_{26} = S_{62} = 0$$

$$S_{34} = S_{43} = S_{35} = S_{53} = S_{36} = S_{63} = S_{45} = S_{54} = S_{46} = S_{64} = S_{56} = S_{65} = 0 \quad (2.45)$$

Hook kanununun matrisi formundaki eşitliği 2.46 ifadesinde verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & 0 & 0 & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Q_{13} & Q_{23} & Q_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

2.44 denkleminde Q_{ij} ifadesi indirgenmiş katılık sabiti olarak tanımlanır. Gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişkisi esneklik matrisi açısından da denklem (2.45) deki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

İndirgenmiş katsayıları ile esnek katsayıları arasındaki bağlantı denklem (2.48'deki gibi olacaktır.

$$[Q] = [S]^{-1} \quad (2.48)$$

Yukarıdaki denklemler aracılığıyla Q matrisi elemanları aşağıdaki gibi tanımlanacaktır.

$$S = S_{11}S_{22}S_{33} - S_{11}S_{23}^2 - S_{22}S_{13}^2 - S_{33}S_{12}^2 + 2S_{11}S_{12}S_{13}$$

$$Q_{11} = \frac{S_{22}S_{33} - S_{23}^2}{S}$$

$$Q_{12} = -\frac{S_{13}S_{23} - S_{12}S_{33}}{S}$$

$$Q_{22} = \frac{S_{33}S_{11} - S_{13}^2}{S}$$

$$Q_{13} = -\frac{S_{12}S_{23} - S_{13}S_{22}}{S}$$

$$Q_{33} = \frac{S_{22}S_{11} - S_{12}^2}{S}$$

$$Q_{23} = -\frac{S_{12}S_{13} - S_{23}S_{11}}{S}$$

$$Q_{44} = \frac{1}{S_{44}}$$

$$Q_{55} = \frac{1}{S_{55}}$$

$$Q_{66} = \frac{1}{S_{66}} \quad (2.49)$$

Denklem (2.45)' de verilen ifadeler denklem (2.49) da yerlerine yazılırsa (2.50) denklemi elde edilir.

$$\Delta = \frac{1 - v_{xz}v_{yx} - v_{yz}v_{zy} - v_{zx}v_{xz} - 2v_{yx}v_{zy}v_{xz}}{E_x E_y E_z}$$

$$Q_{11} = \frac{1 - v_{yz}v_{zy}}{E_y E_z \Delta}$$

$$Q_{12} = \frac{v_{xy} + v_{xz}v_{zy}}{E_x E_z \Delta}$$

$$Q_{13} = \frac{v_{xz} + v_{xy}v_{yz}}{E_y E_x \Delta}$$

$$Q_{22} = \frac{1 - v_{xz}v_{zx}}{E_x E_z \Delta}$$

$$Q_{23} = \frac{v_{yz} + v_{yx}v_{xz}}{E_y E_x \Delta}$$

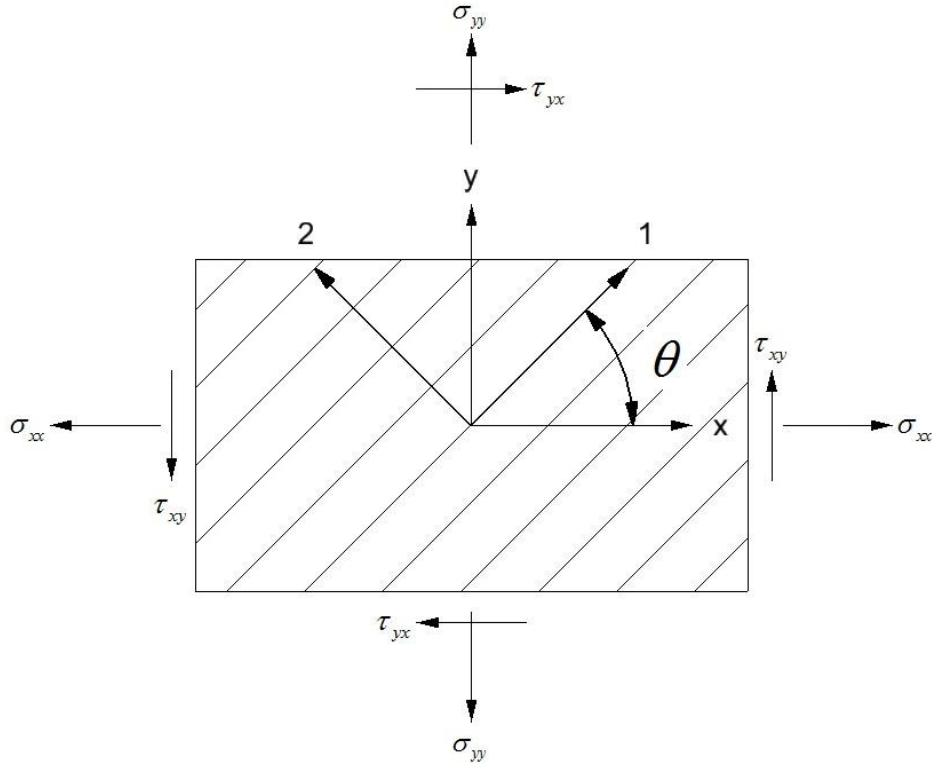
$$Q_{33} = \frac{1 - v_{xy}v_{yx}}{E_y E_x \Delta}$$

$$Q_{44} = G_{yz}$$

$$Q_{55} = G_{xz}$$

$$Q_{66} = G_{xy} \quad (2.50)$$

Her bir tabaka için 12 adet bağımsız malzeme sabiti tanımlanmıştır. Laminasyon esnasında istenen mukavemet değerine ulaşabilmek için farklı açılarda dizilim gereklidir. Farklı açılarda dizilim yapmak, farklı eksen sistemine sahip tabakaların bir bütün olarak aynı eksen sistemi üzerine yerleştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarır.



Şekil 2.36. Açılı tabakalarda global ve lokal eksen takımları (Alankaya, 2011)

Şekil 2.36' da verilen koordinat sistemi açılı tabakalar içindir. 1-2 koordinat sistemi, lokal eksen olarak isimlendirilir. 1 doğrultusu elyafa paralel, 2 doğrultusu elyafa diktir. x-y koordinat sistemi global koordinat sistemidir. İki koordinat sistemi arasında θ açısı kadar fark vardır. Lokal eksen takımı global eksene dönüştürülmelidir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} c^2 \quad (2.51)$$

[T] Transformasyon matrisidir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$[T] = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 0 & 0 & 0 & 2sc \\ s^2 & c^2 & 0 & 0 & 0 & -2sc \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & -s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s & c & 0 \\ -sc & sc & 0 & 0 & 0 & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

Denklem (2.52)'de verilen ifadede $c = \cos\theta$ ve $s = \sin\theta$ ifade etmektedir. Lokal eksendeki gerilme-şekil değiştirme ilişkisi kullanılarak, gerilme bileşenleri global eksen sisteminde aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} [Q] \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

Transformasyon matrisi kullanılarak global ve lokal eksenler arasındaki birim şekil değiştirme bağıntıları elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \frac{\gamma_{23}}{2} \\ \frac{\gamma_{31}}{2} \\ \frac{\gamma_{12}}{2} \\ 2 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{zx}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} \\ 2 \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

Global eksen sisteminde oluşacak birim şekil değiştirmeleri denklem (2.55)'deki gibi ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = [R][T][R]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

(2.55)'de ifade edilen $[R]$ (Reuter) matrisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

Denklem (2.56)'da global eksen sisteminde ki gerilmelerin birim şekil değişimlerine etkisini aşağıdaki şekilde tanımlamak mümkündür.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1}[Q][R][T][R]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (3.57)$$

Denklem (2.58)'de katları oluşturan tabakaların global eksen sistemi üzerinde gerilmelerin birim şekil değiştirme cinsinden ifadesi verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{13} & 0 & 0 & 0 \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{23} & 0 & 0 & 0 \\ \bar{Q}_{13} & \bar{Q}_{23} & \bar{Q}_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \bar{Q}_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Q}_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

$\begin{bmatrix} \bar{Q} \end{bmatrix}$, Ortotropik malzeme için, laminasyonu oluşturan her tabakanın transformasyona uğramış rijitlik matrisi olarak adlandırılır ve matris elemanları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= Q_{11} \cos^4 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{26}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta \\ \bar{Q}_{12} &= (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{12} (\cos^4 \theta + \sin^4 \theta) \\ \bar{Q}_{13} &= Q_{13} \cos^2 \theta + Q_{23} \sin^2 \theta \\ \bar{Q}_{22} &= Q_{11} \sin^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{26}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \cos^4 \theta \\ \bar{Q}_{23} &= Q_{23} \cos^2 \theta + Q_{13} \sin^2 \theta \\ \bar{Q}_{33} &= Q_{33} \\ \bar{Q}_{44} &= Q_{44} \cos^2 \theta + Q_{55} \sin^2 \theta \\ \bar{Q}_{55} &= Q_{44} \sin^2 \theta + Q_{55} \cos^2 \theta \\ \bar{Q}_{66} &= (Q_{11} - 2Q_{12} + Q_{22}) \bar{Q}_{23} \cos^2 \theta \sin^2 \theta + Q_{66} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \end{aligned} \quad (2.59)$$

2.8. Kompozit Malzemelerde Hasar Teorileri

Lamina yapıda hasar değerlerini ön görmek için farklı teoriler bulunmaktadır. Laminanın ortotropik olması ve her açıda farklı özellik göstermesi sebebiyle malzeme ekseninde oluşan gerilmeler hasar teorisinde kullanılır.

2.8.1. Hashin Hasar Teorisi

Fiber ve matris hasarı olarak iki hasar mekanizmasını inceler. Hashin-Rotem hasar teorisinde 4 hasar davranışı incelenir;

- Fiber çekme durumu
- Fiber basma durumu
- Matris Çekme durumu
- Matris basma durumu

Burada,

S_{ti}	Çekme dayanımı
S_{ci}	Basma dayanımı
S_{sij}	Kayma dayanımını ifade etmektedir.

$$F_f^t = \left(\frac{\sigma_{11}}{S_{t1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{12}}{S_{s12}}\right)^2 \leq 1.0 \text{ ve } \sigma_{11} \geq 0 \quad (2.60)$$

Denklem (2.60)' da fiber çekme durumu denklemi verilmiştir.

$$F_f^c = \left(\frac{\sigma_{11}}{S_{c1}}\right)^2 \leq 1.0 \text{ ve } \sigma_{11} < 0 \quad (2.61)$$

Denklem (2.61)' de fiber basma durumu verilmiştir.

$$F_m^t = \left(\frac{\sigma_{22}}{S_{t2}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{12}}{S_{s12}}\right)^2 \leq 1.0 \text{ ve } \sigma_{22} \geq 0 \quad (2.62)$$

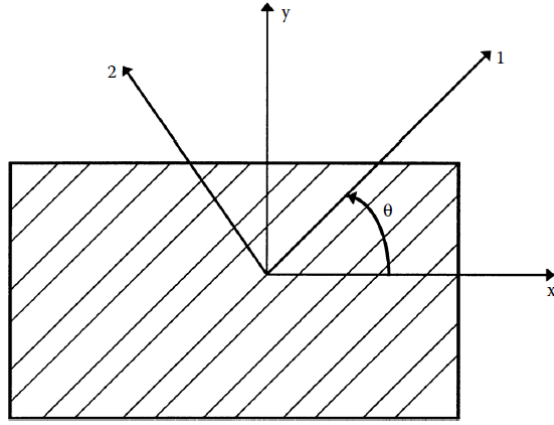
Denklem (2.62)' de matris çekme durumu verilmiştir.

$$F_m^c = \left(\frac{\sigma_{22}}{2S_{s23}}\right)^2 + \left[\left(\frac{S_{c2}}{2S_{s23}}\right)^2 - 1\right] \frac{\sigma_{22}}{S_{c2}} + \left(\frac{\sigma_{12}}{S_{s12}}\right)^2 \leq 1.0 \text{ ve } \sigma_{22} < 0 \geq 0 \quad (2.63)$$

Denklem (2.63)'te matris basma durumu verilmiştir.

2.8.2. Maksimum Gerilme Hasar Teorisi

Hasarın oluşması, lokal ekseninde meydana gelen normal veya kayma gerilmelerinin aynı ekseninde meydana gelen normal veya kayma gerilme değerlerine ulaşması veya aşmasıyla hasar başlar (Özer, 2015).



Şekil 2.37. Açılı laminadaki global ve lokal eksenler (Özer, 2015)

Şekil 2.36'da laminanın global ve lokal eksenlerinde meydana gelen gerilme ve şekil değiştirmeleri gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (2.64)$$

Denklem (2.64)'de global ekseninde oluşan gerilmeler kullanılarak elde edilen malzeme eksenindeki gerilmeler verilmiştir. Denklem (2.65)'de verilen şartlar ihlal edilirse laminada hasar oluşur (Özer, 2015).

$$\begin{aligned} -(\sigma_1^c)_{ult} < \sigma_1 < (\sigma_1^T)_{ult} & \quad \text{veya} \\ -(\sigma_2^c)_{ult} < \sigma_2 < (\sigma_2^T)_{ult} & \quad \text{veya} \\ -(\tau_{12})_{ult} < \tau_{12} < (\tau_{12})_{ult} & \end{aligned} \quad (2.65)$$

Denklemden görülen mukavemet değerleri pozitif sayı gibi işlem görür. Normal gerilmeler, çekme durumunda pozitif, basma durumunda negatiftir (Özer, 2015).

