T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KANAT GÖVDE TİPİNDEKİ KOMPOZİT BİR MİNİ İNSANSIZ HAVA ARACININ STATİK MUKAVEMET ANALİZİ

AYBUKE GÖKÇEN YILMAZ İLASLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KANAT GÖVDE TİPİNDEKİ KOMPOZİT BİR MİNİ İNSANSIZ HAVA ARACININ STATİK MUKAVEMET ANALİZİ

AYBUKE GÖKÇEN YILMAZ İLASLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. İLYAS KANDEMİR

GEBZE
2022

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

STATIC STRENGTH ANALYSIS OF A COMPOSITE MINI UNMANNED AERIAL VEHICLE WITH WING BODY TYPE

AYBUKE GÖKÇEN YILMAZ İLASLAN

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. İLYAS KANDEMİR

GEBZE

2022

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16/12/2021 tarih ve 2021/59 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14/01/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Aybuke Gökçen YILMAZ İLASLAN'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. İlyas KANDEMİR

ÜYE : Prof. Dr. Nuriye Leman Okşan ÇETİNER YILDIRIM

ÜYE : Doç. Dr. Ahmet Sinan ÖKTEM

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
……../……..../……. tarih ve ……/……. sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

İnsansız Hava Araçlarına (İHA) yönelik talep ve çalışmalar tüm dünyada ve ülkemizde her geçen gün artmaktadır. Kullanım amacına uygun olarak, bu araçların verimliliği giderek artmaktadır. Gelişmelerin daha da ilerlemesi için birçok ülke hâlâ insansız hava aracı üzerine birçok araştırma ve çalışma yapmayı sürdürmektedir. Bu çalışmada ilk önce gerekli literatür araştırmaları yapılmış ve bu doğrultuda modellenecek olan kanat gövde tipindeki İHA'nın boyutu ve özellikleri belirlenmiştir. Polistiren Köpük malzemeden yapılan kanat gövde tipindeki bir İHA statik analizleri yapılmak üzere sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS Workbench programına aktarılmıştır. İHA modelimiz epoksi karbon UD, epoksi E cam UD ve epoksi S cam UD olmak üzere 3 farklı kompozit malzeme ile kaplanmıştır. Kaplanan malzeme kalınlıkları 0,23 mm ile 0,30 mm'dir ve 50 g ile 100 g gibi yüksek g değerleri uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde; model üzerindeki gerilmeler, güvenlik faktörü ve kaplanan kompozit malzemelerin üzerinde oluşan gerilmeler ile hasar kriteri incelenmiştir. Elde edilen verilerde kaplanan kompozit malzemelerin, yüksek g değerlerinde yapılan analizlerinde mukavemetinin tek katlı kaplamada bile yeterince yüksek olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada aerodinamik kuvvetler ihmal edilmiştir. İHA yatay uçuşta kendi ağırlığını taşırken 1 g'lik taşıma kuvvetine maruz kalır, biz 50 g ve 100 g'de analizler yaptığımız için sonuçların çok aşırı manevra veya sert iniş durumundaki yüklemelere karşılık geldiği kabul edilebilir.

Anahtar Kelimeler: İHA, Kompozit Malzeme, Statik Analiz.

SUMMARY

Demand and studies for Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are increasing day by day all over the world and in our country. In accordance with the intended use, the efficiency of these tools is gradually increasing. In order to further progress, many countries still continue to conduct many researches and studies on unmanned aerial vehicles. In this study, firstly, the necessary literature research was carried out and the size and characteristics of the wing body type UAV to be modeled in this direction were determined. A wing body type UAV made of Polysyrene Foam material was transferred to the ANSYS Workbench program, which works with the finite element method, for static analysis. Our UAV model is covered with 3 different composite materials: Epoksi Karbon UD, Epoksi E cam UD and Epoksi S cam UD. The thickness of the coated material is between 0,23 mm and 0,30 mm, and analyses were carried out by applying high g values such as 50 g and 100 g. In analysis; The stresses on the model, the safety factor and the stresses on the coated composite materials and the damage criterion were examined. In the analysis of the coated composite material at high g values in the obtained data, it has been shown that the strength is high enough even in a single layer coating. In this study, aerodynamic forces are neglected. While lift its own weight in horizontal flight, the UAV is exposed to a lift force of 1 g. Since we perform analyses at 50 g and 100 g, it can be accepted that the results correspond to loads in extreme maneuvering or hard landing situations.

Key Words: UAV, Composite Material, Static Analysis.

TEŞEKKÜR

Ülkemizde ve dünyada sivil ve askeri birçok alanda İHA çalışmaları oldukça hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Bu tez çalışmasında insansız hava aracının ve kompozit malzemelerin özellikleri, kullanım alanları, avantajları dezavantajları araştırılarak kanat gövde tipindeki insansız hava aracının yapısal analizi yapılmıştır.

Hayatım boyunca her zaman desteklerini üzerimde hissettiğim sevgili aileme, bu tez çalışmamda bana destek olan Doç. Dr. Ahmet Sinan ÖKTEM'e, benden bilgilerini, desteklerini ve tecrübesini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. İlyas KANDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMA DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1.LİTERATÜR ÇALIŞMASI	1
2. (İHA) İNSANSIZ HAVA ARACININ TARİHİ	5
2.1.1. Sabit İHA	7
2.1.2. Multikopter İHA	8
2.1.3. Tek Pervaneli İHA	9
2.1.4. Hibrit İHA	10
2.2. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması	10
2.2.1. SHGM Sınıflandırması	10
2.2.2. Boyut ve Yüke Göre Sınıflandırma	12
2.3. (İHA) İnsansız Hava Aracının Kullanım Alanları	15
2.3.1. Büyük Ölçekli Haritaların Yapılması	16
2.3.2. Arkeolojik Alanların Belgelenmesi	16
2.3.3. Orman Alanlarına Yönelik Uygulamalar	17
2.3.4. Tarımsal Uygulamalar	17
2.3.5. Afet Yönetimi	17
2.4. (İHA) Projesinin Sağladığı Avantajlar / Dezavantajlar	18
2.4.1. İHA Sistemlerinin Avantajları	18
2.4.2. İHA Sistemlerinin Dezavantajları	19
3.KOMPOZİT MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ	21
3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	21
3.1.1. Matris Yapılarına Göre Kompozitler	21

3.1.2. Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler 26
3.2. Kompozit Malzeme Avantajları/Dezavantajları 26
3.2.1. Avantajları 26
3.2.2. Dezavantajları 28
3.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları 29
3.3.1. Denizcilik 29
3.3.2. Rüzgar Enerjisi 29
3.3.3. Uzay ve Havacılık 30
3.3.4. Savunma Sanayi 31
3.3.5. İnşaat 32
3.3.6. Eğlence 32
3.3.7. Spor Ekipmanları 33
3.3.8. Otomotiv 33
3.3.9. Sağlık Sektörü 33
4. (İHA)İNSANSIZ HAVA ARACININ KANAT TASARIMI 34
4.1. İHA Çalışmaları 34
4.1.1. Anka 34
4.1.2. Hermes 900 34
4.1.3. Hermes 450 35
4.1.4. Gray .Eagle 36
4.1.5. Predator XP 37
4.1.6. Orion E 38
4.2. Kanat ve Kanat Türleri 38
4.2.1. Konumlarına Göre Kanatlar 39
4.2.2. Yapılarına Göre Kanatlar 39
4.3. Kanat Parçaları 40
4.4. Kanadın Konumunun Belirlenmesi 41
4.4.1. Alttan Kanat Profili 42
4.4.2. Ortadan Kanat 42
4.4.3. Üstten Kanat 43
4.5. NACA Kanat Profilleri 45
4.5.1. Dört Basamaklı Seriler 46
4.5.2. Beş Basamaklı Seriler 46
4.5.3. “1” Serileri 46

4.5.4. “6” Serileri 47
4.5.5. “7” Serileri 47
4.5.6. “8” Serileri 47
5. KOMPOZİT KANAT GÖVDE YAPISININ STATİK ANALİZİ 48
5.1. 50G Analiz Sonuçları 53
5.1.1. Epoksi Karbon UD 230 GPa Prepreg Malzeme Sonuçları (Tek Kat) 58
5.1.2. Epoksi E cam Malzeme Sonuçları (Tek Kat) 60
5.1.3. Epoksi S cam Malzeme Sonuçları (Tek Kat) 63
5.1.4. Epoksi Karbon UD 230 GPa Prepreg Malzeme Sonuçları (İki kat) 65
5.1.5. Epoksi E cam Malzeme Sonuçları (İki Kat) 69
5.1.6. Epoksi S cam Malzeme Sonuçları (İki Kat) 70
5.2. 100 G Analiz Sonuçları 72
5.2.1. Epoksi Karbon UD 230 GPa Prepreg Malzeme Sonuçları (Tek Kat) 72
5.2.2. Epoksi E cam Malzeme Sonuçları (Tek Kat) 74
5.2.3. Epoksi S cam Malzeme Sonuçları (Tek Kat) 78
5.2.4. Epoksi Karbon UD 230 GPa Prepreg Malzeme Sonuçları (İki Kat) 79
5.2.5. Epoksi E cam Malzeme Sonuçları (İki Kat) 82
5.2.6. Epoksi S cam Malzeme Sonuçları (İki Kat) 84
5.3. TSAI-WU Hasar Kriteri 55
6. SONUÇ VE YORUMLAR 88

KAYNAKLAR 92
EKLER 97
ÖZGEÇMİŞ 104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ε	: Epsilon
γ	: Gamma
g	: Gram
kg	: Kilogram
m	: Metre
cm^3	: Santimetreküp
σ	: Sigma
τ	: Tau
g	: Yerçekimi İvmesi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
NACA	: National Advisory Committee for Aeronautics Havacılık Ulusal Danışma Komitesi
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SHT	: Sivil Havacılık Talimatı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Scout İHA.	6
2.2:	Predator B.	6
2.3:	Sabit kanatlı İHA.	8
2.4:	Döner kanatlı İHA görüntüleri: üç pervaneli trikopter.	9
2.5:	Döner kanatlı İHA görüntüleri:dört pervaneli quadkopter ve altı pervaneli hexakopter.	9
2.6:	Hibrit İHA.	10
2.7:	Büyük ölçekli İHA.	12
2.8:	Orta ölçekli İHA.	13
2.9:	Küçük ölçekli İHA	13
2.10:	Mini ölçekli İHA	14
2.11:	İnsansız Hava Aracının Kullanım Alanları	16
3.1:	Rüzgâr enerjisi	30
3.2:	Uzay ve havacılık	31
4.1:	Anka	34
4.2:	Hermes 900	35
4.3:	Hermes 450	36
4.4:	Gray Eagle	37
4.5:	Predator XP	37
4.6:	Orion E	38
4.7:	Konumlarına göre kanat türleri	39
4.8:	Yapılarına göre kanatlar/kanat parçaları	40
4.9:	Kanat parçaları	41
4.10:	Alttan kanat	42
4.11:	Ortadan kanat	43
4.12:	Üstten kanat	44
4.13:	Aerodinamik profili	45
4.14:	Kanat profili	46
5.1:	İHA modeli	50
5.2:	İHA simetri ekseninden bölünmüş hali	50

5.3: Yakınsama grafiği 51
5.4: Ağ görünümü 52
5.5: Uygulanan g kuvveti 52
5.6: Deformasyon -ters iniş 53
5.7: Deformasyon -düz iniş 53
5.8: Stres - ters iniş 53
5.9: Fiber yönü 55
5.10: ACP Pre modülü 56
5.11: Statik yapı modülü 56
5.12: ACP Post modülü 56
5.13: Hasar kriteri 57
5.14: ACP modül şeması 57
5.15: Polistiren köpük - epoksi karbon UD deformasyon, güvenlik faktörü 59
5.16: Epoksi karbon UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 59
5.17: Epoksi karbon UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 60
5.18: Epoksi karbon UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 60
5.19: Polistiren köpük - epoksi E cam UD deformasyon, güvenlik faktörü 61
5.20: Polistiren köpük - epoksi E cam UD deformasyon, güvenlik faktörü (düz iniş durumu) 60
5.21: Epoksi E cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 62
5.22: Epoksi E cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 62
5.23: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 62
5.24: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter (düz iniş durumu) 61
5.25: Polistiren köpük - epoksi S cam UD deformasyon, güvenlik faktörü 64
5.26: Epoksi S cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 64
5.27: Epoksi S cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 64
5.28: Epoksi S cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 65
5.29: Polistiren köpük - epoksi karbon UD deformasyon, güvenlik faktörü (iki kat) 64
5.30: Epoksi karbon UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 66
5.31: Epoksi karbon UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 67
5.32: Epoksi karbon UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 67
5.33: Polistiren köpük - epoksi E cam UD deformasyon, güvenlik faktörü