3.MATERYAL ve YÖNTEM

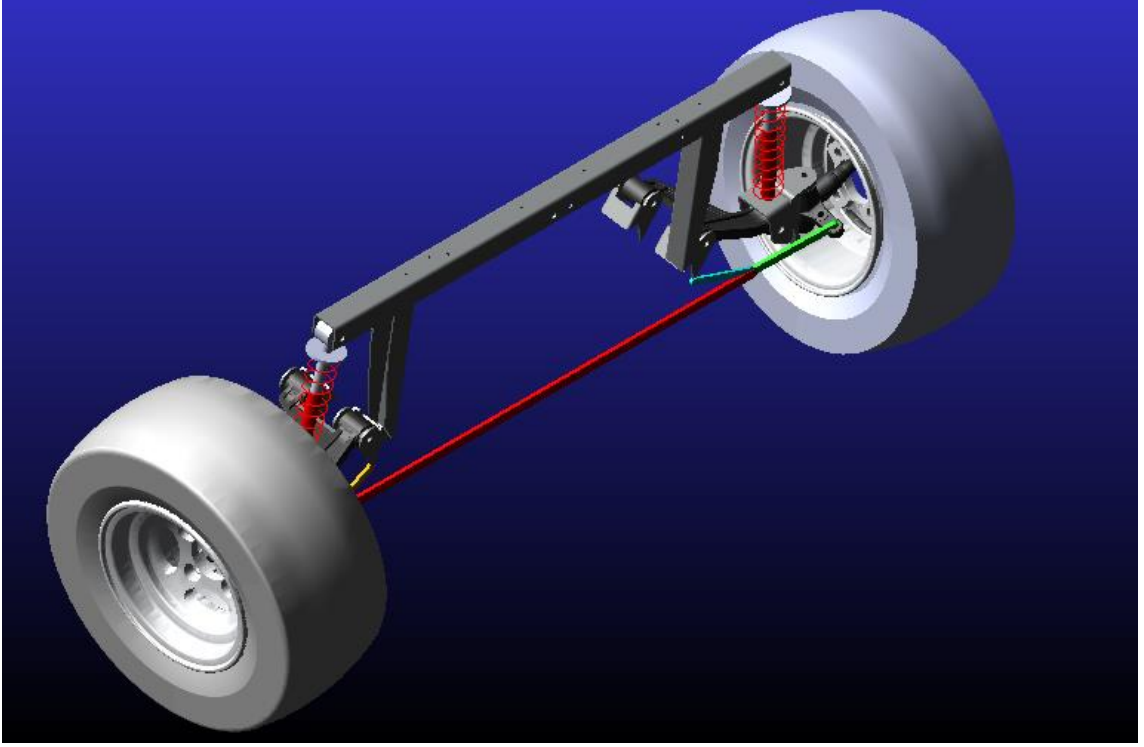
Bu tez çalışmasında, çelik döküm olan bir salıncak kolunun kompozit malzeme ile ikame edilmesi ve L7 kategori elektrikli bir araç için şasi tasarımı yapılarak sonlu elemanlar analizi ile statik dayanımı incelenmiştir. Kompozit salıncak kolu tasarımı için öncelikle mevcut salıncak koluna, aracın kaldırılma çarpması sonucu gelen kuvvetler MSC. Adams programında yapılan simülasyon ile elde edilmiştir. Daha sonra, kompozit salıncak kolu

tasarımı yapılarak darbe anındaki davranışları Abaqus programı yardımı ile Sonlu Elemanlar Analiz yöntemi ile incelenmiştir. Kompozit salıncak kolunda meydana gelen davranışların katman sayısı, katman yerleşimi, malzeme parametrelerine bağlı olarak nasıl değiştiği gözlemlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

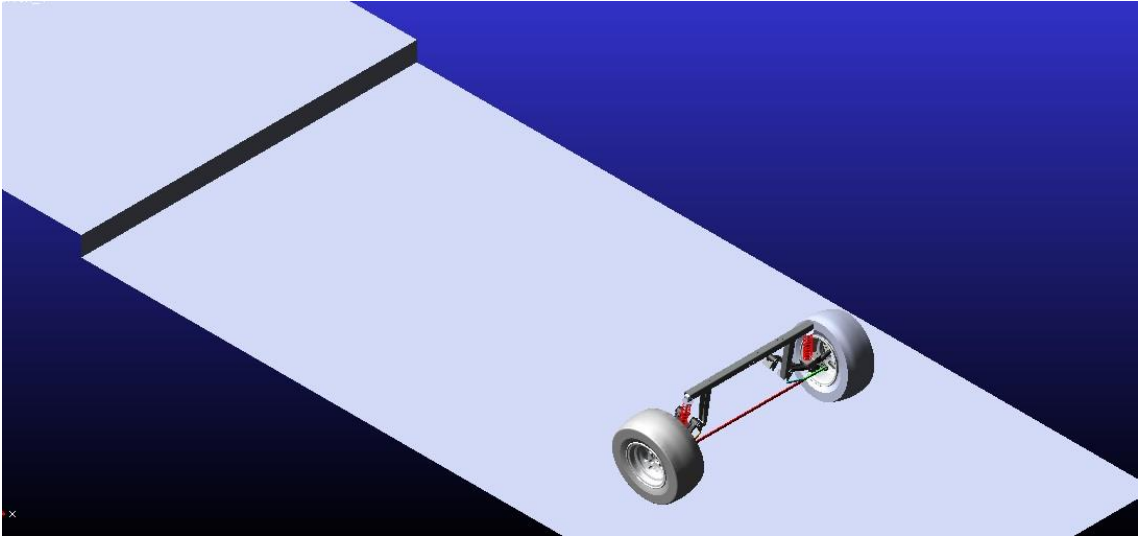
3.1.Kinematik Analiz

Salıncak kolunun tasarımı yapılmadan önce, ele alınan Elektrikli L7 tip aracın salıncak kolu için en kritik olabilecek senaryolardan biri olan, aracın tekerleğinin kaldırıma çarpması esnasında salıncak koluna ne kadar bir yük geleceği MSC Adams programı kullanılarak tespit edilmiştir. Bu senaryonun belirlenmesinde ana etken kullanım yerlerinden gelen arıza bildirimleridir. Bu tip bir aracın sıklıkla kullanıldığı otel, havaalanı, turizm merkezleri gibi trafiğe kapalı alanlarda sürücülerin araç sürme konusunda yetkin olmaması ve normal bir otomobil kullanma mantığında araca yaklaşımlarının olmaması sonucu, aracı bu şekilde kaldırım gibi yerlerden atlayarak geçmeleri böyle bir senaryonun temeli olmuştur.

Öncelikle, aracın mevcut kullanımında olan salıncak kolu ile modellenmiş ön takımı MSC Adams programına alınmış ve gerçek hayatta ön aksa gelen yükler ölçülerek programa tanımlanmıştır (Şekil 3.1). Mevcut süspansiyon sisteminin sönüm sabiti, yay sabiti ve lastik parametrelere girilmiştir. Standart bir kaldırımın yüksekliği 200 mm olarak ölçülmüştür. Tekerleğin kaldırıma çarpma senaryosu için bu yükseklikte rijit bir hedef oluşturulmuştur (Şekil 3.2). Gerekli hız, mafsal hareketleri ve malzeme davranışları tanımlanarak, salıncak kolunun bağlantı noktalarına gelen kritik çarpma yükleri MSC. Adams yazılımı yardımıyla gerçekleşen kinematik analizden elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Adams ortamında modelin genel görünüşü



Şekil 3.2. Senaryonun tasarımı

Şekil 3.2'de aracın düz bir yolda seyir halindeyken hız kesmeden 200 mm yüksekliğindeki bir kaldırıma doğrudan çarpma senaryosu verilmiştir.

Şekil 3.3' de aracın standart üretiminde kullanılan yay ve dampere ait sönüm sabiti ve yay sabiti verilmiştir. Sistemin yay sabiti 60 N/mm sönüm sabiti ise 1,58 Ns/m olarak simülasyona tanıtılmıştır.

Modify a Spring-Damper Force

Name: SPRING_6

Action Body: Aynalama_n_amortis_r_braketi_1

Reaction Body: amortisor_2_pc2_02_05_2019_1

Stiffness and Damping:

Stiffness Coefficient: 60.0

Damping Coefficient: (1.58(newton-sec/mm))

Length and Preload:

Preload: 0.1

Default Length: (Derived From Design Position)

Spring Graphic: On, If Stiffness Specified [modify]

Damper Graphic: On, If Damping Specified [modify]

Force Display: On Reaction Body

OK Apply Cancel

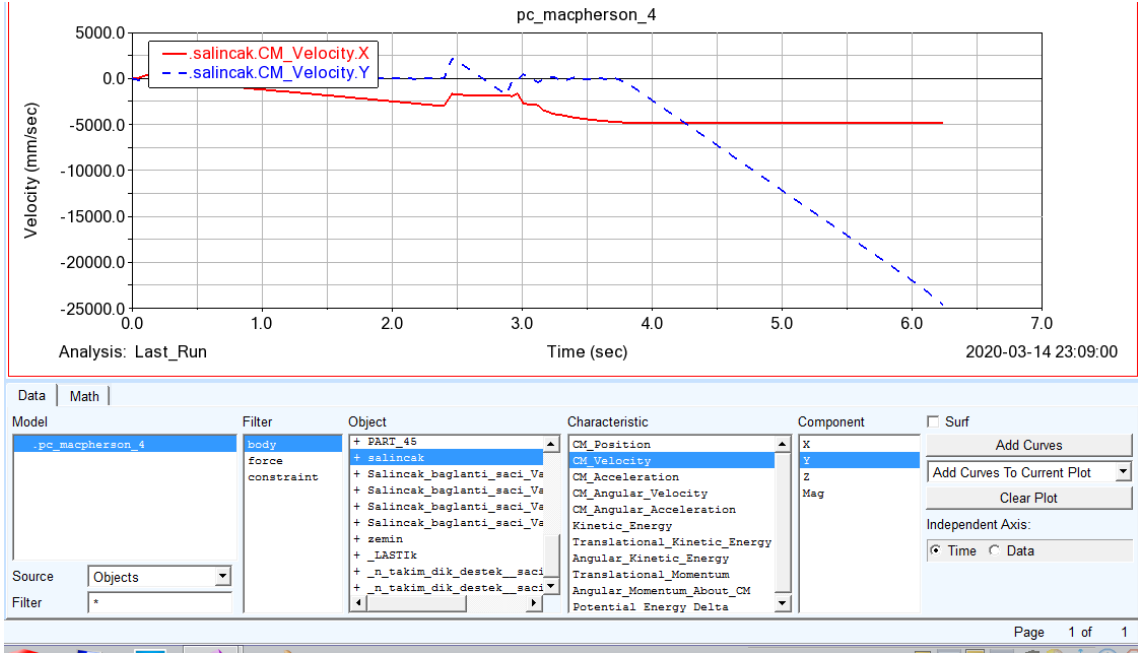
Şekil 3.3. Yay ve sönüm Sabiti

Başlangıçta aracın tekerleği ile zemin ile arasındaki sürtünme katsayısı, zemin asfalt karayolları genel müdürlüğü verileri esas alınarak 0.30 olarak tanımlanmıştır.

Contact Name	CONTACT_4
Contact Type	Solid to Solid
I Solid(s)	SOLID65
J Solid(s)	SOLID45
<input checked="" type="checkbox"/> Force Display	Red
Normal Force	Impact
Stiffness	1.0E+05
Force Exponent	2.2
Damping	20.0
Penetration Depth	0.1
<input type="checkbox"/> Augmented Lagrangian	
Friction Force	Coulomb
Coulomb Friction	On
Static Coefficient	0.3
Dynamic Coefficient	1.0
Stiction Transition Vel.	100.0
Friction Transition Vel.	1000.0

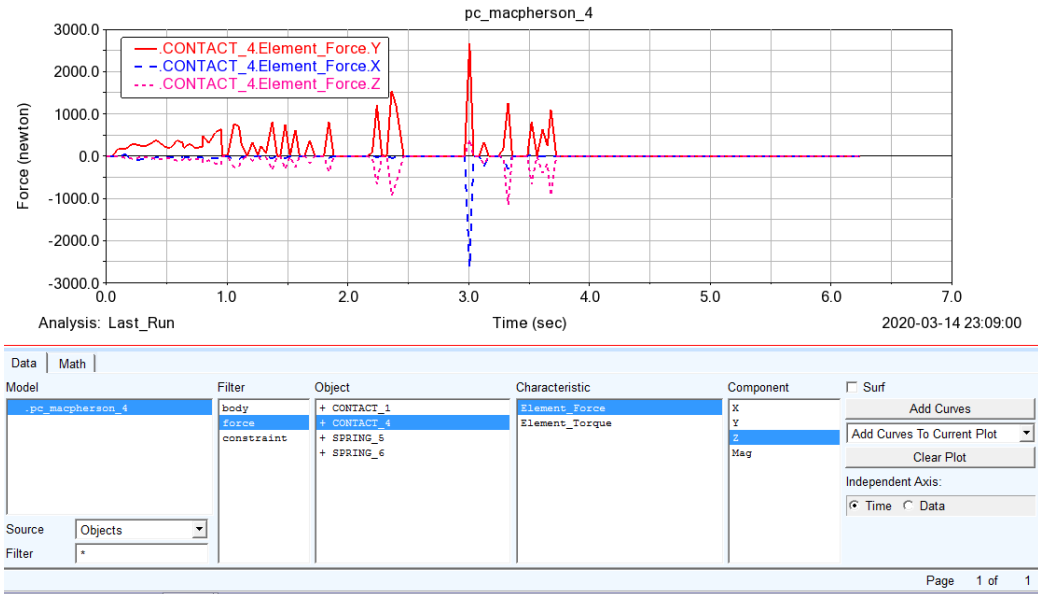
Şekil 3.4. Lastikler ile zemin arasındaki sürtünme katsayıları

Şekil 3.5’de aracın x ve y eksenlerindeki hız değişimleri verilmiştir.



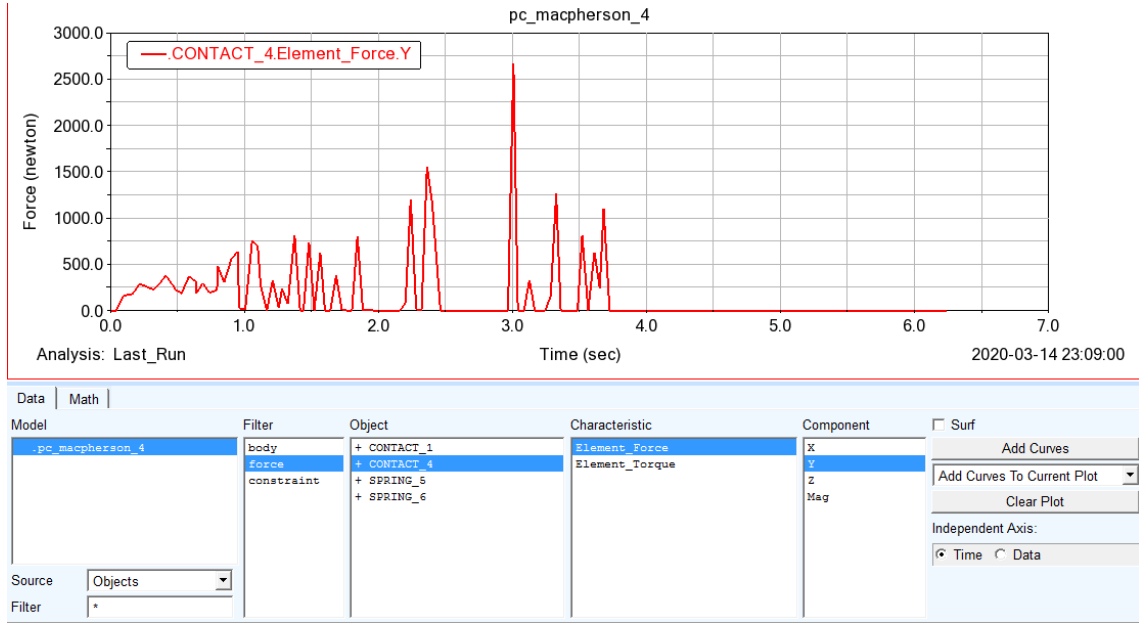
Şekil 3.5. Aracın x ve y eksenindeki hızları

Aracın kaldırırma çarpma senaryosundaki hızı ortalama 18 km/h olarak kabul edilmiştir. Bu hızla kaldırırma çarpan bir araç anlık olarak yaklaşık 2 sn gibi kısa bir sürede y ekseninde 90 km/h çarpma hızına ulaştığı görülmüştür. Şekil 3.6’da x,y ve z eksenindeki tekerleğe etkiyen dinamik kuvvetler verilmiştir. Şekil 3.7’de ise sadece y ekseninde oluşan dinamik kuvvet gösterilmektedir.