(iki kat) 66
5.34: Epoksi E cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 69
5.35: Epoksi E cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 69
5.36: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 69
5.37: Epoksi S cam UD Deformasyon, güvenlik faktörü (iki kat) 70
5.38: Epoksi S cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 71
5.39: Epoksi S cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 71
5.40: Epoksi S cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 72
5.41: Polistiren köpük- epoksi karbon UD 230 GPa prepreg malzeme sonuçları (100 g) 70
5.42: Epoksi karbon UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 74
5.43: Epoksi karbon UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 74
5.44: Epoksi karbon UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 74
5.45: Polistiren köpük - epoksi E cam UD malzeme sonuçları (100 g) 75
5.46: Polistiren köpük - epoksi E cam UD malzeme sonuçları (100 g) (düz iniş durumu) 73
5.47: Epoksi E cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 76
5.48: Epoksi E cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 77
5.49: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 77
5.50: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter (düz iniş durumu) 74
5.51: Polistiren köpük - epoksi S cam UD malzeme sonuçları (100 g) 78
5.52: Epoksi S cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 79
5.53: Epoksi S cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 79
5.54: Epoksi S cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 79
5.55: Polistiren köpük - epoksi karbon UD 230 GPa prepreg malzeme sonuçları (100 g- iki kat) 76
5.56: Epoksi karbon UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 81
5.57: Epoksi karbon UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 81
5.58: Epoksi karbon UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 82
5.59: Epoksi E cam UD malzeme sonuçları (100 g- iki kat) 83
5.60: Epoksi E cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 83
5.61: Epoksi E cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 84
5.62: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 84

5.63: Polistiren köpük - epoksi S cam UD malzeme sonuçları (100 g- iki kat) 81
5.64: Epoksi S cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 86
5.65: Epoksi S cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 86
5.66: Epoksi S cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriter 87

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	SHT-İHA, 2017	11
2.2:	İHA Sistemi Sınıflandırılması	14
2.3:	İHA Sistemleri Görev ve Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	14
5.1:	Yakınsama Tablosu	51

1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

İHA gövde ve kanatlarında kullanılan malzemeler ve kullanılan kanat tipleri ile ilgili yapılan literatür çalışmaları incelenmiştir.

Literatürlere bakıldığında İHA gövde kanat profillerinde verim sağlayan kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Birçok benzer çalışmalarda ise metal kullanımı olduğu incelenmiştir. Kompozit malzemenin önemi tez çalışmamda yazılmıştır.

İHA'ların düşük hızlarda verimli çalışabilmesi için kanat geometrileri, kullanılan malzeme ve kanadın mukavemeti önemli faktörlerdir.

Maliyet açısından daha ucuz ve geliştirilebilir olması nedeniyle askeri operasyonlar dışında günümüzde son zamanlarda sivil amaçlar için kullanılmaktadır.

Kong ve arkadaşları günümüzdeki tasarım yaklaşımıyla optimum düzeyde rüzgar türbini kanat tasarımını sonlu elemanlar yöntemiyle kullanılmıştır. Kanat tasarımlarında 23,3 m uzunluğunda kanat tercih edilmiştir. Kanat profili olarak NACA 63-218 profili kullanılmıştır. Maksimum kanat genişliği olarak 2,1m, döndürme açısı 12° olarak belirtilmiştir. Epoksi E cam malzemesinden tasarlanan kanadın yorulma ömrünü 20 yıl bularak çalışacağını kanıtlamıştır [1].

Bechly, M.E., Clausen, P.D., çalışmalarında rüzgar türbin kanat profili olarak NACA 4412 profilini seçmişlerdir. Kanat uzunluğu 2.5m ve kullanılan malzeme fiberglas kompozittir. Sonlu elemanlar metodunu kullanarak kanat kesitlerinin çalışmasını detaylı olarak ortaya çıkarmışlardır. Kanadın, panel kod tahminlerinin sonlu elemanlar metoduyla yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle, statik burulma ve büküm karşılaştırarak, farklı titreşimlerdeki detayları belirlemişlerdir [2].

Avcı ve arkadaşları çalışmalarında kanat tasarımının akış analizi için meteoroloji verilerinden yararlanılarak belirli tarihte Çeşmede en yüksek rüzgâr hızını araştırmışlardır. Rüzgâr hızı kullanılarak kanattaki hız, basınç ve kuvvet değerleri bulunmuştur. Ansys çalışma alanı kullanarak elde ettikleri maksimum basınç değerleri için kompozit malzeme Epoksi Ecam ve alüminyum alaşım için kanat yapısında meydana gelen gerilme ve toplam deformasyon miktarlarını çıkarmışlardır. Malzeme özelliklerini ve kanat yapısının önemini belirtmişlerdir. SolidWorks programını kullanarak NACA 4415 profili için kanat tasarlamışlardır [3].

Ö.Gülbahar “Karayel İnsansız Hava Aracının Statik Ve Dinamik Analizleri” isimli çalışmasında Vestel Savunma tarafından geliştirilmiş olan “Karayel İnsansız Hava Aracı” ’nın tasarımının bir kısmını, sonlu elemanlar modeli (SEM) ile oluşturulan modelin analiz ve test çalışmalarını, elde edilen sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılmasını incelemiştir. Sonlu elemanlar modeli için MSC Nastran/Patran 2010 kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda aracın yeterince dayanıklı ve uçuşa uygun olduğu sonucuna varılmıştır [4].

Vardar ve arkadaşları çalışmalarında Rüzgârdaki kinetik enerjinin maksimum %59’u yararlı enerjiye dönüştürülebildiği için rüzgar türbin kanadının aerodinamik özelliklerinin oldukça önemli olduğunu ortaya koyan bir çalışma yapmışlardır. Öncelikle üzerinde daha önce çalışmalar yapılan 5 farklı kanat profilini incelemişler, sonrasında ise daha önce rüzgâr türbin kanadı olarak kullanılmamış bir kanat profilini de dikkate alarak toplamda 6 farklı tipte kanat profili üzerinde çalışmışlardır [5].

Scherer çalışmasında, ağırlık ve aerodinamik performans açısından kanat tasarımının oldukça zor olduğundan bahsetmiştir. Üretim teknolojisi ileri tasarım araçlar, malzeme seçimi kanat tasarımı için önemlidir. 62 m rotor çapına sahip, epoksi cam fiber malzemeden yapılmış olan kanadın aerodinamik ve yapısal tasarımı üzerine tez çalışması hazırlamıştır. Kanat tasarımında kompozit malzeme kullanılarak daha hafif, statik yüklere karşı yüksek direnc sahip, uzun seneler kullanılabilen kanat tasarlamıştır [6].

Habali ve Saleh çalışmalarında, küçük kanatları araştırmışlardır ve bu kanatlar 5m’ye kadar uzunluğa sahiptir. Rüzgâr enerjisinin dönüştürülmesinde kullanılan en önemli bileşeninin rotor olduğu belirtilmişlerdir ve rotorda kompozit malzemelerden biri olan cam elyaf takviyeli plastik malzeme kullanılmıştır. Tasarlanan kanat analiz edildiğinde on kata kadar kuvvete dayanacağı bulunmuştur [7].

Habali ve Saleh önceki araştırmalarında 2 farklı kanat profili seçerek rotor kanadı bu iki profilin kombinasyonu olarak yapmışlardır. Bu çalışmada fiber takviyeli plastik kompozit malzemeden kanat tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan kanat üzerinde analiz yapıldığında %41,2 güç katsayısına sahip olduğunu ve bu değerin oldukça tatmin edici bir sonuç olduğunu göstermişlerdir [8].

Yang et al, çalışmasında büyük ölçekli rüzgar türbinlerinde kompozit kanadın yükleme altında yapılan testleri incelenmiştir. Yükleme sonucunda kanadın verdiği tepkiler incelenmiştir. Test edilen kanada tasarım yükünün %160 kadar yük uygulanmış ve kanadın toplam deformasyonu 11 m olarak bulunmuştur [9].

Grogan et al, denizde çalışan türbin kanatları hakkında çalışma yapmışlardır. Türbin kanatları deniz suyunun yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklı, oldukça önemli bir burulma ve itme yüküne maruz kalırlar. Normal çalışma ve sıra dışı çalışma durumlarında türbinin kanat üzerinde dağılan yükünü belirlemek amacıyla hidrodinamik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde ettiği verilerle kanadın ana kirişindeki gerinim dağılımlarını elde etmişlerdir. Kanadın ana kirişinde cam fiber ile güçlendirilmiş polimer malzemesi ve karbon fiber ile güçlendirilmiş polimer malzemesi seçilerek sonlu elemanlar metoduyla analizi yapılmış ve iki model karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda karbon fiber malzemenin cam fiber malzemeden daha güçlü olduğunu beyan etmişlerdir [10].

Tseng ve Ku 1 kW rüzgar jeneratör sisteminde kanat üzerine burulma yükü uygulamışlardır. Kanat malzemesi cam fiber epoksi malzemeden oluşmaktadır. Yapılan çalışmada kanat için burulma yükü değeri bulunması amaçlanmıştır aynı zamanda kanadın kök kısmının nereden kopabileceği görmek adına çalışmalarını yapmışlardır. Kanadın içine köpük malzeme konulmuş, üst kabuğu kompozit malzemeden oluşturulmuştur.

Burulma yükü uygulandıktan sonra kanadın kökündeki alüminyum şaft ile kompozit malzemenin temas ettiği yerde kopma olayı başlamış ve sonrasında kökten tamamen koptuğu görülmüştür [11].

Uysal çalışmasında, rüzgar türbini ve bileşenlerinden, rüzgar türbinlerindeki kanatların profillerinden, rüzgar türbinlerinde kullanılan malzeme çeşitlerinden bahsetmiştir. Çalışmada cam takviyeli plastik malzeme kullanılarak rüzgar türbininin kanat üretimini anlatmıştır. 400 mm uzunluğunda kanat modeli için cam fiber keçe takviyeli polyester malzeme kullanarak üretim yapmıştır [12].

Shokrieh ve Rafiee kompozit malzemeden yapılan yatay eksenli rüzgar türbin kanadının ömür hesabı için tahminde bulunmak üzere çalışma yapmışlardır. Stokastik yaklaşımla, rastgele olan rüzgar akışında kanat üzerine gelen yüklerin statik analizi yapılmıştır. Analizlerde 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarında en az 18,66 yıl, en fazla 24 yıl ömrünün olacağı yönünde tahminde bulunmuşlardır [13].

Chen et al, çalışmalarında büyük kanatlarda meydana gelen arızlar için araştırma yapmışlardır. Araştırmalarında 52,3 m uzunlukta kanat profili kullanmışlardır. Kanat cam epoksiden yapılmıştır. Çalışma sonucunda kanadın birden çok arıza gösterdiğini

görmüşlerdir. Bu arıza modları arasında kanadın kopmasında en temel etkenin, spar başlığındaki tek yönlü laminatların delaminasyonu olduğu sonucuna varmışlardır [14].

Yapılan çalışmalara bakıldığında literatür araştırmaları göstermektedir ki çok çeşitli kanat tasarımları ve analizler yapılmıştır. Bu çalışmada ise, NACA 2308 kanat gövde profilinde, köpük malzemeden yapılmış olan modelimiz epoksi karbon UD, epoksi E cam UD ve epoksi S cam UD olmak üzere 3 farklı kompozit malzeme ile kaplanmıştır. Kaplanan malzeme kalınlıkları 0,23 mm ile 0,30 mm'dir ve 50 g ile 100 g gibi yüksek g değerleri uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde; model üzerindeki gerilmeler, güvenlik faktörü ve kaplanan kompozit malzemelerin üzerinde oluşan gerilmeler ile hasar kriteri incelenmiştir. Elde edilen verilerde kaplanan kompozit malzemelerin yüksek g değerlerinde yapılan analizlerinde mukavemetinin tek katlı kaplamada bile yeterince yüksek olduğu gösterilmiştir.

2. İHA TARİHİ

İnsansız Hava Aracı (İHA); içerisinde insan bulundurmaksızın, kendiliğinden otomatik olarak veya uzaktan kumanda ile uçan bir hava aracıdır [15].

Yaklaşık olarak 100 yıllık bir geçmişe sahip olan dünya havacılığı, zamanla gelişmiş, taktik ve teknik olarak da sürekli değişime uğramışlardır. Bilgisayar teknolojilerinin de gelişmesiyle birlikte görünmez olmuşlar ve oldukça hassas bir şekilde hedeflerine ulaşmaktadırlar. Bomba ve füze teknolojisindeki gelişmeler de göz önüne alınırsa ölümcül bir teknoloji halini almışlardır [16].

Teknolojideki gelişmelerle birlikte havacılık sektöründe de önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bununla birlikte havacılıkta üretim yöntemlerinde de birçok gelişme meydana gelmiştir. Askeri alanda birçok ülkenin hava savunmasına verdikleri önem neticesinde çeşitli amaçlarla kullanmak üzere "İnsansız Hava Araçları (İHA)" ortaya çıkmıştır. İHA'ların askeri alanda kullanımının yanı sıra sivil alanda da kullanılmasıyla birlikte, İHA kendi pazarını ve ekonomisini yaratmaya başlamıştır [18].

Hava saldırısında ilk İHA kullanımı, 22 Ağustos 1849'da Avusturyalılar'ın Venedik şehrine patlayıcı yüklü balonlarla yaptıkları saldırı ile tarihi kayıtlara geçilmiştir. Patlayıcı yüklü ve pilotsuz olan 200 adet hava balonları içinden bir kısmı rüzgârın etkisiyle Avusturya birliklerinin üstüne düştüğü kayıtlara geçmiştir. İHA'ların kullanılmaya yönelik ilk çalışmaları 1.Dünya Savaşı sonlarına doğru başlamıştır. İlerleyen yıllarda yeni İHA modelleri üretilmesi ile İHA'lar 2. Dünya Savaşı ve Vietnam da kullanılmıştır. Teknolojik alandaki gelişmelerle birlikte, en güvenli şekilde havada kalabilen İnsansız Hava Araçları'nın kullanım alanlarında artış görülmüştür. Çoğu kez keşif, gözlem ve imha amaçlı kullanılan İHA'lar silah donanımı eklenerek Afganistan ve Irak savaşlarında da kullanılmıştır [15].

1980'lerde İsrail Uzay Endüstrisi tarafından, Scout İHA modeli kısa-orta mesafeli İHA olarak tasarlanmıştır. Scout mini insansız hava aracı, 3,96 metre kanat açıklığına ve cam elyaf gövdeye sahiptir [17].

Döner mekanizmasının üzerinde bulunan kamera ile ilk gerçek zamanlı görüntü aktarımı yapmasıyla tarihe geçen Scout İHA aynı zamanda oldukça hafiftir [17]. Şekil 2.1'de Scout İHA gösterilmiştir [61].

Şekil 2.1: Scout İHA.

İsrail tarafından geliştirilen Pioneer, körfez harekatında kullanılmış ve uçak gemisine inebilen ilk İHA olarak tarihe geçmiştir. Günümüzde balkanlardaki barış güçleri tarafından kullanılan uçak, İsrail tarafından da kullanılmaktadır [17].

Predator İHA, Amerika Hava Kuvvetleri tarafından keşif amacıyla tasarlanmıştır. Bu modele silah ekleyerek tasarladıkları yeni model Predator B olarak adlandırılmıştır. Predator B Şekil 2.2'de gösterilmiştir [17].

Şekil 2.2: Predator B.

İHA'lar askeri alanda kullanılmasının yanında hobi amaçlı da kullanılmaya başlanmasıyla sivil havacılık faaliyetlerinde de oldukça yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca NASA uzay çalışmalarında İHA'ları kullanmaya başlanmıştır. İHA'lar her geçen gün gelişmiş ve kullanıldıkları alanlar da çeşitlenmiştir. Böylece İHA sektöründe önemli gelişmeler yaşanması kaçınılmaz olmuştur [18].

2.1. İHA Türleri

Çeşitli amaçlar için geliştirilen farklı İHA'ların dünyada ve ülkemizde her geçen gün yaygınlaşan birçok farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Farklı amaçlar doğrultusunda farklı tasarımlarla geliştirilen İHA'ları sistem olarak 4 farklı sınıfa ayırmak mümkündür. Sürekli gelişmekte olan İHA sistemleri olumlu ve olumsuz olarak birçok özellik sunmaktadır. Kullanıcıların uygun sistemi seçmeleri maliyet ve iş yükü bakımından büyük öneme sahiptir. İHA çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır [19].

- Sabit Kanatlı İHA (Fixed Wing),
- Multikopter (Multirotor),
- Tek Pervaneli (Single Rotor),
- Hibrit [19].

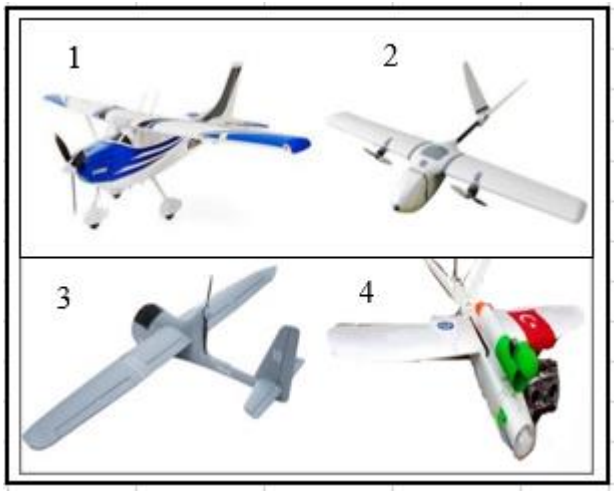
2.1.1. Sabit Kanatlı İHA

Sabit kanatlı İHA'lar, kalkış yapabilmesi için dikey kaldırma pervanesi yerine normal uçak kanatları yapısındaki kanatlara sahiptir. İleriye doğru hareket etmek için enerji kullanarak, havada süzülme mantığı ile ilerledikleri için çok daha verimli İHA çeşitleridir. İHA'lar 3-4 saat havada asılı kalabilirler. Uzun mesafeleri kapsayabilir ve büyük alanları haritalandırabilirler [19].

Sabit Kanatlı İHA'larla güvenli iniş sağlamak diğer İHA'lara göre oldukça zordur. Gövde üzerine iniş yapan bu İHA'ların iniş alanının güvenli olması oldukça önemlidir. İHA çeşitlerinin arasında uçuşun en zorlu olduğu araç sabit kanatlı İHA'nın olduğu söylenebilir.[19]

Sabit kanatlı İHA'ların havada kalabilmeleri için gövdelerinin sürekli hareket etmesi gereklidir. Hareket itki kuvveti ile sağlanmaktadır ve bu kuvvet sıvı yakıtlı içten yanmalı motor veya elektrik motoruna bağlı pervaneler ile sağlanmaktadır. İtki kuvveti yerçekimine dik olarak uygulanmaktadır. Modellerin bazılarında yüksek devirlere çıkabilen sıvı yakıtlı türbin (jet) veya elektrikli fan (fanjet) kullanılmaktadır [20].

Elektrik motorlu İHA modellerinde pervanelerin konumu genel olarak ön tarafta (1), kanatta (2), gövdenin üzerinde (3) veya gövdenin en arkasında (4) olabilmektedir. Şekil 2.3'te pervane konumları gösterilmiştir [20].



Şekil 2.3: Sabit kanatlı İHA.

Sabit kanatlı İHA'lar genel olarak tek motorludurlar ve üretim maliyetlerine bakıldığında diğer modellere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Uçmaları ve iniş kalkış yapabilmeleri için geniş alanlara ihtiyaç duymaktadırlar ve uçuş menzilleri de bir hayli yüksektir [20].

2.1.2. Multikopter İHA

Çoklu pervaneye sahip, dikey iniş ve kalkış yapabilen, üç eksende hareket edebilen sistemlerdir. En yaygın multikopter İHA'lar 4 pervaneye sahip olanlardır. İHA'lar yapısı gereği yer çekimine karşı yüksek direnç gösterir, havada kalabilmeleri için çok fazla enerji harcarlar. Günümüz teknolojisiyle havada kalış süreleri diğer İHA'lara kıyasla düşük, maksimum havada kalış süresi ise yaklaşık 30 dakikadır. Bu süre, üzerinde taşıdığı faydalı yüke göre ters orantılı olarak değişmektedir. Multikopter İHA'ların en avantajlı yönü zorlu koşullarda güvenli iniş-kalkış yapabilmesi ve havada asılı kalabildiği için kontrolünün kolay olmasıdır [19].

Tricopter, quadcopter (quadrotor), hexacopter ve octocopter olarak adlandırılan bu araçların sahip oldukları pervane sayıları; üç, dört, altı ve sekiz adettir. Döner kanatlı İHA'larda pervane kanatları döndüğü ve gövde sabit olduğu için, sabit kanatlı İHA'larda olduğu gibi gövdenin sürekli hareket etmesine gerek yoktur. Bu nedenle döner kanatlı İHA'ların havadaki hareketleri daha kontrollüdür ve havada tek bir

noktada asılı kalabilirler. Bunun yanında çok küçük alanlara iniş kalkış yapabilme özelliklerine sahiptirler [20].

Dönen kanat sayısına bağlı olarak motor ve sürücü gibi pahalı elektronik malzeme sayısında artış olması neticesinde üretim maliyetlerinde bir hayli artış meydana gelmektedir [20]. Şekil 2.4'te üç pervaneli trikopter (üç pervaneli) , Şekil 2.5'te guadkopter (4 pervaneli) ve hexakopter (6 pervaneli) gösterilmiştir [20].

Şekil 2.4: Döner kanatlı İHA görüntüleri: üç pervaneli trikopter.

Şekil 2.5: Döner kanatlı İHA görüntüleri:dört pervaneli quadkopter ve altı pervaneli hexakopter.

2.1.3. Tek Pervaneli İHA

Helikopter olarak bilinen tek pervaneli İHA'lar dikey iniş kalkış yapabilen, tek bir pervaneye sahip olup sadece başlığını kontrol edebilmek için kuyruk pervanesi bulunmaktadır. Denge direnci, maliyeti ve büyük pervanelere sahip oldukları için güvenlik sebebiyle tercih edilmezler. Arama kurtarma, gözlem, denetleme, tarım gibi alanlarda çoğunlukla tercih sebebidir. Günümüzde ise nadir kullanılan İHA'dır [19].

2.1.4. Hibrit İHA

Hibrit İHA'lar sabit kanatlı ve pervaneli İHA'lar sahip olduğu avantaj ve dezavantajlar son yıllarda ortaya çıkmış ve birçok probleme çözüm sağlamış entegre sistemlerdir. Bu İHA'lar, VTOL (Vertical Take-Off and Landing) olarak da bilinmektedir, dikey kalkış ve iniş özellikleri mevcuttur [19].

Hibrit İHA'lar; aracın dikey iniş kalkışını sağlayan döner pervane kanatlara sahip olup, aynı zamanda aracın havada süzülmesini sağlayan, gövdeye bağlı sabit kanatlara sahiptir. Hibrit İHA sistemlerinde çok çeşitli tasarımlar yapılmakla birlikte, farklı modellerin de geliştirilmesi için çalışmalar sürmektedir. Yapılan bazı tasarımlarda araçta sadece dikey eksende pervane vardır ve dikine kalkış gerçekleştirir ve araç yatay eksene döner. Bazı tasarımlarda ise araçta hem dikey eksende hem de yatay eksende pervane bulunmaktadır. Bir diğer tasarımda ise dikey eksende bulunan pervaneler kalkıştan sonra yön değiştirerek yatay eksende dönerler [20]. Şekil 2.6'da hibrit İHA gösterilmiştir.

Şekil 2.6: Hibrit İHA.

2.2. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

2.2.1. SHGM Sınıflandırması

SHGM tarafından 12 Haziran 2017'de yayınlanmış olan SHT-İHA'ya göre azami kalkma kütlesine göre İHA'ları 4 sınıfa ayırmak mümkündür. Tablo 1'de SHGM İHA Sınıflandırması gösterilmiştir [21].

Tablo 2.1: SHT-İHA, 2017.

Sınıf	Kütle
İHA0	500 gr (dâhil) – 4kg aralığı
İHA1	4 kg (dâhil) – 25 kg aralığı
İHA2	25 kg (dâhil) – 150 kg aralığı
İHA3	150 kg (dâhil) ve daha fazla

Yukarıdaki tabloda belirtilen SHT-İHA sınıflandırmasının yanı sıra bu İHA'larda bulunması gereken zorunlu teçhizatlar da aşağıda sıralanmıştır.

i) İHA0 sınıfında bulunan İHA'nın teknik olarak; ekipman, sistem ve faydalı yük bileşenlerine sahip olup olmayacağına İHA sahibi, pilotu veya imalatçısı karar verir [21].

ii) İHA1 sınıfında bulunan İHA en az aşağıda belirtilen teknik özellik, ekipman ve sistem bileşenleriyle donatılmalıdır:

- Komuta ve kontrol veri bağında kesilme olması halinde acil durum iniş veya uçuş sonlandırabilme yeteneği,
- Batarya gücü ve yakıt seviyesinin sürekli izlenebilir olması,
- Çakar lamba,
- İHA'da ya da yer kontrol istasyonunda otomatik uçuş kayıt sistemine sahip olması [21].

iii) İHA2 sınıfında bulunan İHA, İHA1 sınıfında yer alan gerekli teçhizatların yanında aşağıda belirtilen donanım ve karakteristiğe sahip olması gereklidir.