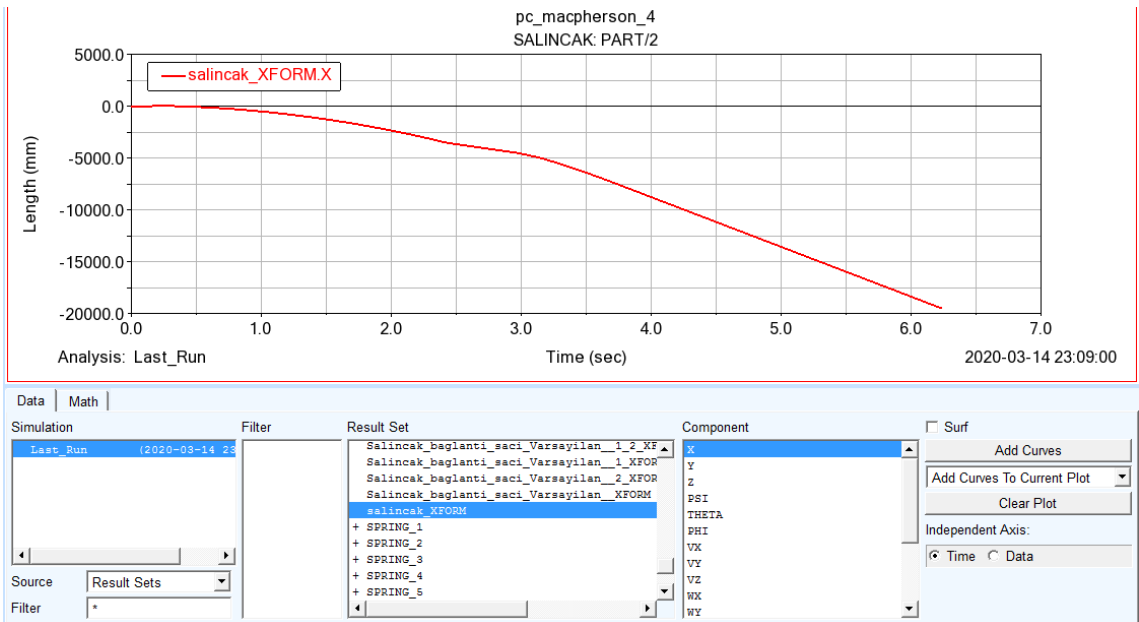


Şekil 3.6. x, y ve z eksenlerinde etkiyen dinamik kuvvetler

Başlangıçtan çarpma sonuna kadar araca x,y ve z yönlerinde etkiyen dinamik kuvvetler incelenmiştir. Aracın düz yolda kendi ağırlığının etkisiyle tek tekerine ortalama 2000 N değerinde bir kuvvet geldiği gözlemlenmiştir. Bu değerın oluşmasında aracın ön aks ağırlığının simülasyonda 400 kg olarak tanımlanması etkindir.



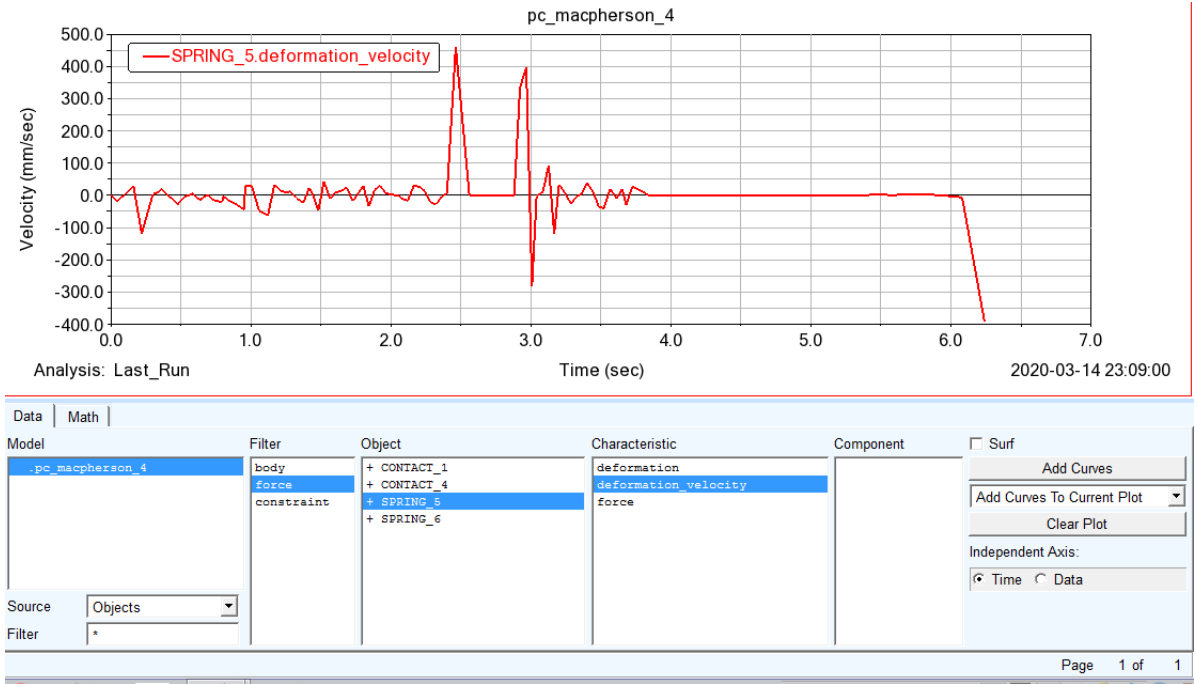
Şekil 3.7. Y ekseninde etkiyen dinamik kuvvet



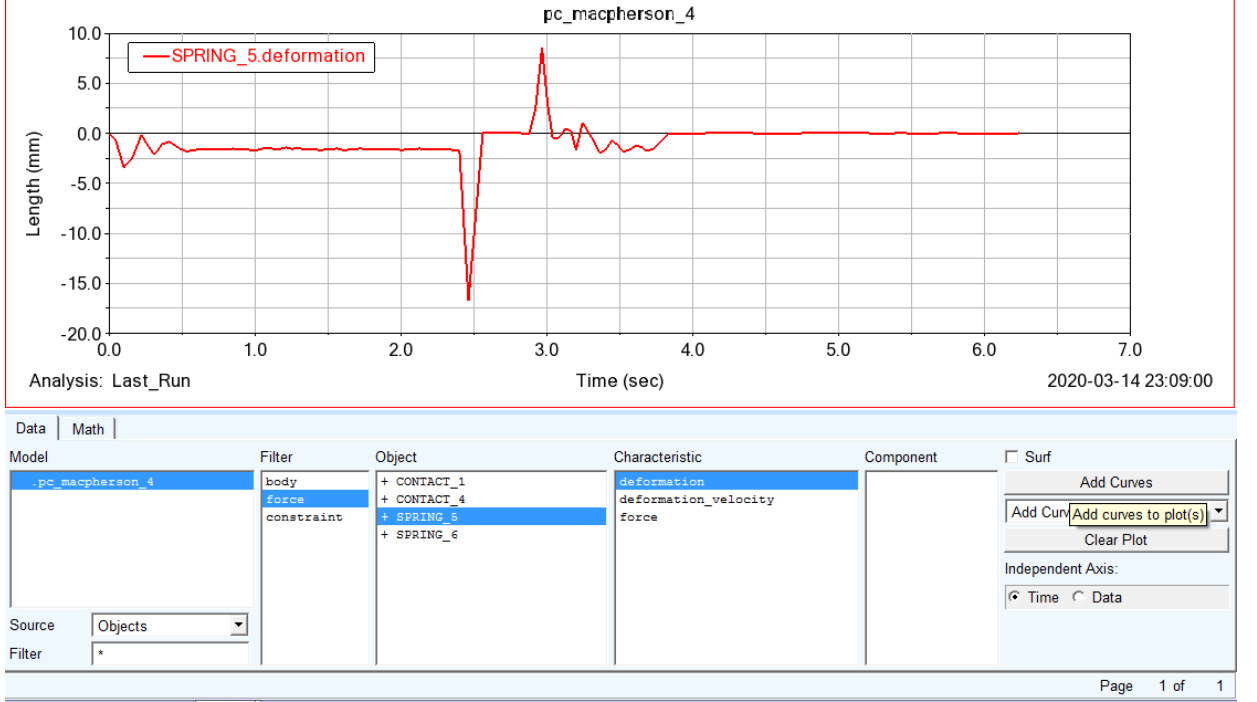
Şekil 3.8. Aracın x eksenindeki toplam yer değıştirmesi

Şekil 3.8' de görüldüğü gibi aracın ilk hızından son hızına kadar aldığı yol 20 m olarak ölçülmüştür.

Şekil 3.9'dan da görüleceği üzere, çarpma esnasındaki deformasyon hızı maksimum 450 mm/s olarak ölçülmüştür. Sürüş esnasında aracın amortisörlerinin hareketi de gözlemlenmiştir (Şekil 3.10). Düz yolda amortisörün çok küçük hızlarda deplasman yaptığı görülmüştür.

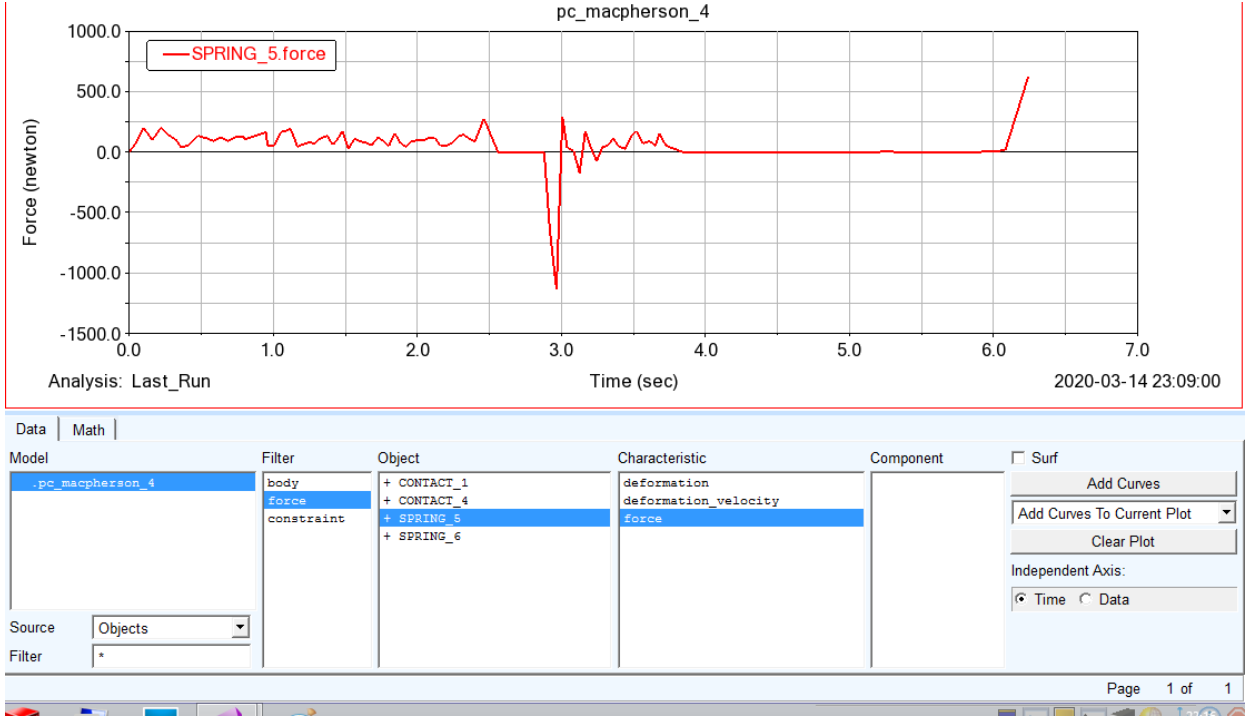


Şekil 3.9. Tek bir amortisörün deformasyon hızı



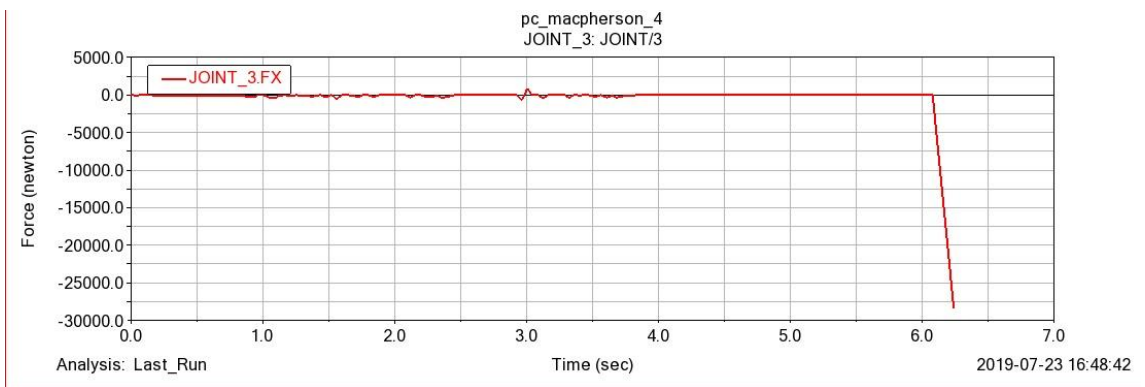
Şekil 3.10. Amortisördeki deplasman miktarı

Amortisörde oluşan deplasman düz yolda sürüş esnasında ortalama 4 mm civarında seyretmiştir. Ancak çarpma esnasında yaklaşık 20 mm deplasman yapmıştır. Şekil 3.11’de amortisöre gelen dinamik kuvvetin değeri verilmiştir. Bu değer, amortisörün mukavemetinin doğrulanmasında kullanılabilir.



Şekil 3.11. Amortisöre gelen dinamik kuvvet

Simülasyon da bizim asıl görmemiz gereken değer, salıncak kolunun şasi ile olan bağlantı noktasına gelen yükür. Bu değer şekil 3.12’de grafiksel olarak verilmiştir. Yaklaşık 30000 N değeri, salıncak kolunun bağlantı noktasına etkiyen kuvvet olarak kabul edilmiştir. Salıncak kolunun yük altında dayanımını görmek için buradan alınan değer kullanılarak statik analize aktarılacak ve sonuca varılacaktır.



Şekil 3.12.Salıncak kolunun bağlantı noktasına gelen maksimum kuvvet

3.2. Salıncak Kolu Sonlu Elemanlar Analizi

Adams Car programında yapılan kinematik analiz sonucunda salıncak koluna gelen kuvvet bulunmuştur. Salıncak koluna gelen kuvvet referans alınarak ABAQUS programında statik analiz yapılmıştır. Döküm olan mevcut salıncak kolu ve kompozit malzeme olarak tasarlanmış olan salıncak kolu analiz edilmiştir. Kompozit malzeme analizinde iki farklı malzeme ve farklı tabaka sayıları denenmiştir.

Çizelge 3.1. Döküm salıncak malzeme özellikleri

Rp%0,2(N/mm ²)	F_{max} (kN)	Rm (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit (mm ²)	Alanı
336,77	32,71	417,28	6	78,39	

Araç üzerinde mevcutta kullanılan döküm yöntemiyle imal edilen salıncak kolunun malzeme mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu sonuçlar mevcut salıncak kolunun dökümü esnasında döküm materyalinden çekme numunesi hazırlanarak çekme testi sonucu olarak doğrulanmıştır.

Çizelge 3.2' de yeni geliştirilmiş olan bir termoplastik malzeme özellikleri verilmiştir. Bu malzeme seçimi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

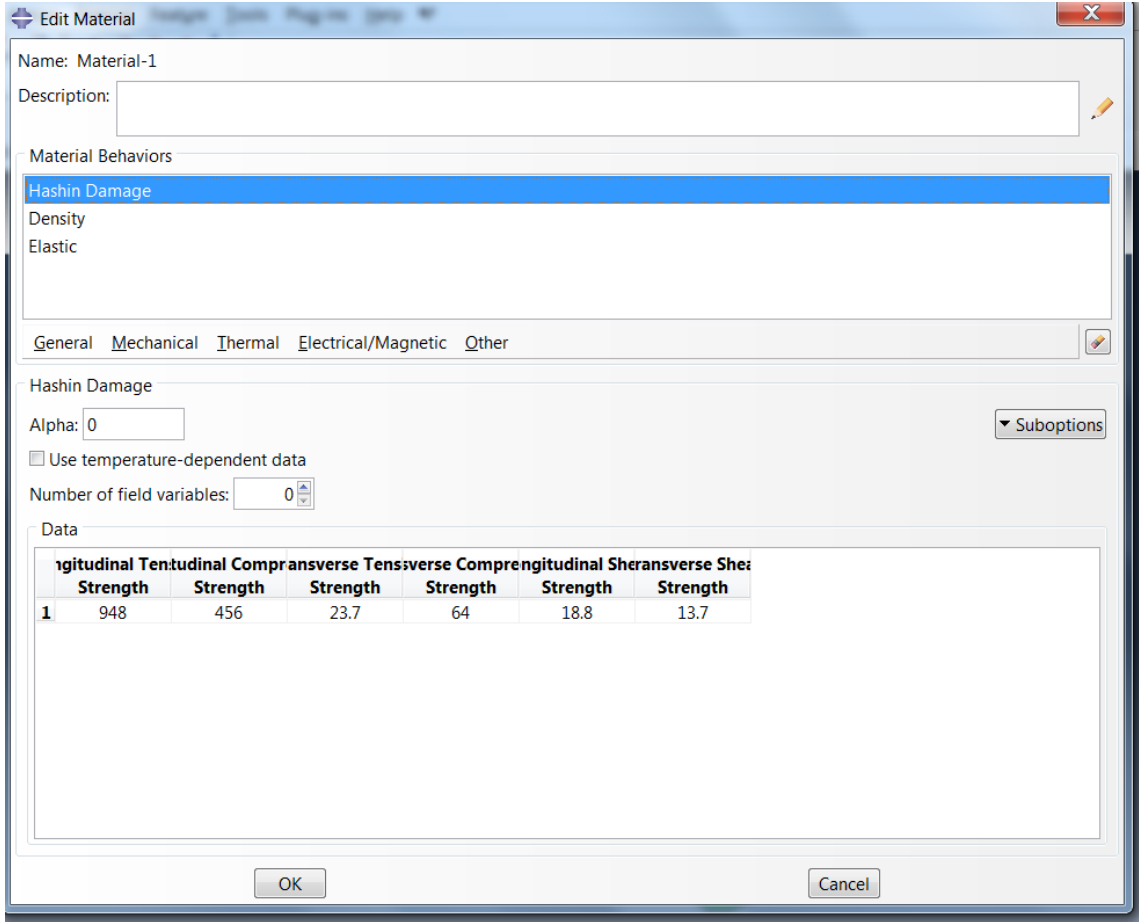
Çizelge 3.2. Kompozit malzeme özellikleri

FRT GPP4570 Natural			
İSİM	DEĞER	BİRİM	
Cam içeriği	70	wt%	
Cam içeriği	45	vol%	
Yoğunluk	1,67	g/cm^3	
Kalınlık	0,24	mm	
Bölgesel ağırlık	400,73	g/m^2	
Çekme modülü 0°	37	GPa	
Spesifik modül 0°	22,16	GPa	
Çekme mukavemeti 0°	948	MPa	
Spesifik mukavemet 0°	567,76	MPa	
Akma uzaması 0°	2,56	%	
Kopma uzaması 0°	3,40	%	
Çekme modülü 90°	4,50	GPa	
Çekme mukavemeti 90°	23,70	MPa	
Kopma uzaması 0°	0,79	%	
Basma mukavemeti 0°	456	MPa	
Basma mukavemeti 90°	64	MPa	
Kayma modülü	1610	MPa	
Kayma mukavemeti	44,90	MPa	
Laminer kayma mukavemeti	36,50	MPa	

Çizelge 3.1'de yaygın olarak kullanılan glass pp termoplastik malzeme özellikleri verilmiştir. Bu malzeme seçimi yapılarakda sonuçlar karşılaştırılmıştır.

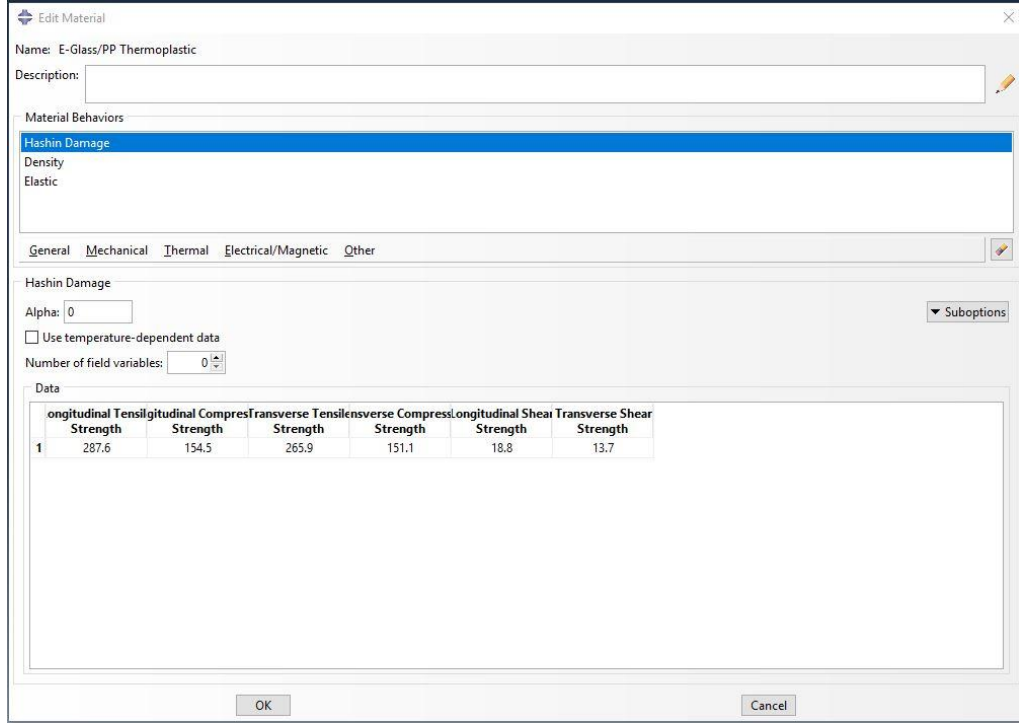
Çizelge 3.3. Glass PP malzeme özellikleri

GLASS PP		
İSİM	DEĞER	BİRİM
Cam içeriği	60	wt%
Cam içeriği	45	vol%
Yoğunluk	1,50	g/cm^3
Kalınlık	0,24	mm
Bölgesel ağırlık	400,73	g/m^2
Çekme modülü 0°	37	GPa
Spesifik modül 0°	22,16	GPa
Çekme mukavemeti 0°	287,00	MPa
Spesifik mukavemet 0°	567,76	MPa
Akma uzaması 0°	2,56	%
Kopma uzaması 0°	3,40	%
Çekme modülü 90°	4,50	GPa
Çekme mukavemeti 90°	265,90	MPa
Kopma uzaması 0°	0,79	%
Basma mukavemeti 0°	154,50	MPa
Basma mukavemeti 90°	151,10	MPa
Kayma modülü	1610	MPa
Kayma mukavemeti	44,90	MPa
Laminer kayma mukavemeti	36,50	MPa

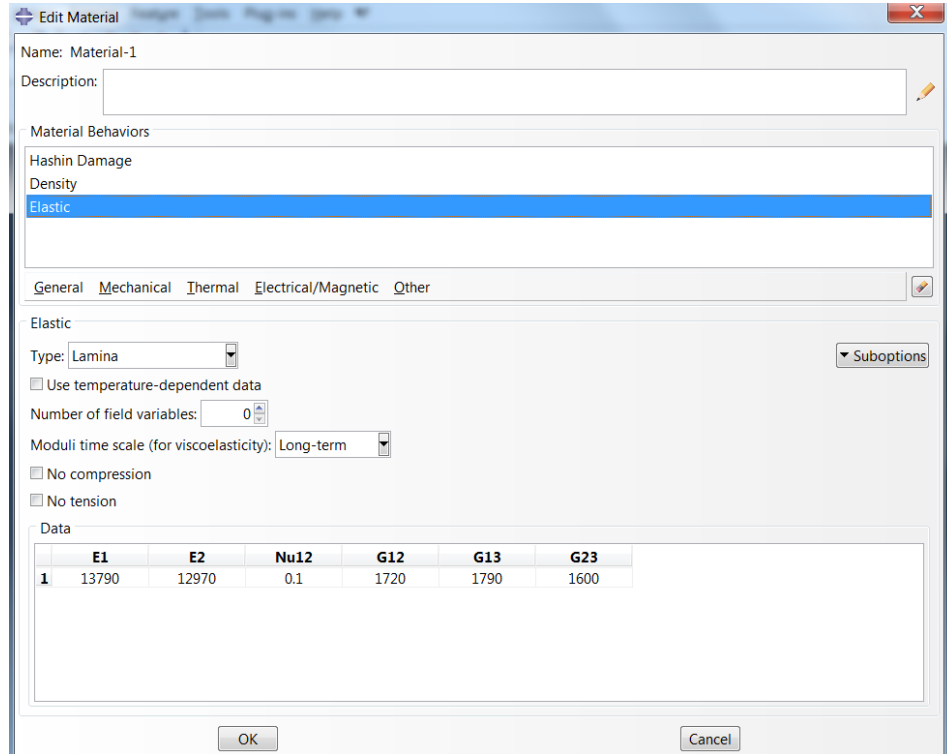


Şekil 3.13. FRT GPP 4570 Natural Malzeme Hashin Damage özelliklerinin programa aktarılması

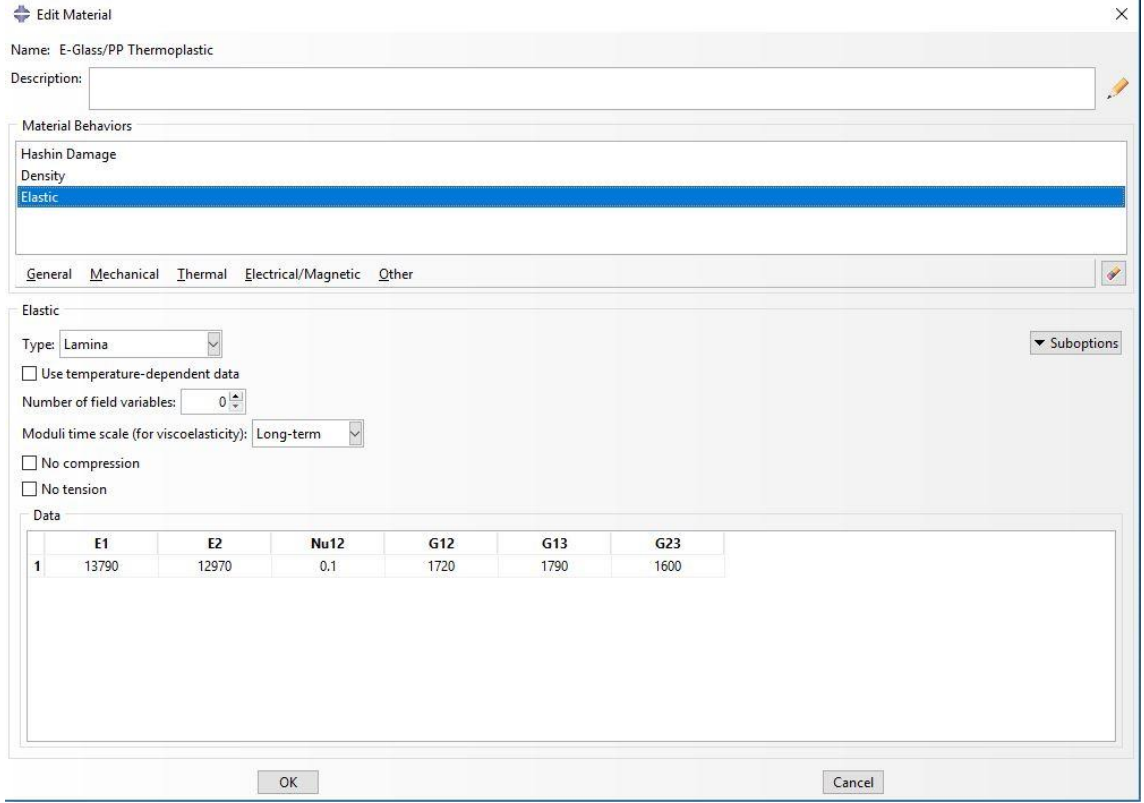
Kompozit analizi yapabilmek için lamine tip tanımı yapılmış ve Hashin damage elastic ve yoğunluk değerleri Şekil. 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15, ve Şekil 3.16.'da tanımlanmıştır. Analizlerde iki farklı malzeme tipi tanımı yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu malzemelerden birisi standart cam elyaf katkılı PP iken diğeri özel geliştirilmiş olan FRT GPP4570 Natural malzemesidir.