- Çakar lamba yerine aydınlatma lambası,
- Yedekli seyrüsefer sistemi veya yedekli uçuş kontrol sistemi veya bilgisayar,
- Yedekli komuta ve kontrol veri bağı,
- Hava trafik ünitesi ile gerektiğinde haberleşmeyi sağlayacak uygun haberleşme sistemleri [21].

iv) İHA3 sınıfında bulunan İHA, İHA2 sınıfında bulunan gerekli teçhizatın yanında aşağıda belirilen sistem bileşenleri ile de donatılmalıdır.

- Mode-S transponder,
- TCAS (Traffic Collision

Ticari amaç için uçurulacak olan İHA0 sınıfındaki İHA, en az İHA1 sınıfına ait teknik özellikler, ekipmanlar ve sistem bileşenlerine sahip olmalıdır [21].

2.2.2. Boyut ve Yüke Göre Sınıflandırma

İnsansız hava araçları boyut ve yük kapasitesine göre 5 ana sınıf içerisine ayrılır [22].

2.2.2.1. Büyük Ölçekli İHA

Tam otonom sistemler olup 24 saat üzerinde uçuş yapabilen ve yük taşıyabilen İHA sistemleridir [22]. Şekil 2.7'de büyük ölçekli İHA gösterilmiştir.

Şekil 2.7: Büyük ölçekli İHA.

2.2.2.2. Orta Ölçekli İHA

Güvenlik amaçlı görevler için kullanılan İHA sınıfıdır. Yüksek kaliteli sensör ve denetim sistemlerine sahipler [22]. Şekil 2.8'de orta ölçekli İHA gösterilmiştir.

Şekil 2.8: Orta ölçekli İHA.

2.2.2.3. Küçük Ölçekli İHA

Radyo denetimli ve yeterli düzeyde navigasyon sensörlerine sahip insansız hava aracı sistemleridir [22]. Şekil 2.9'da küçük ölçekli İHA gösterilmiştir

Şekil 2.9: Küçük ölçekli İHA.

2.2.2.4. Mini Ölçekli İHA

İç ve diş ortamlarda kullanılabilen, hafif sensörlerle donatılmış insansız hava aracı sınıfıdır. Test amaçlı kullanım için küçük boyutlu ve düşük maliyetli olması nedeniyle tercih sebebidir [22]. Şekil 2.10'da mini ölçekli İHA gösterilmiştir.

Şekil 2.10: Mini ölçekli İHA.

2.2.2.5. Mikro Ölçekli İHA

Çok küçük boyutları nedeniyle çoğunlukla iç mekanlarda kullanılır [22]. Tablo 2.2'de İHA sınıflandırılması, Tablo 2.2'de İHA sistemleri görev ve özelliklerine göre sınıflandırılması gösterilmiştir [23].

Tablo 2.2: İHA sistemi sınıflandırılması.

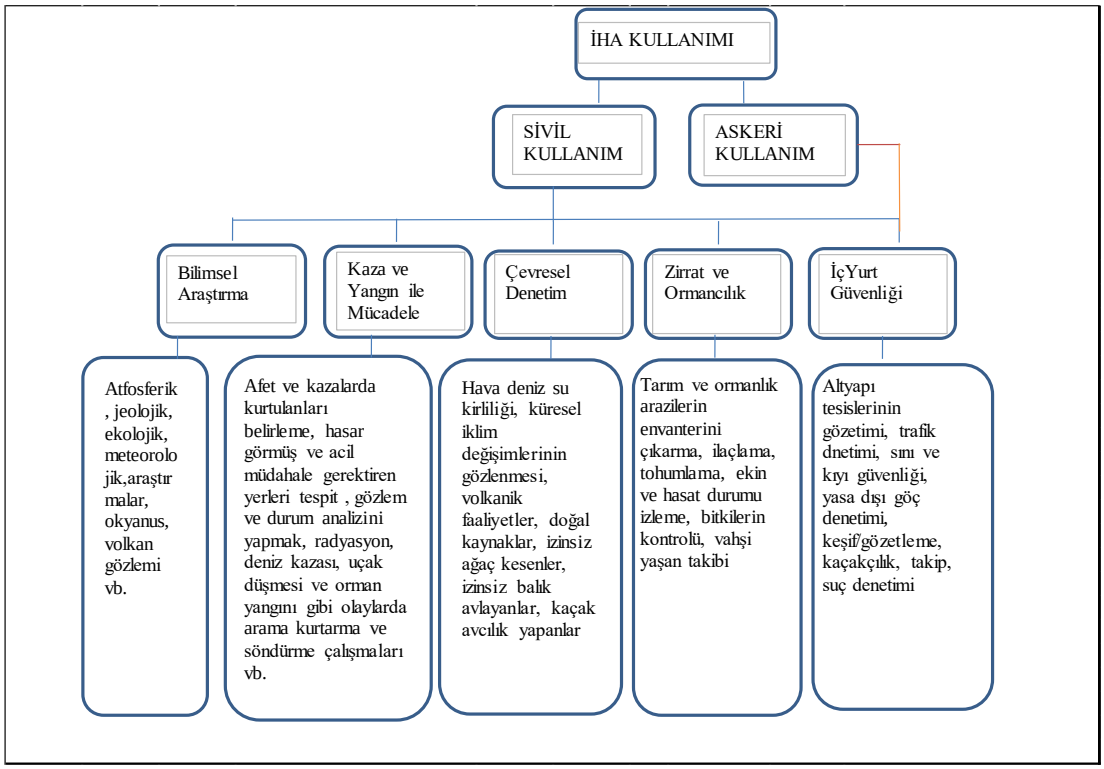
SINIFI	GRUP	GÖREV YÜKSEKLİĞİ	GÖREV YARIÇAPI	SİVİL KATEGORİ	ALAN
Sınıf1 '150 kg' hafif	Mikro <2kg	< 200 (AGL)	5 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 1 Küçük İHA (<20 kg)	Black Window
	Mini 2-20 kg	< 3. 000 (AGL)	25 (LOS)		Bayraktar, Malazgirt, Scan Eagl.
	Küçük > 20 kg	< 5. 000 (AGL)	50 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 2 Hafif İHA (20-150 kg)	Hermes 90
Sınıf2 '150-600 kg'	Taktik	< 10. 000 (AGL)	200 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 3 İHA (>150 kg)	Bayraktar, Taktik, Karayel, Aerostar
Sınıf3 '600 kg' ağır	Orta İrtifa Uzun Havada Kalış (MALE)	< 45. 000 (AGL)	LİMİTSİZ (BLOS)		Anka, Heron Predetor, Reaper
	Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış (HALE)	< 65. 000	LİMİTSİZ (BLOS)		Global Hawk
	Saldırı Muharebe	< 65. 000	LİMİTSİZ (BLOS)		X-47B, Phantom Ray

Tablo 2.3: İHA sistemleri görev ve özelliklerine göre sınıflandırılması.

İHA Sınıfı	Kullanım Seviyesi	Asıl Kullanıcı	Diğer Kullanıcılar
Mikro	Tek Personel/Tim	Özel Kuvvetler ve İstihbarat Örgütleri	Kara Kuvvetleri; Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri
Mini	Tek Er; Tim, Manga, Takım, Bölük ve Tabur; Tek Gemi	Kara Kuvvetleri; Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri	Hava Kuvvetleri
Küçük	Alay ve Tugay; Deniz Görev Grubu	Kara Kuvvetleri; Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri	Hava Kuvvetleri
Taktik	Kolordu ve Ordu; Deniz Görev Kuvveti	Kara Kuvvetleri; Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri	
Operatif	Harekat Alanı	Hava Kuvvetleri	Kara Kuvvetleri; Deniz Kuvvetleri ve Deniz Piyadeleri
Stratejik	Harekat Alanı	Hava Kuvvetleri	İstihbarat Örgütleri

2.3. İHA Kullanım Alanları

Teknolojik olarak birçok alanda olduğu gibi insansız hava araçlarını geliştirme çalışmaları askeri alanlar için başlamıştır. İHA'larda bulunan uzaktan algılama ve fotogrametri özellikleri nedeniyle kullanım alanlarını sınırlamak veya kısıtlamak pek mümkün değildir. İHA'lar günümüzde çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. İHA'lardan temel olarak arazi haritası çıkartma, gözetleme ve bilimsel amaçla veri toplama faaliyetleriyle birlikte orman yangını ve doğal afet müdahalesi, kamu güvenliği, meteorolojik keşif ve gözlem, hava kirliliği ölçümleri ve ticari amaçlarda da faydalanmaktadır [24]. Şekil 2.11'de İHA kullanım alanları gösterilmiştir [25].



Şekil 2.11: İnsansız Hava Aracının Kullanım Alanları.

2.3.1. Büyük Ölçekli Haritaların Yapılması

Küçük alanda yapılan uygulamaların detaylarının daha net şekilde görülmesi için büyük ölçekli haritalara ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük ölçekli sayısal haritalar, insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerin işlenmesi sonucunda elde edilen ortofoto görüntülerin üzerinde yapılan sayısallaştırma işlemleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. İHA'lar sayesinde; küçük adalar, arkeolojik alanlar gibi değişik birçok yerin büyük ölçekli haritalarını yapmak mümkündür [24].

2.3.2. Arkeolojik Alanların Belgelenmesi

İHA'lar arkeolojik alanlarda da aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Arkeolojik alanlar, yapılan kazı işlemleri sebebiyle hızlı değişime uğrayan ve sürekli izlenmesi gereken bölgelerdir. Maliyet olarak düşük, doğruluk olarak yüksek 3B veri ve ortofoto görüntü üretebilmesi nedeniyle İHA'lar kültürel miras alanlarının ölçümünde çok önemli avantajlar sağlamaktadırlar [24].

Bu alanların korunması ve aynı zamanda gelecek nesillere aktarımı için belgelendirilmesi büyük önem arz etmektedir [24].

2.3.3. Orman Alanlarına Yönelik Uygulamalar

Ormanlık alanlar, korunması gereken en önemli doğal kaynaklar arasında yer almaktadır. Zararlı böceklerin var olmasından dolayı bu alanlarda meydana gelen değişiklikler ve kaçak ağaç kesimlerinin önlenmesi için İHA'ların bu alanda kullanımı oldukça avantaj sağlamaktadır. Yangın olaylarından sonra bu alanların ağaçlandırma faaliyetlerini izlemek için İHA'lar kullanılmaktadır. Ayrıca ormanlarda bulunan farklı ağaç karekterizasyonlarını belirlemek için de İHA'lar kullanılmaktadır [24].

2.3.4. Tarımsal Uygulamalar

Tarımsal alanda yapılan çalışmalarda bu alanda yetiştirilen tarım ürünlerine göre uygulanan farklı yöntemler İHA'lar tarafından görüntülenebilmektedir. Kahve tohumlarının olgunluk durumları, çeşitli gübrelerle yetiştirilmek istenen kışlık buğday tarlaları, pirinç alanlarındaki verimlilik durumları izlenebilmektedir. Ayrıca İHA'lar kullanılarak üzüm bağları izlenir ve böylece sağlıklı ve hastalıklı alanlar belirlenebilir [24].

2.3.5. Afet Yönetimi

İHA'ların üretilmesinin en büyük nedenlerinden bir tanesi hızlı afet yönetim sisteminin geliştirilmek istenmesidir. Oluşan afetlerde durumu analiz etmek adına hızlıca haritanın çizilmesi ve önlemlerin alınması bakımından İHA'lar oldukça önemli bir yere sahiptir. Günümüzde afetlerle mücadelede İHA'lar sıklıkla kullanılmaktadır. Deprem olduğu esnada hızlı haritalandırma, heyelan bölgelerini izleme ve durum analizinin yapılması, kasırga ve fırtına sonrası bu alanların izlenmesi gibi çalışmaları örnek verebiliriz [24].

2.4 İHA Avantajlar / Dezavantajlar

2.4.1. İHA Sistemlerinin Avantajları

İHA sistemlerinin en büyük avantajlarından bir tanesi, İHA içinde pilot/operatör olmadığı için insan hatasından kaynaklı hataların meydana gelmemesi, personel kaybı gibi bir riskin olmaması ve havada uzun süre kalabilmeleridir [26].

İnsansız hava araçlarında bahsi geçen 'insansız' kelimesi aslında havada bir pilotun olmadığı anlamına gelir fakat yer kontrol istasyonlarında bu sistemi yöneten operatörler vardır. Burada insan hatasının varlığından bahsetmek mümkündür. Bu durum keşif, gözetleme ve istihbarat amaçlı kullanılan İHA sistemlerinde olmasa da, bul / yok et olarak çalışan silahlı insansız hava araçlarında büyük öneme sahiptir. '*Precision strike (hassas vuruş)*' olarak adlandırılan ve düşmanlara hassas darbe vurmak için yer kontrol istasyonlarında çalışan operatörlerin üzerinde büyük sorumluluk vardır. 'A*ccuracy*' kelimesinin karşılığı olarak isabetlilik kelimesi oldukça önemlidir. Çünkü hassasiyet için en temel ögelerden bir tanesi '*Accuracy*-isabet'tir. '*Precision*-hassasiyet' müşterek kuvvetler tarafından düşman hedeflerini;

- Belirlemek,
- Gözetlemek,
- Ayırt etmek,
- İzlemek,
- Uygun sistemleri seçmek ve organize etmek,
- Hedef üzerinde arzu edilen etkiyi almak,
- Vuruş sonrası sonuçları değerlendirmektir [26].