Şekil 3.14. GPP Malzeme Hashin Damage özelliklerinin programa aktarılması

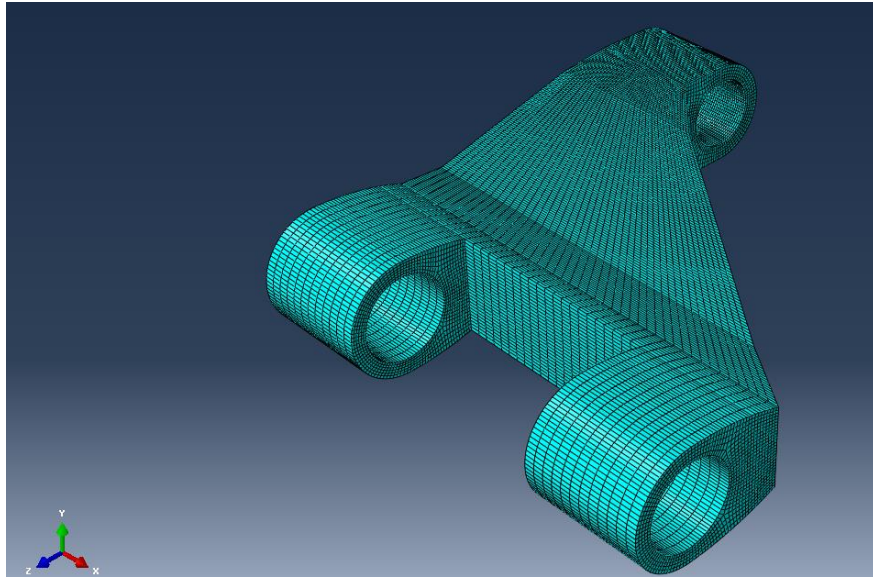


Şekil 3.15. FRT GPP 4570 Natural Malzeme Elastik özelliklerinin programa aktarılması

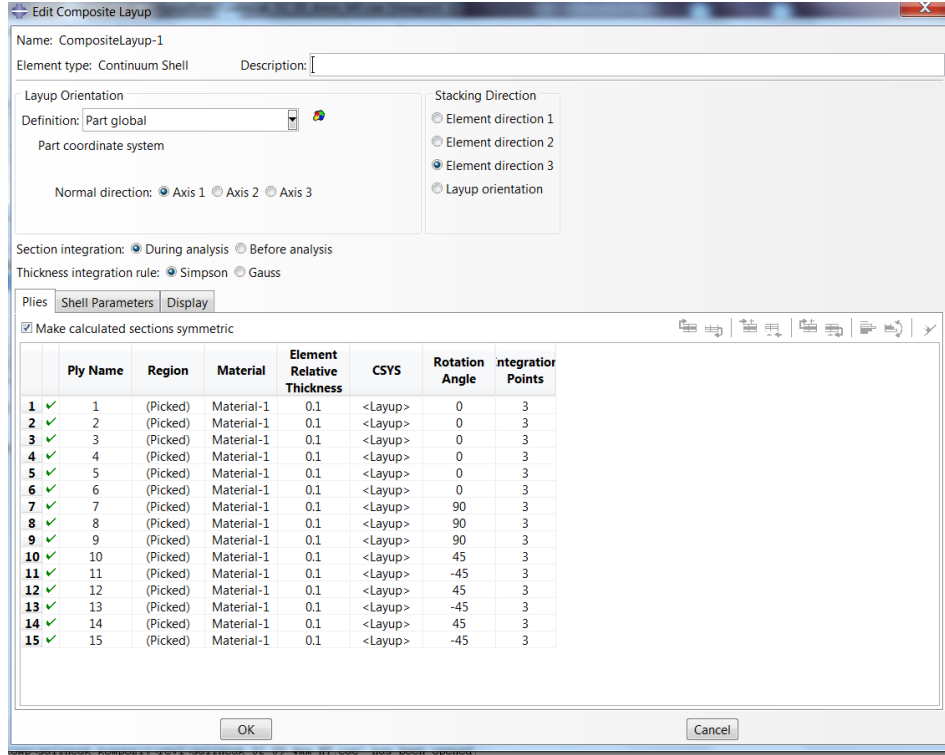


Şekil 3.16. GPP Malzeme Elastik özelliklerinin programa aktarılması

Analizin düzgün sonuçlar verdiğiinden emin olabilmek için mesh yapısına çok özen gösterilmiştir ve aralıklar sık tutulmuştur.

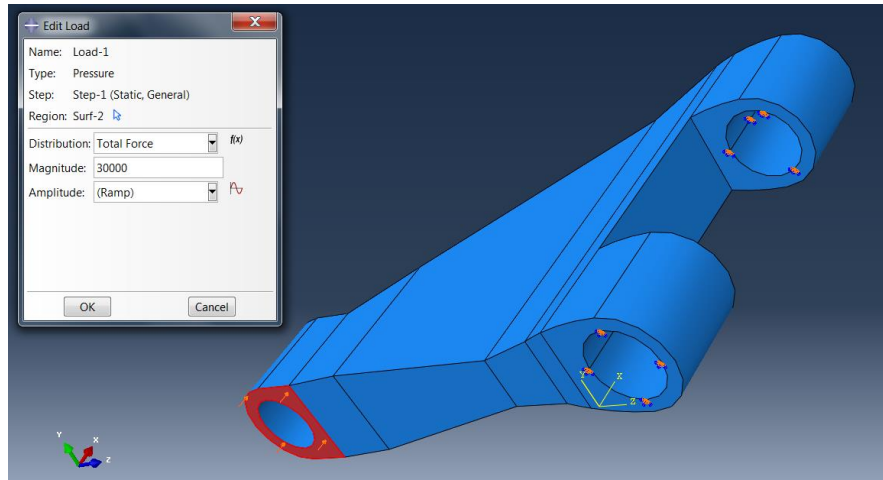


Şekil 3.17. Kompozit salıncak kolu mesh yapısı



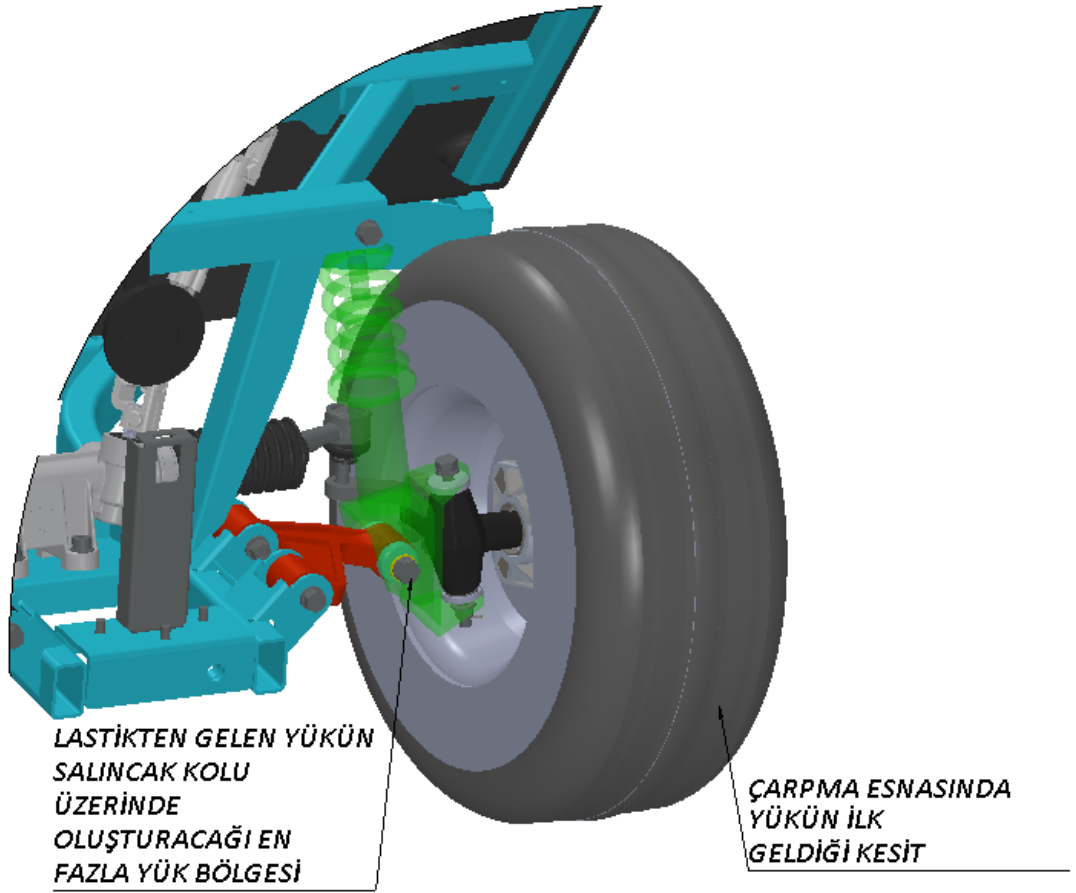
Şekil 3.18 30 kat için elyaf dizilimi ve katman sayısı

Toplamda 30 katlı bir yapı oluşturulmuştur. Bu elyaflar ilk 6 katta 0° sonraki 3 katta 90° devamında ise $+45^\circ$ ve -45° olarak 15 kat tanımlanmıştır. Aynı dizilimin simetriği alınarak 30 kata tamamlanmıştır. Aynı açı diziliminde 20 kat olarak analiz yapılmıştır. Bu dizilim her iki malzeme tipi için de yapılmıştır. Analizde ankastre mesnet ve yük tanımları yapılmıştır. Bu tanımlar şekil 3.19.'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Ankastre ve mesnet yük tanımları

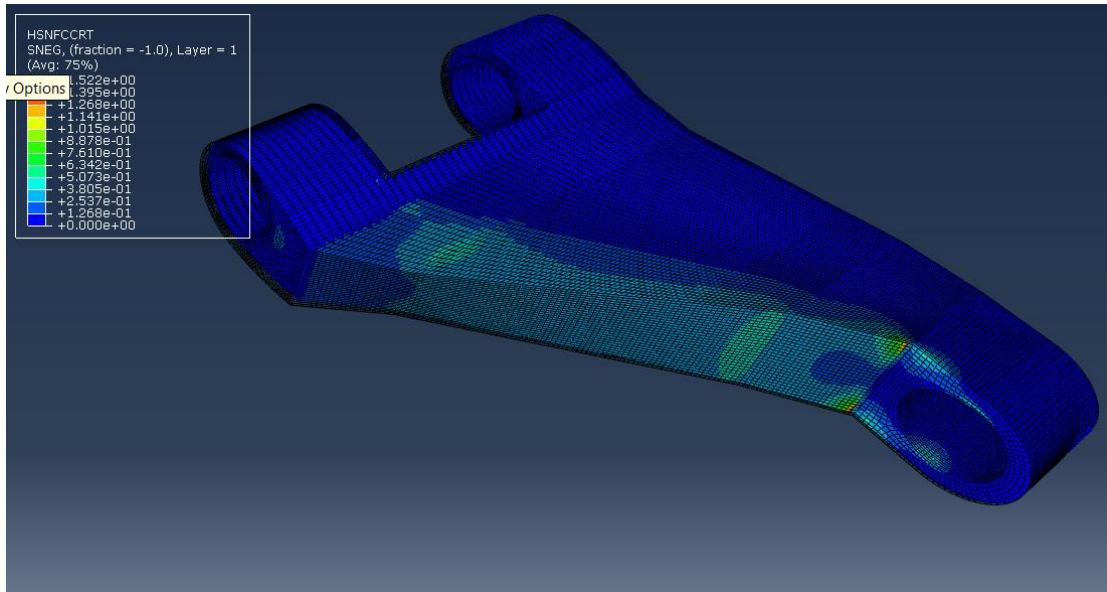
Şekil 3.19.'da ki kırmızı yüzeye Adams Car simülasyonundan alınan çarpma sonucu görülen 30000 N yük tanımı yapılmıştır. Bu yüzeye kuvvet tanımı yapılma sebebi salıncak kolunun araç üzerindeki bağlantısıdır. Bu bağlantıya göre salıncak koluna gelebilecek en tehlikeli yük belirtilen yüzeye gelmesidir. Şekil 3.20'de salıncak kolunun araç üzerindeki bağlantı konumu verilmiştir.



Şekil 3.20. Salıncak kolunun araç üzerindeki bağlantı konumu

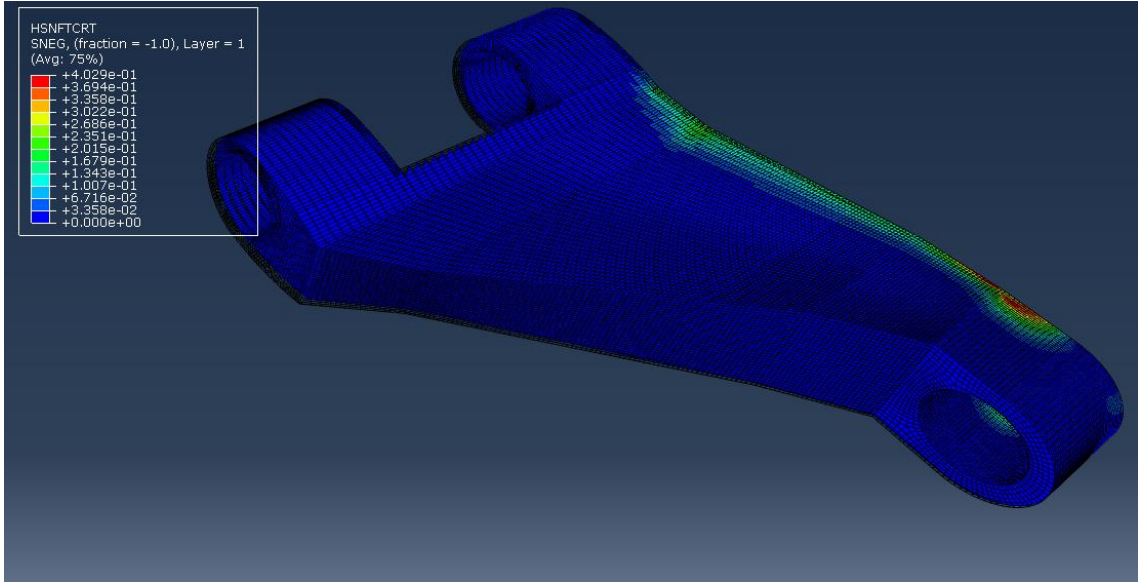
Analiz sonuçları FRT GPP 4570 malzeme ve döküm malzeme için verilmiştir. Sonuçlar bölümünden karşılaştırmalı olarak Glass PP analiz sonuçları da verilmiştir.

Belirtilen yük ve tanımlanan malzemeler altında yapılan analiz sonucunda hasar durumlarına ve plastik enerji değişimine bakılmıştır. Şekil 3.21. sonuçları FRT GPP4570 Natural malzeme kullanımı sonucunda fiberde basma sonucu oluşan hasarı göstermektedir. Sonuçlar katman katman incelenmiştir. İlk katmanda basma sırasında hasar olduğu görülmüştür. Basma sırasındaki bu hasarın ilk 6 katta olduğu gözlemlenmiştir. Burada 6 katta oluşan hasarın yapının genelinde kabul edilebileceği yorumlanmıştır. Çünkü toplamda 30 kat içerisinde 6 katta hasar görülmüştür, bu hasar sürücünün ve aracın güvenliğini çarpma esnasında bozmayacaktır. Bu çarpma sonucunda araç kaza durumunu kontrollü bir şekilde atlatacaktır ancak hasar aldıktan sonra kullanımında katmanlar arasında ayrışma oluşabileceği için değiştirilmesi gerekmektedir.



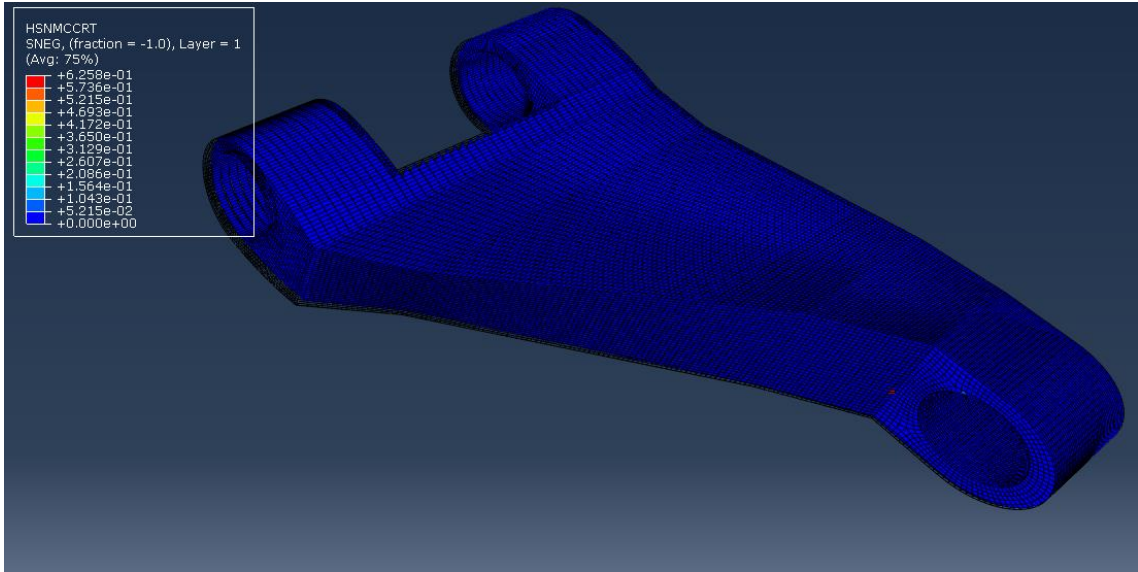
Şekil 3.21. FRT GPP4570 Malzeme için fiber basma yönündeki hasar durumu

Şekil 3.22.'de kuvvetin etkisi altında fiberde oluşan çekme gerilmesi verilmiştir. Bu değer 1'in altında olduğu için fiber çekme yönünde herhangi bir hasarın oluşmayacağı gözlemlenmiştir.

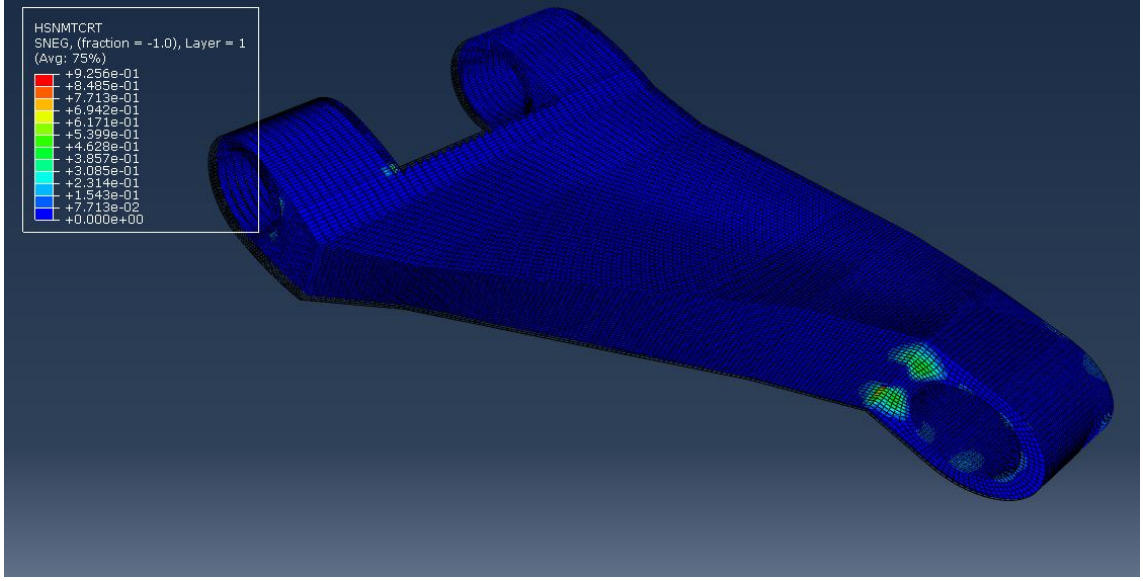


Şekil 3.22. Fiberde çekmedeki hasar durumu

Matris olarak yapının ilk katında dahi hasar oluşumu gözlemlenmemiştir.(Şekil 3.23)

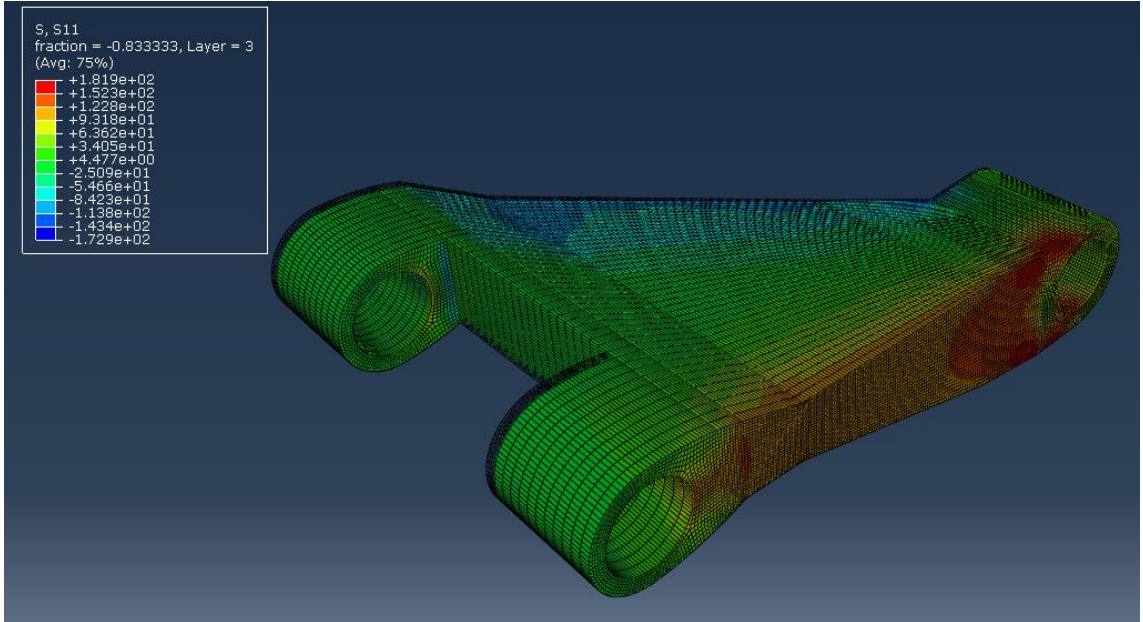


Şekil 3.23. Matris olarak basma sonuçları.



Şekil 3.24. Matris çekme durumu

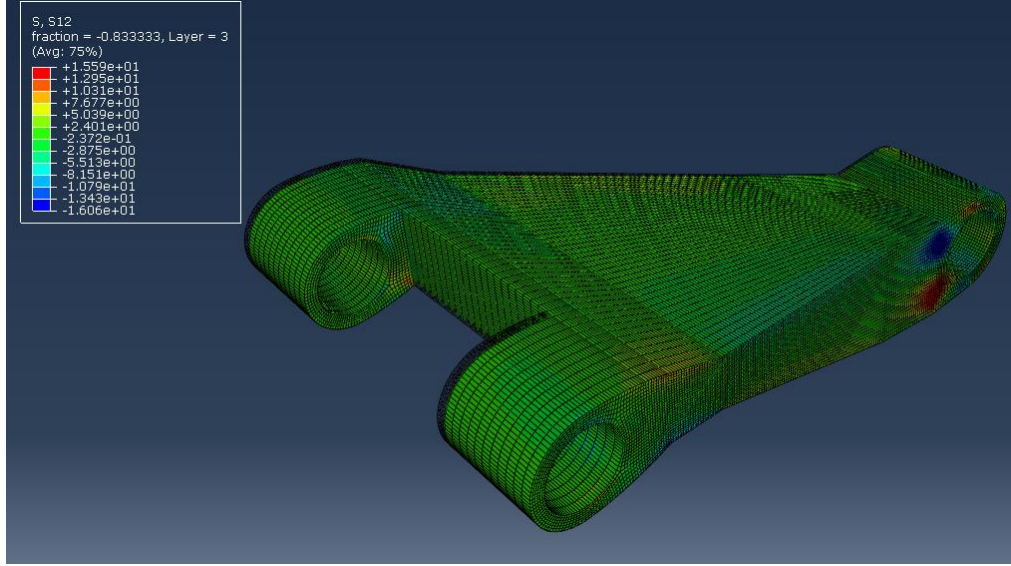
Şekil 3.24'te salıncak kolunda matris çekme durumunda ilk katta dahi herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.



Şekil 3.25. S11 yönünde oluşan gerilme değeri

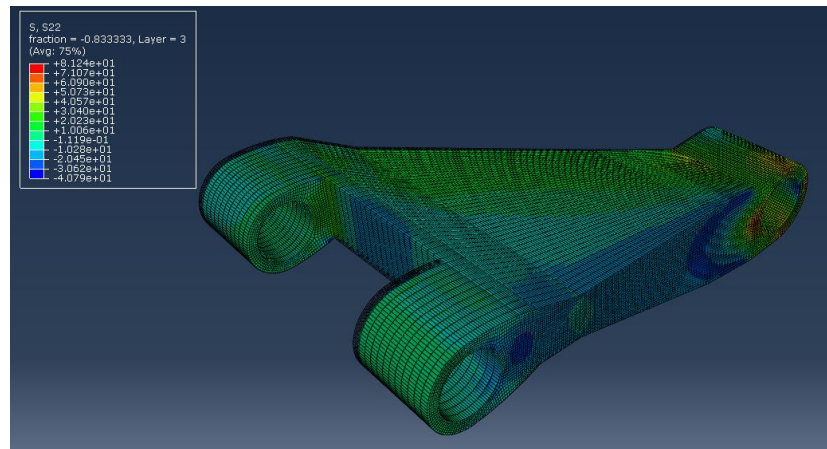
Şekil 3.25'de S11 yönündeki gerilme değerine bakılmıştır ve bu değer 182 MPa olduğu görülmüştür. Bu değer 3. katmanda görülen değerdir. Her katman için detaylı değerler Çizelge 4.1.' de verilmiştir.

Şekil 3.26' da S12 yönündeki gerilme değeri 15,5 MPa olarak görülmüştür.



Şekil 3.26. S12 yönünde oluşan gerilme değeri

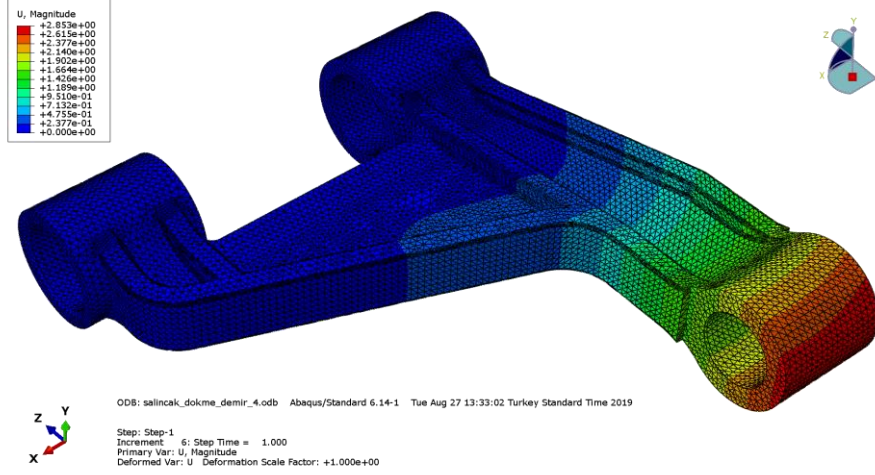
Şekil 3.27' de S22 yönündeki gerilme değeri verilmiştir. Bu değer 81 MPa olarak görülmüştür.



Şekil 3.27. S22 yönündeki gerilme değeri

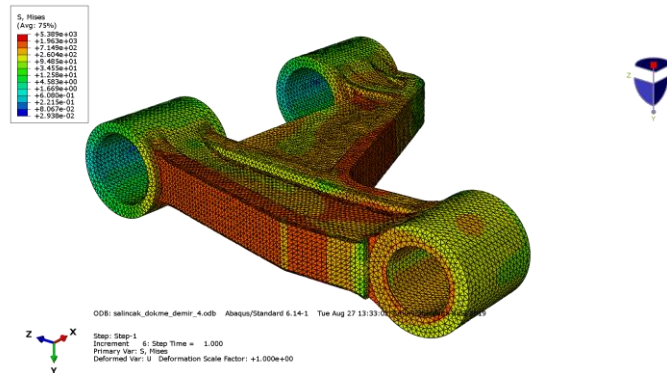
Aynı yükler altında mevcut salıncak koluna da analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucunda oluşan gerilme ve deformasyon miktarlarına bakılmıştır.