Hassas vuruşun kapsamı içinde; düşman hedeflerinin belirlenmesi, tanımlanması, zamanı geldiğinde tam isabet ile vurulması, tekrar taarruz ihtiyacının olup olmadığı, görevin başarıyla tamamlanıp tamamlanmadığı yönünde analizler vardır. İnsansız hava araçlarının sahip olduğu ekipmanlardan dolayı hassas vuruşlarda oldukça etkin şekilde kullanılmaktadırlar. Bu ekipmanlar; TV kamerası, kızılötesi kamerası, optik sistemler, radar, sensörler, silah sistemleridir [26].

Muharebe alanlarında İHA'ların insanlı hava araçlarının yerine kullanılmasının avantajları:

- Hava aracının içinde pilot ihtiyacı bulunmadığından dolayı daha fazla yük yüklenebilir ve insanlı hava araçları ile karşılaştırıldığında pilotun eğitim ve istihdam maliyeti daha düşük seviyededir.
- Bilgisayar kontrolünde, karanlıkta, sisli ortamda uzun süre havada kalır ve rutin görevleri yerine getirebilir.
- Konvansiyonel hava araçları ile karşılaştırıldığında havada kalma süresi daha uzundur.
- Alçak irtifalarda ve düşük süratlerde emniyetli olarak uçabilmektedirler.
- Önceden planlama yapılabildiği için yer kontrol istasyonu ile irtibat kaybolsa dahi görevi yerine getirebilir.
- Personel için riskli olabilecek yerlerde de görev yapabilirler.
- Hava aracı pilotunun maruz kalabileceği riskleri azaltır.
- Sessiz çalışırlar.
- Çok hassas seyir yaptıkları için havada birbirleriyle çarpışma ihtimali yoktur.
- Uçtukları kilometre başına CO yayılma oranı daha düşüktür.
- Uçtukları kilometre başına sarf ettikleri yakıt miktarı bir hayli düşüktür.
- Yağmur, sis ve çok kötü hava şartlarında emniyetli olarak uçabilirler.
- Uçaklarla karşılaştırıldığında işletme maliyetleri daha düşüktür.
- Aktif yanardağlar üzerinde emniyetle uçabilmektedirler.
- Kutup bölgeleri ve Sahra Çölü gibi zorlu coğrafyalarda emniyetli bir şekilde uçuş görevlerini yerine getirebilirler.
- Bir alandan başka bir alana nakil işlemi diğer hava araçlarına kıyasla oldukça kolaydır [26].

2.4.2. İHA Sistemlerinin Dezavantajları

Avantajlarının yanı sıra İHA sistemlerinin kullanımında bazı sınırlamalar mevcuttur. Öncelikle, İHA sistemleri muharebe sahasında meydana gelen değişikliklere hızlı bir şekilde adapte olamaz çünkü bunu sağlayacak sınırsız programlanabilme özelliklerine sahip değillerdir. Fırlatıldıktan sonra muharebe sahasında meydana gelebilecek ani durumlarda hedefi imha etmeleri mümkün değildir. Fırlatıldıktan sonra düşman hava

savunma sistemlerinden kaçmak amacıyla yönlerini değiştirebilme özellikleri de yoktur [26].

Tipik hava araçlarına göre İHA'lar daha küçük ve hafif olmalarında kaynaklı faydalı yük kapasiteleri azdır. İnsanlı hava araçlarına kıyasla faydalı yük-toplam ağırlık oranları yüksektir [26].

Belli askeri görevleri yerine getirmek için tasarlanan İHA'ların değişen durumlara adaptasyon yetenekleri çok amaçlı muharebe hava araçları kadar iyi değildir [26].

Yer kontrol istasyonu ile İHA'ların irtibatı kesilirse kaybolabilirler. Teknolojik gelişmeler sonucunda yukarıda bahsedilen dezavantajların birçoğu ortadan kalkmıştır, İHA'ları geliştirmek amacıyla yapılan çalışmalar ve teknolojik anlamda yaşanan gelişmelerle birlikte mevcutta var olan sınırlamalar gelecek zamanda ortadan kalkacaktır [26].

Günümüzde İHA'ların muharebelerde kullanılması, insan haklarının korunması kapsamında birçok tartışmayı beraberinde getirmiştir. Örneğin; Amerikan Merkezi İstihbarat Örgütü CIA (Central Intelligence Agency) tarafından Pakistan ve diğer yerlerde yürütülen İHA operasyonlarının yasal dayanağı, hangi şartlarda İHA operatörünün şüphelilere yönelik ölümcül silah kullanacağı, ölen sivillerden kimin sorumlu olacağı gibi birçok tartışma söz konusudur [26].

Sivil alanda kullanımlarına bakıldığında; birçok insan, özel hayatın gizliliği sebebiyle, kolluk kuvvetlerinin güvenlik amacıyla kullandıkları gözetleme ve gözlem amacı ile tasarlanmış olan İHA'ların kullanılmasına karşı çıkmaktadırlar. Bu sistemlerin yasal olup olmadığı hususunda farklı düşünceler mevcuttur [26].

İHA'lar teknolojik standartlar bakımından incelendiğinde teknik anlamda yeterli emniyet ve güvenliğe sahip değildir. İHA'lar sıklıkla kontrolden çıkmakta veya arıza durumuna geçmektedir. İHA ve üzerinde kullanılan sistemler pahalı sistemlerdir ve düşme, kaybolma gibi olaylar meydana geldiğinde maddi açıdan büyük kayıplara yol açmaktadır. Yerleşim alanlarına düşmeleri durumunda ise ciddi zararlarla karşı karşıya kalınabilir. Hassas seyir sistemlerine sahiplerdir fakat hava sahasını kullanan diğer hava araçları ile çarpışma riski her daim bulunmaktadır. Silahlandırılmış İHA'ları bir devlet saldırı amaçlı kullandığında diğer ülkeler de bu duruma karşılık göstererek silahlanma yarışını başlatabilirler. Bu sistemlerin teröristlerin eline geçmesi neticesinde oluşabilecek riskler her daim göz önünde bulundurulması gereken mühim bir konudur [26].

3. KOMPOZİT MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemedeki uygun özellikleri tek malzemede toplamak amacıyla veya yeni bir özellik meydana getirmek amacıyla makro düzeyde birleştirilerek oluşturulan malzemelerdir [29].

Kompozit malzemeler matris ve takviye fazından meydana gelirler. Matris malzeme, kompozit malzemelerin kopmasını geciktirir, yük altında lifleri bir arada tutar ve yükü liflerin arasında homojen bir şekilde dağıtır. Takviye fazının görevi ise kompozit malzemeye mukavemet ve yük taşıma gibi dayanım özellikleri sağlamaktır [36].

Kompozit malzemelerin, parça bütünlüğü sağlaması, hafif olması, yüksek mekanik mukavemete sahip olması, darbe dayanımı, kullanım ömrünün uzun olması gibi özelliklerden dolayı kullanım alanları oldukça geniştir. Bu özelliklerinden dolayı kullanıldığı yerlerde büyük avantaj sağlarlar [27].

3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

3.1.1. Matris Yapılarına Göre Kompozitler

Kompozit malzemeleri matris yapılarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz.

- Metal Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler
- Polimer Matrisli Kompozitler
  - i) Termoplastik Malzemeler
  - ii) Termoset Malzemeler
    - Epoksiler
    - Polyesterler
    - Fenolikler
    - Silikonlar
    - Poliamidler

- Poliüretanlar
- Siyanet esterler

iii) Elastomer Malzemeler

- Karbon-Karbon Kompozitler
- Nano Kompozitler [30]

3.1.1.1. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMC'ler), adından da anlaşılacağı gibi metal matrise sahiptir. Bu tür kompozitlerdeki matris örnekleri arasında alüminyum, magnezyum ve titanyum bulunur.Metaller, tasarımın ihtiyaçlarına göre özelliklerini artırmak veya azaltmak için esas olarak güçlendirilir. Örneğin, silisyum karbür gibi liflerin eklenmesiyle metallerin elastik sertliği ve mukavemeti arttırılabilir ve büyük termal genleşme katsayıları ve metallerin termal ve elektrik iletkenlikleri azaltılabilir. Metaller fiberler ile takviye edildiğinde süneklik ve toklukları azalabilir. Alüminyumun sünekliği %48 ‘dir ve silisyum karbür parçacıklarıyla takviye edildiğinde bu değer %10’un altına düşebilmektedir. Alüminyum alaşımlarının kırılma toklukları 20 ile 40 MPa$\sqrt{m}$ arasındadır. Silikon fiberlerle takviye edildiğinde %50 veya daha fazla azalabilmektedir [32].

Metal matrisli kompozitlerin kullanım alanlarına bakıldığında; Uzay mekiği gövde iskeletini desteklemek için boron/alüminyum tüpler kullanılır. Bu malzemenin kullanımı mekik kütlesinde 145 kg’dan fazla azalma sağlar. Askeri alanda, füze güdüm sistemlerindeki hassas bileşenler boyutsal kararlılık gerektirdiği için bileşenlerin geometrileri kullanım esnasında değişmemesi gerekir. Bunun için SiC/Al gibi metal matrisli kompozitler kullanılır. Ulaşım alanında, metallere göre daha hafif oldukları için araba motorlarında kullanılmaktadırlar [32].

3.1.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozitler (CMC'ler), karbon veya silisyum karbür gibi liflerle güçlendirilmiş alümina kalsiyum alümina silikat gibi bir seramik matrise sahiptir. Seramikler kendi başlarına düşük kırılma tokluğuna sahiptir fakat silisyum karbür veya karbon gibi liflerle güçlendirilmesi kırılma tokluklarını arttırır [32]. Metal matrisli ve polimer matrisli kompozitlerin kullanılamadığı yüksek sıcaklıklarda (2000

°C ve üzeri) kullanımları artmaktadır.-yeni 9992 Kullanım alanlarına bakıldığında zırhlar, uzay araçları ve çeşitli askeri amaçlı parçalarda kullanıldığı görülmektedir [31]. Seramik kompozitler elektriksel olarak çok iyi yalıtkan özelliğe sahiptirler [29].

3.1.1.3. Polimer Matrisli Kompozitler

En yaygın kullanılan ileri kompozitler, cam, grafit, aramid, boron gibi fiberlerle takviye edilmiş bir polimerden (epoksi, polyester, üretan gibi) oluşan grafit/epoksi gibi polimer matrisli kompozitlerdir. Örneğin, grafit/epoksi kompozitler ağırlık-ağırlık bazında çelikten yaklaşık beş kat daha güçlüdür. Günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bunun nedenlerini şöyle sıralamak mümkündür; düşük maliyetli ve yüksek mukavemetli olmaları, aynı zamanda büyük ve karmaşık parçaların kolay üretilebilir olmasıdır [32].

Yaygın bir kullanım alanı olan fiber takviyeli polimer matrisleri termoset ve termoplastik malzeme olmak üzere iki şekilde sınıflandırmak mümkündür.[40]

Termoplastikler; Isındıklarında yumuşar ve akarlar, soğutulduklarında ise sertleşip katılaşırlar. Polimerizasyon denilen kimyasal bir işlemle elde edilirler. Şekillendirme esnasında kimyasal değişime uğramazlar. Yüksek sıcaklıkta zincirler arası bağ zayıflar [34].

Termosetler; Isıtılınca sürekli katılaşma oluşur. Tekrar ısıtılıp sertleştirilemezler. Polikondenzasyon yöntemi ile üretimi yapılır. Isıtma sırasında kovalent çapraz bağ oluşur. Bu bağ, eğme ve dönme hareketlerini engeller [34]. Doymamış polyester ve epoksiler en çok kullanılan termoset malzemelerdir [40].

Polyesterler; genellikle cam lifleri ile takviye edilirler. Yoğunlukları ve maliyetleri düşüktür. 100°C sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Mekanik özellikleri sıcaklık ve nem gibi faktörlerle birlikte düşer, aynı zamanda polimerizasyon esnasında fazla büzülür, bu nedenle yüksek performans gerektiren yerlerde tercih edilmezler [40]. Doymamış polyester reçineler, “ortoftalik” veya izoftalik” olarak adlandırılır [37]. Ortoftalik; ekonomiktir, izoftalik; suya dayanım gibi daha iyi özelliklere sahiptir [35].

Epoksiler; polyesterlere göre daha pahalıdır. Bunun yanında polimerizasyon esnasında daha az büzülme gösterdikleri için avantajlı durumda olurlar. Isı ve nem altındaki mekanik özellikleri ve birçok takviye malzemesiyle iyi bağlanmalarından

dolayı yüksek performans gerektiren polimer matrisli kompozitlerin çoğu epoksi matrislidir. Çalışma sıcaklıkları da daha yüksektir (175°C) [40].