Şekil 3.28'de döküm salıncağa yapılan analiz sonucu oluşan deformasyon miktarı 2,65 mm olarak görülmüştür. Bu deformasyon yükün en çok geldiği bölgede oluşmuştur.



Şekil 3.28. Döküm salıncak kolunda oluşan deformasyon miktarı

Şekil 3.29' da döküm salıncak üzerinde oluşan gerilme değerine bakılmıştır ve bu değer 538 MPa olarak görülmüştür. Bu değer 417 MPa olan malzemenin akma mukavemetinin üzerinde olduğu için salıncak kolunun kırılabileceği görülmüştür. Bu analiz aslında bir doğrulama için yapılmıştır gerçek hayatta yaşanan bu durum bilgisayar üzerinde doğrulanmış olmuştur.



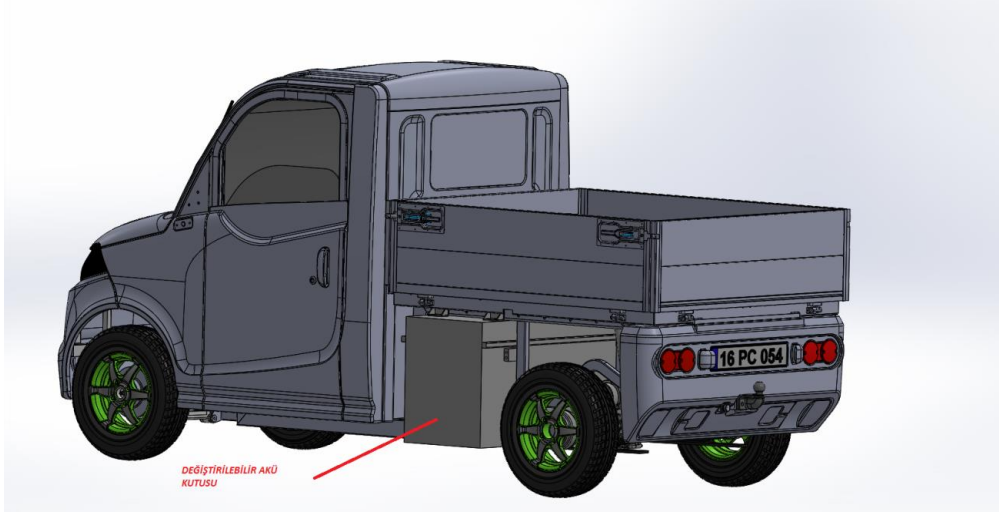
Şekil 3.29. Döküm salıncak kolunda oluşan gerilme değeri

3.3. Şasi Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Analizi

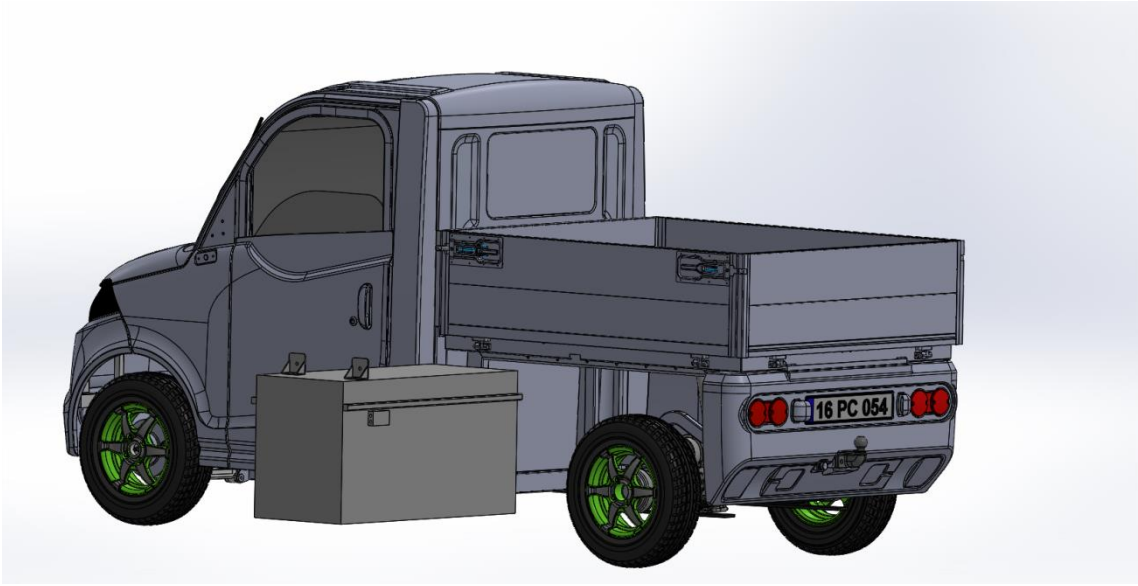
Şasi tasarımı yapılırken önce araçtan istenen beklentiler ve regülasyonlar göz önüne alınmıştır. L7 e CU kategori olan bir araç için belirli regülasyon şartlar mevcuttur. Bunun şasiyle en çok ilgili olanı ağırlıktır. Ayrıca, bazı testler sırasında da şasi dayanımı yüksek olmalıdır. Örneğin fren testi bunlardan biridir. Fren testi sırasında aracın fren sisteminin yapısı gereği ön frenler arka frenlere göre %70'e %40 gibi bir oranda performans göstermektedir. Bu durum sürüş emniyeti açısından istenen bir durumdur. Böyle bir durumda aracın hem kendi ağırlığı hem de üzerindeki taşınabilir kütlelerin etkisi süspansiyon ve süspansiyonun şasi üzerindeki bağlantı noktalarında çok fazla görülmektedir. Dolayısıyla şasi tasarımında hem ağırlık hem de dayanım sağlayabilmek için ciddi çalışmalar yapılmıştır.

Tez çalışmasında ele alınan süspansiyon sistemi L7 sınıfı elektrikli bir araca aittir. Elektrikli bir araç olduğu için menzil artırılmasını sağlayabilmek ve rakiplere göre ön plana çıkabilmek için değiştirilebilir akü sistemi eklenmiştir. Bu sistemin aracın şasisine doğrudan ve önemli bir etkisi bulunmaktadır.

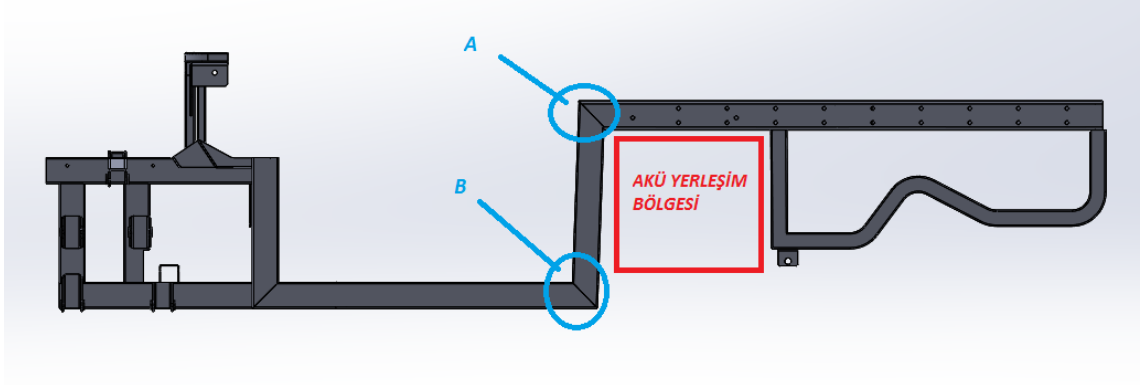
Şekil 3.30.'da görüldüğü gibi aracın üzerinde değiştirilebilir bir akü kutusu mevcuttur. Bu akü paketi aracın üzerinde kolayca değiştirilebilecek şekilde olmalıdır. Şekil 3.31'de aracın üzerinden akü paketinin çıkarılması gösterilmiştir. Bu işlem bir transpalet yardımıyla yapılacak şekilde düşünülmüştür. Bundan dolayı transpaletin tam olarak akü kutusunun altına girebilmesi için bu bölgenin buna göre tasarlanması gerekmektedir.



Şekil 3.30. Değişirilebilir akü paketinin araç üzerindeki yerleşimi

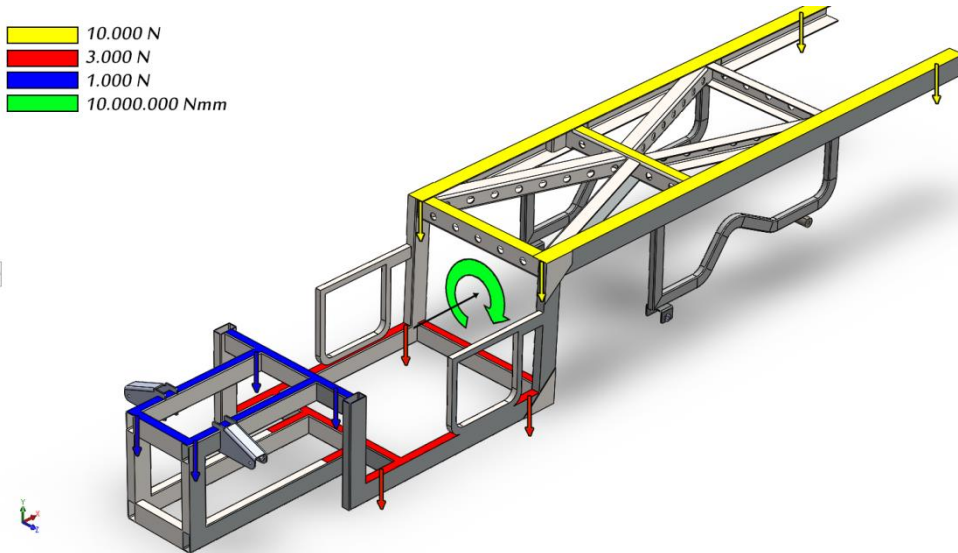


Şekil 3.31. Akü paketinin araç üzerinden çıkartılması



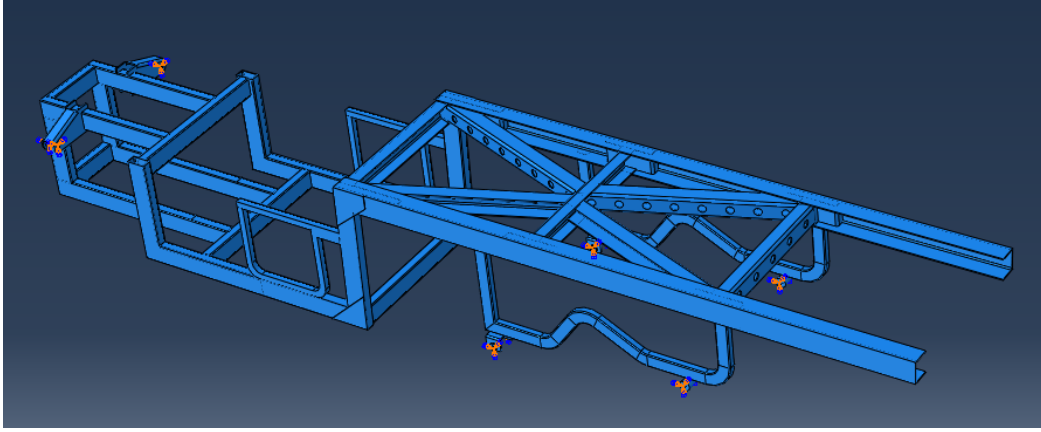
Şekil 3.32. Şasi üzerindeki kritik bölgeler

Akü paketinin montajını sağlayabilmek için şaside kademeli bir yapı kurulmuştur. Bu yapının bir dezavantajı bulunmaktadır. Bütün bir yapının ayrılması bir deformasyon ve gerilme için çok müsait bir durumdur. A ve B bölgelerinin bu çerçeve de çok fazla gerilmeye uğrayacağı ve çok fazla deformasyon oluşacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla bu bölgelere ilave feder takviyesi yapılmıştır. Deformasyonun ve gerilmenin daha homojen yayılmasını sağlayabilmek için yapıda farklı kalınlıklarda ve farklı malzemeler seçilerek tasarım yapılmıştır. Tasarım sırasında burulma da göz önünde bulundurulmuş ve çapraz bağlantılar ile burulmaya dayanıklı bir yapı kurulmak istenmiştir.

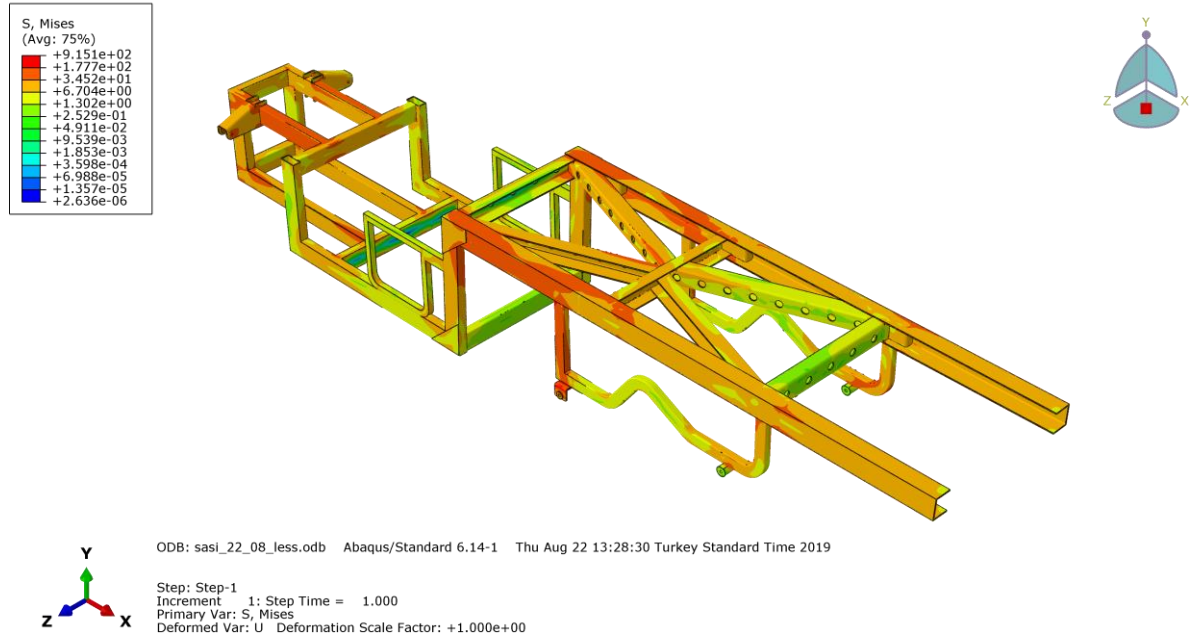


Şekil 3.33. Şasi üzerindeki yükleme durumu

Şasi üzerinde yükleme durumuna göre yük dağılımı yapılmıştır. Analiz yapılırken tekerleklerden gelecek yükü karşılayacak bağlantı noktalarından sabitleme yapılmıştır. Sabitleme noktaları Şekil.3.33'te verilmiştir.



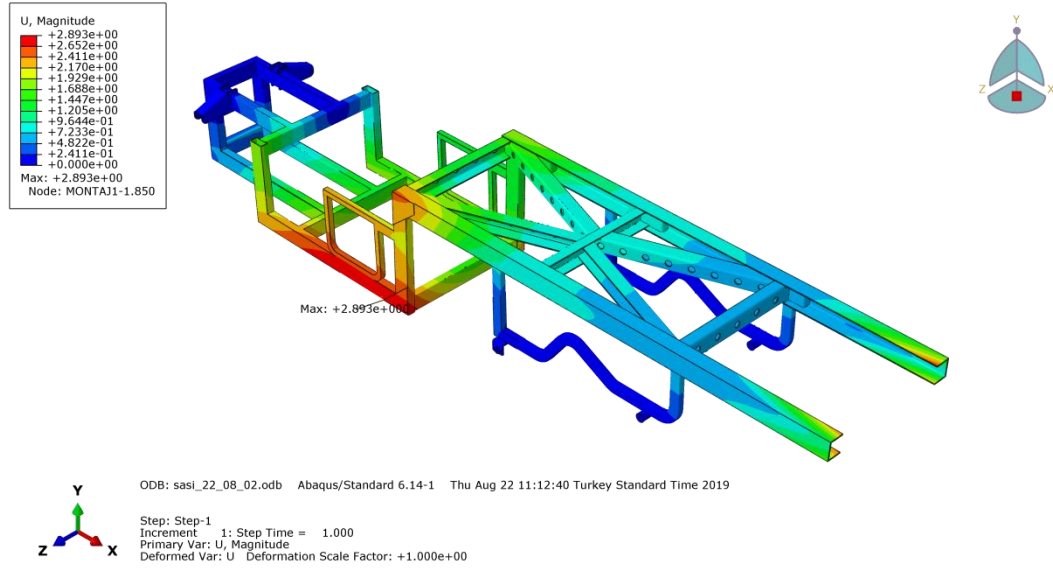
Şekil 3.34. Şasi sabitleme noktaları



Şekil 3.35. Şaside oluşan gerilme değerleri

Analiz sonucunda maksimum maksimum von mises gerilme değeri yaklaşık 92 MPa olarak görülmüştür. Yapı çelik malzemedен imal edilmiştir ve akma sınırı değeri 235

MPa olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla bu sonuçlar altında şasi de herhangi bir plastik deformasyon oluşmadığı görülmüştür.



Şekil 3.36. Şaside oluşan deformasyon miktar

3.4. Şasi Üretimi

Şasinin tasarım aşamasında üretimi de göz önünde bulundurulmuştur. Tasarım esnasında yıllık üretim adetleri göz önünde bulundurularak kalıp maliyetinden kaçınılmak istenmiştir. Dolayısıyla şasinin üretiminde kutu profil ve bükümlü saclar kullanılması öngörülmüştür. Sac parçalar lazer kesim ile kesilerek abkant ile bükümlü hale getirilmiştir. Değişik kesimli formlar için de lazer kesim kullanılmıştır. Şasi ilk tasarımda uzun bırakılmıştır, bunun sebebi ise ileride eklenebilecek üst yapı içindir. Birleştirme yöntemi olarak kaynaklı imalat tercih edilmiştir. Şasinin tasarıma uygun ölçülerde üretilebilmesi için universal kaynak fikstürü kullanılmıştır. Kaynak yöntemi olarak gaz altı kaynak yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.37. Üretilmiş şasi görseli

Şasi üretimi yapıldıktan sonra 3b koordinat ölçüm cihazı ile ölçülerek data ile karşılaştırılmıştır. Ardından ikinci kontrol olarak parçalar üzerine takılarak doğrulanmıştır.(Şekil 3.38)



Şekil 3.38. Yürüyen aksam montajlanmış şasi görseli



Şekil 3.39. Yürüyen aksam montajlanmış şasi görseli

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Sonlu Elemanlar Analizinden elde edilen gerilmeler ve hasar değerlerine ait sonuçlar Çizelge 4.1'de görülmektedir. Aynı zamanda döküm salıncak kolu için de analizler gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. Sonlu Elemanlar Analiz sonuçları.

MALZEME	S11	S22	S33	PE	HSHNFCRT	HSHNFCRT	HSHNMCCRT	HSHNMTCRT	VERİ
STANDART	182,6	81,1	0	0	1,522	0,402	0,625	0,925	1. KAT
FRTG GPP4570	182.2	81.19	0	0	0.179	0.03695	0.6795	11.74	1. KAT
STANDART	182,1	81,2	0	0	1,508	0,401	0,546	0,923	2. KAT
FRTG GPP4570	182.1	81.22	0	0	0.173	0.03988	0.6512	11.75	2. KAT
STANDART	182	81,2	0	0	1,494	0,4	0,517	0,92	3. KAT
FRTG GPP4570	181.9	81.24	0	0	0.1707	0.03682	0.6234	11.75	3. KAT
STANDART	181,8	81,2	0	0	1,48	0,399	0,524	0,918	4. KAT
FRTG GPP4570	181.7	81.27	0	0	0.1692	0.03675	0.5960	11.76	4. KAT
STANDART	181,7	81,3	0	0	1,46	0,398	0,531	0,916	5. KAT
FRTG GPP4570	181.6	81.3	0	0	0.1678	0.03669	0.5691	11.77	5. KAT
STANDART	181,5	81,3	0	0	1,45	0,398	0,539	0,914	6. KAT
FRTG GPP4570	181.4	81.32	0	0	0.1665	0.03662	0.5626	11.78	6. KAT
STANDART	181,5	170,5	0	0	0,079	0,0906	6,57	0,88	7. KAT
FRTG GPP4570	86.62	170.5	0	0	0.00911	0.008349	28.23	51.77	7. KAT
STANDART	86,6	170,4	0	0	0	0,0907	6,37	0,87	8. KAT
FRTG GPP4570	86.65	170.4	0	0	0.009085	0.008355	27.95	81.68	8. KAT
STANDART	86,6	170,3	0	0	0,079	0,0908	6,18	0,86	9. KAT
FRTG GPP4570	86.68	170.2	0	0	0.009054	0.008360	27.67	51.59	9. KAT
STANDART	125,1	118,1	0	0	0,404	0,189	0,676	2,1	10. KAT
FRTG GPP4570	124.6	117.6	0	0	0.04818	0.01729	46.327	25.64	10. KAT
STANDART	124,6	116,8	0	0	0,659	0,187	1,357	2,07	11. KAT
FRTG GPP4570	124.1	116.4	0	0	0.07787	0.01714	7.722	25.13	11. KAT
STANDART	123,3	116,3	0	0	0,47	0,183	0,646	2,03	12. KAT
FRTG GPP4570	122.8	115.9	0	0	0.05607	0.01678	13.33	24.89	12. KAT
STANDART	122,7	115,1	0	0	0,737	0,182	1,094	2	13. KAT
FRTG GPP4570	122.3	114.7	0	0	0.08697	0.01663	9.594	24.39	13. KAT
STANDART	121,4	114,6	0	0	0,54	0,178	0,585	1,967	14. KAT
FRTG GPP4570	121	114.2	0	0	0.06456	0.01629	15.57	24.14	14. KAT
STANDART	120,9	113,4	0	0	0,82	0,176	0,805	1,938	15. KAT
FRTG GPP4570	120.4	113	0	0	0.09695	0.01613	11.65	23.66	15. KAT

Çizelge 4.1.'de Kompozit salıncak kolunun iki farklı malzeme ve farklı katlar altındaki hasar durumu verilmiştir. Bu sonuçlara göre FRTG GPP 4570 malzemesinin Glass PP malzemesine göre daha dayanıklı bir malzeme olduğu görülmüştür. Kompozit malzeme tasarımı 30 kat yapıldığında ilk 6 katta fiber basma durumunda hasar olduğu

görülmüştür. İlk 6 katta oluşan hasar parçanın tamamen kırılmasına sebep olmayacağı için tasarımın uygun olduğuna karar verilmiştir.

Döküm salıncak kolunda ise 2,65 mm deformasyon görülmüştür. Salıncak kolunda meydana gelecek yorulma sonucunda bu değer ciddi bir tehlike oluşturup salıncak kolunun kırılmasına sebep olabilir.

Yapılan şasi tasarımının analizlerinin yapılması sonucu tasarım yükleri altında dayanıklı bir şasi olduğu gözlemlenmiştir. En fazla problemin akü yerleşim bölgesindeki deformasyon olduğu gözlemlenmiştir. Bu deformasyonu azaltmak için feder takviyesi yapılmış ve kabul edilebilir deformasyon miktarına düşürülmüştür.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, üretim prosesinden kaynaklı problem yaşanan salıncak kolunun tasarım ve malzeme değişikliği yapılmıştır. Salıncak kolunda kompozit malzeme kullanılarak, dayanımının artırılması, korozyon direncinin artırılması ve hafifletme hedeflenmiştir. Kompozit malzeme kullanımının sürekli yorulma altında çalışan bir parçada denenmesi çalışma açısından bir farklılık getirmiştir. Farklı malzemelerin ve katman yapısının mukavemete etkisine bakılmıştır. Farklı malzemeler ve farklı dizilimler sonucunda FRTG GPP 4570 malzemesi ile 30 katmanlı olarak tasarlanan salıncak kolunun uygun olduğu ve araçta kullanılabileceği görülmüştür.

Günümüzde oldukça önemli bir konu olan elektrikli araçlar çalışmanın ana çıkış sebeplerindedir. Bu çalışmada konu alınan araç L7 e CU kategori trafiği çıkış izni bulunan bir elektrikli kamyonettir. Araç tasarımında en önemli bileşenlerden birisi olan şasinin tasarımı bu çalışma çerçevesinde yapılmıştır. Şasi tasarımında araçtan beklenenler ve piyasa araştırması doğrultusunda ilerlenmiştir. Rakip araçlardaki taşıma kapasiteleri ve regülasyonların izin verdiği maksimum kütleyi karşılayabilecek bir şasi tasarımı yapılmıştır. Şasi tasarımında çelik malzeme tercih edilmiştir. Şasi, eğilme ve burulma analizlerine tabi tutularak sonuca bakılmıştır. Çıkan sonuç çerçevesinde kullanılan malzeme ve yapının istenilen mukavemet değerlerini sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Kaw, A. 2006. Mechanics of composite materials. U.S.A., 473.

Valverde, M.A., Kupfer, R., Wollmann, T., Kawashita, L.F., Gude, M., Hallet, S.R., 2020. Influence of component design on features and properties in thermoplastic overmoulded composites. *Composite Part A.*,132:105823.

Özer, H. 2015. Sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Yeşil, Ö. 2019. Pultrüzyon yöntemi ile hibrit kompozit profillerin üretilmesi. *Doktora Tezi*, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak.

Akbulut, G. 2018. Sürekli karbon elyaf takviyeli termoplastik monokompozit filament esaslı, kafes geometrili çekirdek yapıların kullanıldığı hafif sandviç paneller geliştirilmesi ve statik dinamik yükler altında performansının deneysel olarak belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Zorer, V.E. 2019. Düşük hızda darbeye maruz cam fiber takviyeli termoplastik kompozitlerin tamir yöntemi. *Yüksek Lisans Tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

Güleşen, M. 2005.Fiber takviyeli termoplastik kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin bulunması. *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.

Tümer, H. 2013.Karbon ve cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit şaftların burulma mukavemeti. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

Alankaya, V. 2013. Süreksiz sınır şartları etkisindeki katmanlı kompozit kabukların yüksek mertebeli kayma deformasyon teorisi ile analizi. *Doktora Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

Anonim, 2020. Types of chassis frames. <https://blogmech.com/tag/semi-integral-frame/>- (Erişim tarihi:05.04.2020).

Kurulay, S. 2020. Sürüş sistemleri eğitim materyali.

<http://kisi.deu.edu.tr/mustafa.karaoglan/Sunu%208%20S%c3%bc%c3%bc%c5%9f%20Sistemleri.pdf>-(Erişim tarihi:.(04.03.2020).

Kurulay, S. 2020. Sürüş sistemleri eğitim materyali.

<http://kisi.deu.edu.tr/mustafa.karaoglan/Sunu%208%20S%c3%bc%3%bc%c5%9f%20Sistemleri.pdf>-(Erişim tarihi:.04.03.2020).

Kurulay, S. 2020. Sürüş sistemleri eğitim materyali.

<http://kisi.deu.edu.tr/mustafa.karaoglan/Sunu%208%20S%c3%bc%3%bc%c5%9f%20Sistemleri.pdf>-(Erişim tarihi:.04.03.2020).

Anonim, 2020. Şasi ve karoseri nedir?.

<https://www.otomobilrehberim.com/2014/01/sasi-ve-karoseri-nedir.html>-(Erişim tarihi:.04.03.2020).

Anonim, 2020. <https://www.wired.com/2016/10/painstaking-process-building-porsche-panamera/> -(Erişim tarihi:.01.03.2020).

Anonim, 2020. <http://www.aycemekatronik.com/hizmet/kaynak-fiksturu>-(Erişim tarihi:.02.02.2020).

Anonim, 2020. (<https://www.delphiautoparts.com/usa/en-US/product/control-arms>) - (Erişim tarihi:.02.02.2020).

Anonim, 2020. (<https://www.carthrottle.com/post/w8xg9r3/>)-(Erişim tarihi:.02.02.2020).

Anonim, 2020. (<http://maybach300c.blogspot.com/2012/09/rigid-and-semi-rigid-crank-axle.html>) -(Erişim tarihi:02.04.2020).

Anonim, 2020. (<https://www.opelyedekleri.com/urun/opel-astra-j-on-sag-salincak-rotilli-delphi-marka-yolcu-terafi>) -(Erişim tarihi:02.04.2020).

Anonim, 2020. (<https://www.schmiedmann.com/en/product/1994281-new?product=31316873721B6>) -(Erişim tarihi:02.04.2020).

Anonim, 2020. (<https://www.globalpiyasa.com/tr/urun/parabolik-yaprak-yay-olgun-celik-a-s/79433>) -(Erişim tarihi:02.04.2020).

Anonim, 2020. (<http://www.yaysanat.com/baski-yayi-celik-yay-cekme-yayi/>)-(Erişim tarihi:02.04.2020).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : M. Buğrahan CEYHAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Seyhan/Adana 03.01.1994
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Mustafa Kemal Anadolu Lisesi, 2011
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 2015
Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Pilotcar Otomotiv San. Tic. A.Ş.

İletişim (e-posta) : bugraceyhan@hotmail.com

Yayınları :