Fenolikler; Ateşe dayanım ihtiyacı olan yerlerde kullanılır, maliyetleri düşüktür (4 – 8 $/kg). Kullanım yerleri; uçakların iç bölümleri, deniz araçlarının motorları ve demiryollarıdır [35].

Silikonlar; Ateşe dayanımları yüksektir ve yüksek sıcaklıklarda ürün özelliklerini koruyabilme yeteneğine sahiptir. Düşük maliyetlidir (30 $/kg' dan az) [35].

Poliamidler; Isısal özelliklerinin yanı sıra mekanik özellikleri de yüksektir. Pahalıdırlar. Havacılık ve uzay sektöründe, otomotiv sektöründe, askeri alanda, elektronik alanda, termal elektriksel yalıtım malzemelerinde ve yanmaz kumaş malzemelerinde kullanıldığı görülmektedir [35].

Poliüretanlar; Yararlı özellikleri; hafif olması, kolay üretilmesi, dayanıklı olması, çarpışma durumunda enerjiyi sönümleyebilmesi, korozyona karşı dayanıklı olması sayılabilir. Poliüretan malzemelerin özelliklerini istenildiği şekilde değiştirmek mümkündür. Bunun için değişik poliol kaynakları kullanılabilir. Yenilenebilir kaynaklar, poliüretan sentezlemek amacıyla uygun hidroksil ünitelerini barındıran poliol yapıları olarak sayılabilir. Hidroksil barındırmayanlar bazı işlemler uygulanarak bu yapılara dönüştürülmesi sağlanabilir. Yenilenebilir kaynaklar katkı maddesi olarak poliüretan matriks üretimlerinde veya değişik polimerik yapılarda güçlendirme amaçlı olarak kullanıldıkları görülmüştür. Böylece aşınma ve yüksek mekanik etkiye karşı direçli kompozit malzemeler üretilebilmektedir. Kullanım alanları; medikal cihazlarda, ayakkabılarda, boyalarda, makine sanayinde, köpüklerde, kaplamalarda kullanılırlar [35].

Siyanet Ester; Mükemmel yalıtkanlık özelliğine sahiplerdir. Asıl uçak endüstrisinde kullanılırlar ve yaş durumda 200ºC' ye kadar dayanırlar [35].

Elastomerler; Kauçuk türündendir ve birden fazla kez uzatılıp geri bırakıldıktan sonra orijinal boyutlarına geri dönebilirler. Elastomerler çapraz bağ ve düşük yoğunluk özelliklerine sahiptir [38].

Polimer matrisli kompozitlerin kullanım alanlarına bakıldığında; hafif olmasından dolayı otomotiv, taşımacılık endüstrisi, spor malzemeleri, korozyona karşı dirençli olmasından dolayı denizcilik uygulamaları, yanmazlık özelliği talep edilen otomotiv iç dekorasyonu gibi alanlardan bahsedilebilir [33].

Polimer matrisli kompozitlerde birçok takviye malzemesi kullanılmaktadır. Bunların içinde en yaygın olan malzeme cam elyafıdır. Cam elyafından sonra takviye malzemesi olarak kullanılan malzemeler; karbon elyaf, aramid, polietilen, naylon tercih edilir. Cam elyafının en yaygın türleri E-cam ve S-cam malzemeleridir. E-cam göstermiş olduğu yüksek mekanik özellikler, yalıtım özelliği ve nem direnci sebebiyle polimer matrisli kompozit malzemeler içinde en fazla tercih sebebi olmuştur. S-cam malzemesi daha yüksek mukavemet, kimyasal dayanım, eğilme modülü ve ısı dayanımı özelliklerine sahiptir. Cam elyafları çoğunlukla 9 ile 23 mikron arasında değere sahiptir [41].

3.1.1.4. Karbon-Karbon Kompozitler

Karbon, seramikler gibi kırılgan yapıları vardır. Sahip olduğu özellikleri şöyle sıralamak mümkündür; yoğunluğu düşüktür, sürünme dayanımları yüksektir, yorulma dayanımları yüksektir, çekme ve basma yönleri için mukavemetleri yüksektir, sürtünme katsayıları yüksektir [31]. Bu kompozitler, 3315°C kadar olan sıcaklıktaki ortamlarda kullanılabilirler. Karbon-karbon kompozit malzeme kullanılarak uzay mekiği burun konisi, uçak frenleri ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan mekanik bağlantı elemanları yapılır [32].

Dezavantajları;

Maliyet olarak yüksektirler,

Kaymaya karşı dayanımları düşüktür,

Sıcaklıklar yüksek olduğunda oksidasyon hassasiyeti olur [31].

3.1.1.5. Nano Kompozitler

Matris içinde nanometre büyüklüğüne sahip parçacıkların dağılmasıyla meydana gelen malzemelere nano kompozit malzemeler denir [39].

Nano kompozit malzemelerin malzemeye kattığı üstün özellikler şöyle sıralanabilir; modülü arttırır, güçlendirir, ısı direncini arttırır, yanıcılığını azaltır, malzemeye olan gaz sızıntısını engeller [39].

3.1.2. Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler

Takviye elemanlarına göre kompozit malzemeleri aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz [52].

i) Fiber Takviyeli Kompozitler,
ii) Parçacık Takviyeli Kompozitler,
iii) Tabakalı Kompozitler,
iv) Karma (hibrid) Kompozitler [52].

3.2. Kompozit Malzeme Avantajları/Dezavantajları

3.2.1. Avantajları

Kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımları yüksektir. Eğilme dayanımları bazı kompozit malzemelerle aynı olan geleneksel çelik ve alüminyum malzemesi göz önüne alındığında; aynı eğilme dayanımına sahip olan kompozit malzemeler, geleneksel çelikten 5 kat, alüminyumdan da 2 kat daha hafiftir [40].

Kompozitlerin özgül dayanımları oldukça yüksektir. Özellikle polimer matrisli kompozit malzemelerin özgül dayanımları çelik ve alüminyum alaşımlı malzemelere göre 3 ile 5 kat daha yüksek olduğu bilinmektedir. Yüksek özgül dayanımları olmasına rağmen, kıyaslandığı malzemelere göre daha hafiftirler. Hafif olmalarından dolayı, hava araçları ve otomobillerde kullanılır ve daha az yakıt harcanmasını sağlarlar [40]. Ticari bir uçağın kütlesini 0.453 kg azaltmak, yılda 1360 litre yakıt tasarrufu yapılmasını sağlar [32].

Kompozit malzemeler çelik ve alüminyum alaşımları ile kıyaslandığında bazı karbon/epoksi kompozit malzemeler %40'a kadar daha iyi yorulma dayanımına sahiptirler [40].

Kompozit malzemelerin birçoğu korozyona karşı yüksek dayanıma sahiptir. Metal malzemeler su ve havanın var olduğu yerlerde korozyona uğrarlar. Bunun sonucunda kaplama ve alaşımlama gibi koruma yöntemlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Polimer matrisli kompozitler, dış yüzeylerinin plastik olmasından dolayı, metal gibi malzemelerle kıyaslandığında korozyona karşı daha dirençli oldukları görülür. Aynı şekilde seramik matrisli kompozit malzemelerin de korozyona karşı dayanımlarının yüksek olduğu görülmektedir [40].

Termoplastik kompozitlerin geri dönüşümleri kolaydır [58].

Kompozit malzeme oluşturulurken ısı iletim katsayısı düşük malzemeler seçilirse, ısıya dayanıklı yüksek sıcaklıkta çalışabilen kompozit malzemeler elde edilebilir. Bu malzemeye örnek olarak seramik matrisli kompozit malzemeler verilebilir [40].

Uzayda yaklaşık olarak -160˚ ile 90˚ sıcaklık aralığında boyutsal kararlılık göstermesi gereken kafes ve platformlar için grafit/epoksi gibi kompozit malzemeler kullanılabilir çünkü monolitik malzemeler bu ihtiyacı karşılamaz [32].

Geleneksel malzemeler kullanılarak yapılamayan karmaşık parçalar kompozit malzemeler ile yapılabilmektedir. Ürün tek parça halinde yapılarak üretim için harcanan zaman da azalmış olur [40].

Termoplastik kompozitlerin işlem döngü süresi, kimyasal reaksiyon olmadığı için kısadır. Enjeksiyon kalıplama gibi ısıl işlem süresi 1 dakikadan daha az işlemlerde kullanılırlar. Üretim hızının yüksek olması gereken otomotiv sektöründe kullanım için oldukça uygundur [58].

Kompozit malzemeler üretilirken kullanılan farklı teknikler sayesinde montaj süresi kısaltılabilmektedir. Çünkü üretilen malzeme tek parça olarak imal edilebilmektedir. Montaj sürelerinin kısalmasıyla birlikte maliyetlerde de düşüş meydana gelmektedir. [40] Tek parça olarak imal edilen parçalar sayesinde yakıt tasarrufu da sağlanır. Örneğin, ticari bir uçağın kütlesinin 0.453 kg azaltılması sonucunda yılda 1360 litre kadar yakıt tasarrufu sağlanabilir [32].

Karbon ve cam takviyeli kompozit malzemeler çelik ve alüminyum malzemesine kıyasla daha yüksek darbe dayanımına sahiplerdir. Sürekli cam takviyeli kompozitler, süreksiz cam takviyeli olan kompozitlere göre 3 ile 4 kat daha fazla darbe dayanımına sahiptirler. Bu özellikleri sebebiyle savunma sanayisinde oldukça fazla kullanılmaktadırlar [40].

Kompozit malzemeler titreşimleri metal malzemelere göre çok daha iyi sönümleme özelliğine sahiptirler. Bu nedenle meydana gelebilecek çatlakların ilerlemesi de minimuma indirilmiş olur. Titreşimi absorbe etmelerinden dolayı, golf sopalarında ve uçaklarda kullanılmaktadırlar [40].

Kompozit malzemeler üretilirken metal malzemelere kıyasla daha düşük sıcaklık ve basınç değerlerine ihtiyaç duydukları için, üretildikleri makinelerin maliyetleri daha düşük olmaktadır. Bu durum tasarımlarda büyük oranda esneklik sağlamaktadır [40].

3.2.2. Dezavantajları

Geleneksel malzemelere oranla kompozit malzemelerin hammadde maliyetleri daha yüksektir. Yüksek olmasının sebebi, kompozit malzemenin birden fazla malzemenin birleşmesiyle meydana gelmesidir [40]. Örnek verilecek olursa, grafit/epoksi malzemeden yapılmış bir parçanın maliyeti, malzeme maliyetinin 10-15 katı olabilir. Tamamlanmış bir parçanın maliyeti kilogram başına 650-900 olabilir [32].

Termoset kompozitten yapılan parçalar sertleşip katılaştıktan sonra, farklı şekiller elde etmek için yeniden şekillendirilemez [58].

Kompozit malzemeler üzerinde delik delme, kesme, talaş alma gibi işlemler kolay değildir. Diğer malzemelere oranla kompozit malzemeler üzerinde yüksek yüzey kalitesine ulaşmak zordur [40].

Geleneksel malzemeler kullanılarak üretim ve tasarım yapmak daha kolaydır çünkü bunun için birçok kaynak ve veri tabanı mevcuttur. Kompozit malzemeler ile çalışırken kaynak ve veri tabanlarının eksik olması, üretim ve tasarım aşamasında zorluk yaşanmasına sebep olmaktadır [40].

Kompozitlerin termal dayanım değerleri, kullanılan matris malzemesinin termal dayanım özelliklerine bağlıdır. Kompozit malzemelerin çoğunda polimer esaslı matrislerin kullanıldığı göz önüne alındığında, termal dayanımları da bu malzemenin özellikleriyle sınırlıdır [40].

Kompozit malzemelerin özellikleri doğrultuya göre değişkenlik gösterdiği için mekanik karakterizasyonu metallere göre daha karmaşıktır. Kompozit malzemelerde daha fazla malzeme sabitine ihtiyaç vardır [32].

Kompozitler gevrek bir yapıya sahiplerdir. Bu nedenle darbelere dayanımları düşüktür [40].

Günümüzde önemi büyük olan geri dönüşüm konusunda kompozit malzemeler, geleneksel kıyasla daha az geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Örneğin, termoset kompozitlerin geri dönüşümü bir sorundur [58].

Kompozit malzemelerde kopma anındaki uzama miktarı azdır. Bu durum kompozit malzemelerin kullanım alanlarına sınırlamaktadır [40].

Kompozit malzemelerin tamiri, metal malzemelerle kıyaslandığında daha zordur. Çünkü kompozit yapılarda tespit edilemeyen kritik kusurlar veya çatlaklar meydana gelebilir [32].

Özellikle polimer matrisli kompozit malzemeler üretilirken insan sağlığına zararlı zehirli ve kanserojen özellikte gazlar salınabilir [40].

3.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

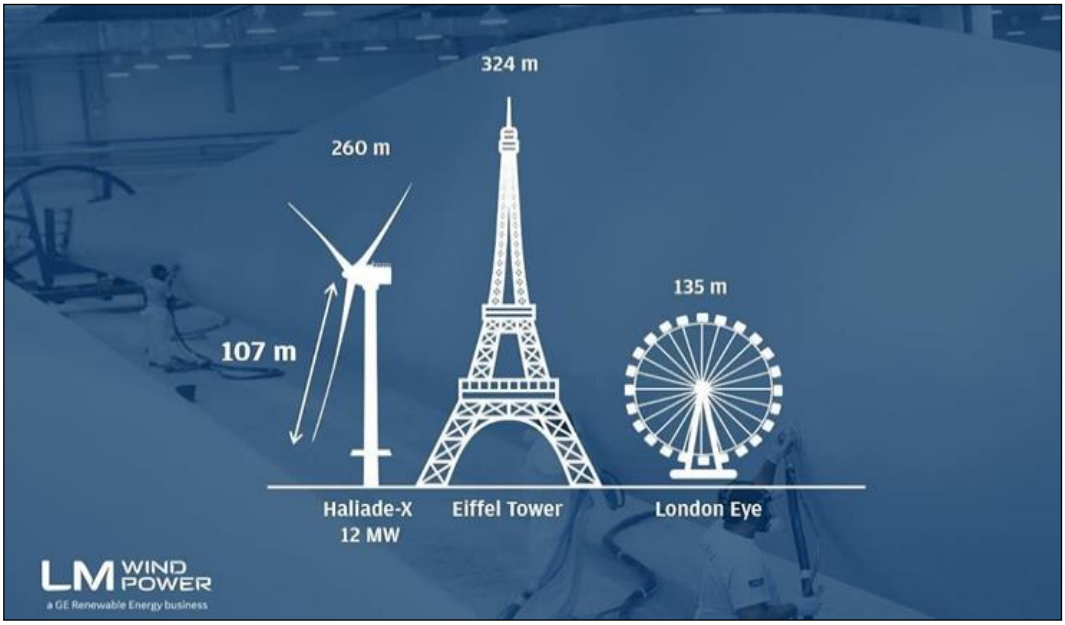
Kompozit malzemelerin yoğunlukları düşüktür ve mukavemetleri yüksektir bu nedenle birçok sektörde kullanılmaktadır [42].

3.3.1. Denizcilik

İlk kompozit teknelerin üretilmesi 1940'lı yılların sonlarını bulmuştur. Günümüz çağında 50 metre altı motor yatları ve yelkenli teknelerin %90'ının gövdesi kompozit malzemeden üretilmektedir. Üretimleri ise genel olarak vakum infüzyon yöntemi kullanılarak yapılmaktadır [42].

3.3.2. Rüzgâr Enerjisi

Kompozit malzemeden rüzgar türbini üretimi 1970'li yıllarda başlamış ve her yıl artarak devam etmektedir. 2005 yılında 9,4 milyar $ değerindeki Pazar, günümüze yaklaştıkça katlanarak artması beklenen bir durumdur. Yapılan üretimler genel olarak vakum infüzyon yöntemi kullanılarak yapılmaktadır [42]. Şekil 3.1'de rüzgar enerjisine dair görsel yer almaktadır [42].



Şekil 3.1: Rüzgâr enerjisi.

3.3.3. Uzay ve Havacılık

1903 yılında Wright Kardeşlerin ilk motorlu uçuşunu gerçekleştirmelerinden bu zamana kadar geçen sürede uçaklar, hassas yapılardan, yüksek hızlı makinelere dönüşmüşlerdir. Bu süreçte çelik ve alüminyum malzemenin yerini gün geçtikte artan bir şekilde kompozit malzemeler almaya başlamıştır [46].

Havacılık sektörüne bakıldığında malzeme bilimindeki gelişmelerden etkilenmekte olan sektörlerin en başında olduğu bilinmektedir. Yakıttaki maliyetlerin artışı, bakım ve işletme maliyetleri de göz önüne alındığında havacılıkta "daha fazla hafiflik" arayışını tetiklemektedir. İşletme maliyetlerini düşürmek amacıyla uçak gövdelerinin ağırlıkları düşürülür, böylece yakıt tüketimlerinde de azalma meydana gelir. Bunun yanında karbon emisyonları da düşmüş olur. Havacılık sektöründe güvenlik kriterinden vazgeçmeden, malzemelerin daha hafif olmasına yönelik ihtiyacı karşılayan malzeme kompozit malzeme olarak ortaya çıkmaktadır [46].

Havacılık endüstrisinde kompozit malzemelerin kullanımı 1950'li yılların sonlarına doğru Boeing 707 ve DC-9 tipi uçaklarla başlamıştır. Uçaklarda kullanılan ilk kompozit malzeme cam elyafı ile güçlendirilmiş plastik "fiberglas" malzemedir. Uçaklardaki güvenlik standardının yüksek olması sebebiyle, kompozitlerin kullanımı üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk başta uçma güvenliğini doğrudan etkilemeyen iç

bölümlerde kullanılmış olup, 1960'lı yılların sonlarına doğru, iç bölmelerdeki başarısından dolayı rüzgarlık, dümen, kanatçık ve flap yerlerinde kullanılmıştır [53].

Günümüzün yeni nesil uçağı olan Boeing 787'de, stabilizatör, kanat ve gövde gibi parçaları kompozit malzemeden yapılmaktadır. Bu parçalar ağırlık olarak uçağın %50'sini oluşturmaktadır.[54] Bunun gibi Airbus'ın A350 XWB modelinin %53'ü kompozitten imal edilmiş ve bunun neticesinde yakıt tüketimi olarak %25 tasarrufa geçildiği görülmüştür [46].

2020 yılında COVID-19 salgını havacılık kompozitlerine yönelik talebi de olumsuz etkilemiştir. Tedarik zincirinde yaşanan gecikmeler, hammaddenin kesilmesi ve kapanmalar, uçak üreten firmaları kapasite olarak düşüşe yöneltmiştir. Ticari alanda kullanılan uçakların siparişlerinin iptal edilmesi sebebiyle Airbus ve Boeing, önceki yıllara göre daha düşük sayılarda uçağı teslim etmiştir. 2021 yılından sonra, kısıtlanan seyahatler açılarak, tedarik edilen ürünlerde herhangi bir aksaklık olmadan havacılığın eskisi gibi çalışmaya devam edeceği beklenmektedir. Böylece kompozit malzemeler için taleplerin artması da beklenen bir durumdur [54].

Stratejik performans göz önüne alındığında; titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi özellikler uzay ve havacılık alanında kompozit malzemelerin en önemli avantajlarıdır. Kompozit malzemeler, sağladığı büyük avantajlardan dolayı uzay ve havacılık için yapılan araçlarda gün geçtikçe daha çok tercih sebebi olmuştur [28].

Sonuçta, havacılık sektörü, uçakların daha hızlı, hafif, verimli olabilmesi için kullanılan malzememe türlerinde evrimleşmektedir [46].

Şekil 3.2: Uzay ve havacılık.

3.3.4. Savunma Sanayi

Dünya çapında yaşanan kompozit alanındaki gelişmeler sayesinde savunma sanayisinde de bu malzemenin kullanımı artmıştır. Kompozit malzemelerin farklı kombinasyonları yapılarak kendisini meydana getiren bileşenlere göre daha dayanıklı

ve hafif hale getirilebilirler ve bundan dolayı sektörde önemli bir yere sahiptir. Bu özelliklerden yararlanılarak savunma sanayinde önemli bir yere sahip olan zırhlara uygulanarak kompozit zırhlar geliştirilmeye başlanmıştır [44].

Savunma sanayisinde kullanılan; kask, zırhların korumaları, kabin ve buna benzer birden fazla üründe kompozit malzemelerden yararlanılır. Darbeye karşı yüksek dayanım gösteren Aramid ve S2 cam malzemelerinin yaygın bir kullanım alanı vardır [42].

Silah, roket ve mühimmat sanayisinde kullanımlarına bakıldığında; 3000 bara dayanan 60 ve 81 mm çaplarındaki havanlara yönelik çalışma yapılmıştır. Hafif olmaları sebebiyle performans arttırıcı olarak tercih edilmişlerdir [28].

Roketlerin üretiminde; M72 motor lançeri cam elyaf ve epoksi malzemeden, Apilasta ve diğer tanksavar roketlerinde gövdenin bir kısmı kevlar malzeme ve epoksi malzemeden, M77 MLRS nozzle grubu karbon birleşik malzemeden yapılmıştır [28].

Mühimmatların üretimlerinde; M19 A/T mayını için gövdesi ABS reçine malzemesi ve cam elyafının parçalarından, 155mm lik ICM mühimmatının gövde kısmında cam elyafından epoksi sargısı bulunmaktadır. Miğferde ise kevlar malzemesi ve farklı reçine türleri kullanılmıştır [28].

3.3.5. İnşaat

Kompozit malzemeler inşaat sektöründe, kolonları güçlendirmek için ve estetik bir görünüm için kullanılmaktadır. Günümüzde yayalar için yapılan köprüler birçok ülke tarafından kompozitten yapılan profil malzeme kullanılarak yapılmaktadır. Rögarların kapakları, mazgal malzemesi, borular gibi çeşitli alanlarda da kompozit malzeme kullanılarak üretim yapmak mümkündür [42].

Soğuk hava deposu, büfe, otobüs durakları gibi alanlar da kompozit malzeme kullanılarak inşa edilen yerlerdir. Tasarımlarının kolay olması montaj esnasında da oldukça kolaylık sağladığı için tercih sebebi olmaktadırlar [44].

3.3.6. Eğlence

Oyun parkı, su parkı ve havuzlarda kompozit malzemeler kullanılmaktadır [42].

3.3.7. Spor Ekipmanları

Sörflerin tahtaları, tenis raket malzemeleri, golf ve hokey sopaları, balıkçıların oltaları, bisikletlerin gövdesi ve bunun gibi çok çeşitli spor malzemeleri kompozit malzemelerden yapılmaktadır. Hafifliklerinden dolayı tercih sebebi olmuşlardır [42].

3.3.8. Otomotiv

Ticari araçların gövdelerinin üretimi 1950 yılının başlarında başlamıştır. Günümüzde ağır araç sınıfında olan; kamyon, otobüs ve tırların birçok aksamı kompozit malzeme kullanılarak üretilmektedir. Kompozit malzeme kullanılarak imal edilen araç parçaları sayesinde araçlar hafifler ve böylece yakıt tüketimleri düşer [42].

Araçlarda kullanılan komponentler belli oranlarda kompozit malzeme kullanılarak imal edilmektedir. Bu parçalar; Cam silecekleri, Filtre kutusu, Pedal, Dikiz Aynası, Far Gövdesi, Hava Giriş Manifoldu, Otomobil Gösterge Paneli, Otomobil Yan Gövde İskeleti, Otomobil Kaportası olarak sıralayabilmek mümkündür [43].

3.3.9. Sağlık Sektörü

Sağlık sektöründe de kompozit malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. Ortopedi bölümünde kemiklerde kırık olanların onarılmasında da zaman zaman kompozit ürünler kullanılmaktadır. Diş hekimleri tarafından dolgu işlemleri esnasında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bunun yanında ortodontik tellerde de kompozit malzemelerden yararlanılmaktadır [43].

4. İHA KANAT TASARIMI

4.1. İHA Çalışmaları

4.1.1. Anka

TAI (Türkiye) tarafından üretilmiş olan Anka insansız hava aracı 2010 yılından beri aktif olarak kullanılmaktadır. Orta irtifa uzun havada kalış programı kapsamında üretilen bu insansız hava aracı 30 saat iniş gerçekleştirmeden havada kalarak görevini gerçekleştirebilmektedir. 5 madde Teknik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 17.5 m uzunluğunda kanat açıklığı,
- 8.6 m uzunluğunda gövde,
- 250 km/s nihai hız,
- 350+ kg Faydalı Yük Kapasitesi,
- 30000 ft irtifa [47].

Şekil 4.1: Anka.

4.1.2. Hermes 900

Elbit System (İsrail) tarafından üretilmiş olan Hermes 900 insansız hava aracı 2012 yılından beri aktif olarak kullanılmaktadır. Orta irtifa uzun havada kalış programı kapsamında üretilen bu insansız hava aracı 36 saat iniş gerçekleştirmeden havada kalarak görevini gerçekleştirebilmektedir. Teknik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 15 m uzunluğunda kanat açıklığı,
- 8.3 m uzunluğunda gövde,
- 221 km/s nihai hız,
- 1180 kg maksimum kalkış ağırlığı,
- 30000 ft irtifa [48].

Şekil 4.2: Hermes 900.

4.1.3. Hermes 450

Elbit System (İsrail) tarafından üretilmiş olan Hermes 450 insansız hava aracı 2003 yılından beri aktif olarak kullanılmaktadır. Orta irtifa uzun havada kalış programı kapsamında üretilen bu insansız hava aracı 20 saat iniş gerçekleştirmeden havada kalarak görevini gerçekleştirebilmektedir. Teknik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 10.5 m uzunluğunda kanat açıklığı
- 6.1 m uzunluğunda gövde
- 128.7 km/s nihai hız
- 550 kg maksimum kalkış ağırlığı

- 18000 ft irtifa [48]

Şekil 4.3: Hermes 450.

4.1.4. Gray Eagle

General Atomics (ABD) tarafından üretilmiş olan Gray Eagle insansız hava aracı 2009 yılından beri aktif olarak kullanılmaktadır. Orta irtifa uzun havada kalış programı kapsamında üretilen bu insansız hava aracı 24 saat iniş gerçekleştirmeden havada kalarak görevini gerçekleştirebilmektedir. Teknik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 17 m uzunluğunda kanat açıklığı
- 9 m uzunluğunda gövde
- 250 km/s nihai hız
- 1450 kg maksimum kalkış ağırlığı
- 25000 ft irtifa [48].

Şekil 4.4: Gray Eagle.

4.1.5. Predator XP

General Atomics (ABD) tarafından üretilmiş olan Predator XP insansız hava aracı 1995 yılından beri aktif olarak kullanılmaktadır. Orta irtifa uzun havada kalış programı kapsamında üretilen bu insansız hava aracı 24 saat iniş gerçekleştirmeden havada kalarak görevini gerçekleştirebilmektedir. Teknik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 17 m uzunluğunda kanat açıklığı
- 8 m uzunluğunda gövde
- 220 km/s nihai hız
- 1157 kg maksimum kalkış ağırlığı
- 25000 ft irtifa [48]

Şekil 4.5: Predator XP.

4.1.6. Orion E

Kronstadt (Rusya) tarafından üretilmiş olan Orion E insansız hava aracı 2017 yılından beri aktif olarak kullanılmaktadır. Orta irtifa uzun havada kalış programı kapsamında üretilen bu insansız hava aracı 24 saat iniş gerçekleştirmeden havada kalarak görevini gerçekleştirebilmektedir. Teknik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 16 m uzunluğunda kanat açıklığı
- 8 m uzunluğunda gövde
- 250 km/s nihai hız
- 1000 kg maksimum kalkış ağırlığı
- 24600 ft irtifa [48]

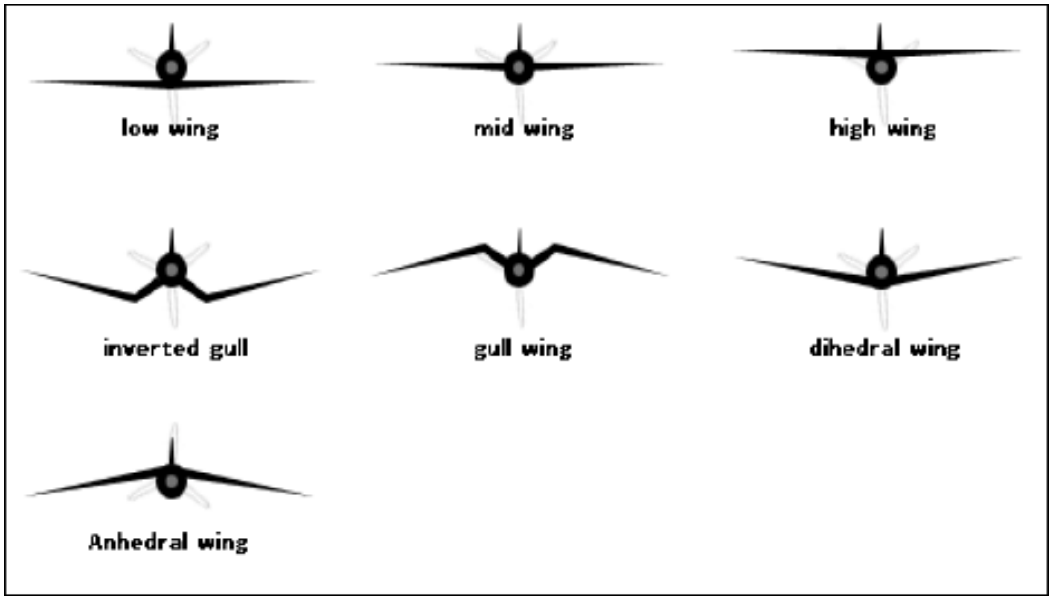
Şekil 4.6: Orion E.

4.2. Kanat ve Kanat Türleri

Uçakta kaldırma kuvveti üreten bileşenlerden bir tanesi kanattır. Uçakların sahip oldukları ağırlık neticesinde yer çekimi kuvveti meydana gelir ve kanatların üretmiş olduğu kaldırma kuvveti neticesinde uçaklar havada kalırlar. Kanatlar, aerodinamik profillere sahip olduklarından dolayı kaldırma kuvvetini üretirler. Uçakların kanatlarında bazı gereklilikler vardır; rijitlikleri yüksek olmalıdır, dayanımları ve toklukları yüksek olmalıdır, ağırlıkları düşük olmalıdır [44].

4.2.1. Konumlarına Göre Kanatlar

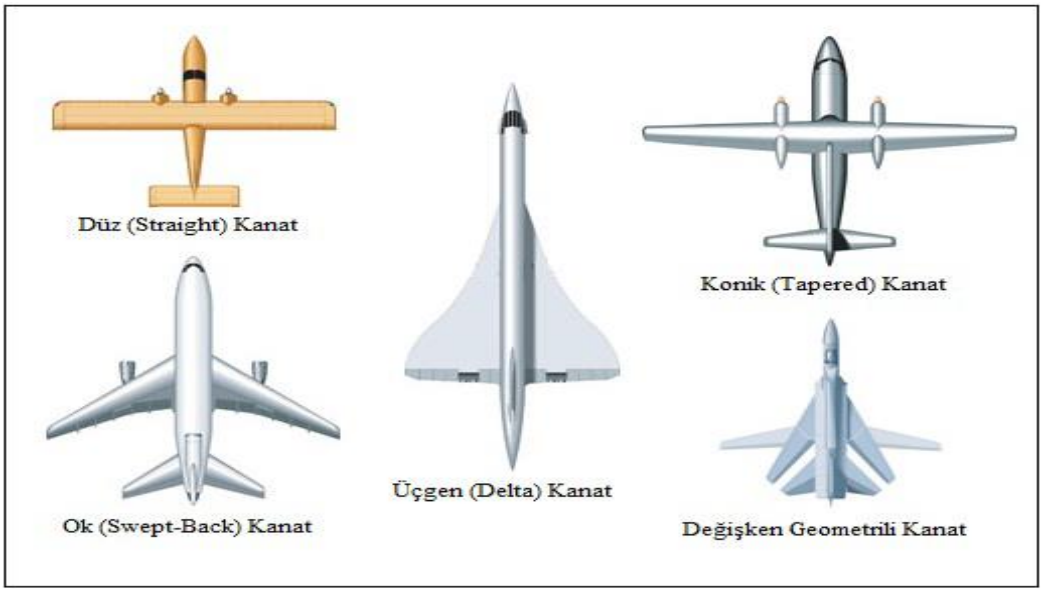
Yüksek, orta ve düşük konumlu, güneşlik, düzlemli, ters 2 düzlemli, martı ve ters kanatlardır [44].



Şekil 4.7: Konumlarına göre kanat türleri.

4.2.2. Yapılarına Göre Kanatlar

Düz, üçgen, konik, ok ve değişken geometriye sahip kanatlardır [44].



Şekil 4.8: Yapılarına göre kanatlar/kanat parçaları.

4.3. Kanat Parçaları

Flap: Genel olarak kanatlarda firar kenarlarında olan ve kanatların eğim açılarını ayarlayan elemanlardır. Flaplar kaldırma kuvvetini arttırır veya azaltırlar. Flaplar uzadıkça kanattaki aerodinamik profilin kamber açısı artar böylece düşük hızda kaldırma kuvveti de artar. Bu şekilde olması uçağın inmesi esnasında önem arz eder [44].

Eleron: Uçma pozisyonunu değiştirerek uçuş esnasında uçağı sağa sola hareket ettirmek için kaldırma kuvvetini (lift) asimetrik şekilde arttırır veya azaltır [44].

Asimetrik bir çift olarak çalışan eleronlar her kanadın arkasına takılır ve hareketli bir parçadır; sağ ve sol eleronlardan bir tanesi yukarı yöne giderse diğeri aşağıya doğru yönelir bu şekilde uçak sırayla sağa veya sola hareket eder [44].

Slat: Kanatlarda hücum açılarını ayarlarlar ayrıca kaldırma kuvvetini arttırırlar. Slatlar kanadın hücum kenarlarına yerleştirilir ve saldırı açısını arttırırlar. Böylece pilot, kanadın oluşturduğu kaldırma kuvvetini arttırabilir [44].

Kaburgalar: Kanatta kaplamayı destekleyen ve kanatçığın şeklini sağlayan parçalara verilen addır [44].

Takviye Kirişleri: Kanatların kaplamasının bağlandığı ahşap veya metal şeritler için verilen isimdir [44].

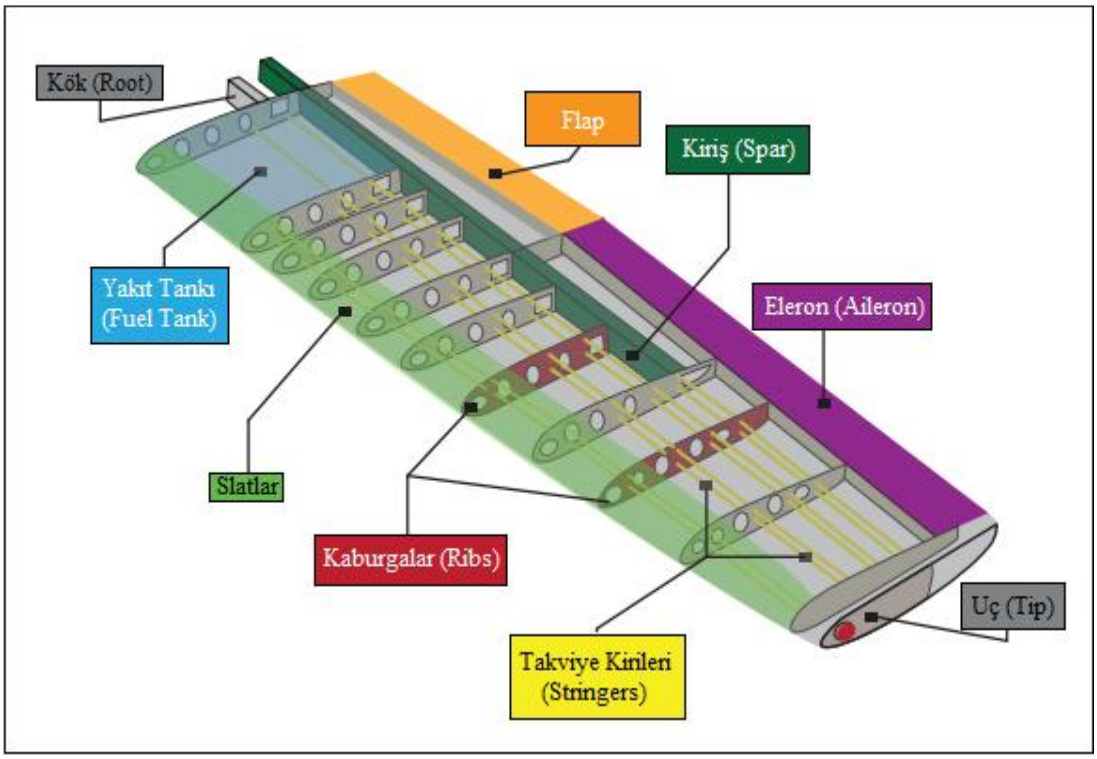
Kaplama: Kanatların dış yüzeylerine kumaş kullanılarak yapılan kısımdır. Günümüz uçaklarında, paslanmaya karşı dayanan ve hafif malzemeler tercih edilmektedir. Bunlar; alüminyum veya kompozit malzemelerdir [44].

Kirişler: Kanadın üstüne gelmekte olan yükü kanat boyunca taşırlar [44].

Yakıt Tankı: Genellikle kanadın olduğu yerde yer alırlar. Yakıtın olduğu tankın içerisinde de bulunabilmektedirler [44].

Kanat Kökü (Root): Kanatların gövde kısmına bağlandığı bölümdür [44].

Kanat Ucu (Tip): Kanatların gövde kısmına en uzak yeridir. Bu bölüme genellikle seyir ışıkları yerleştirilir [44]. Şekil 39'da kanat parçaları gösterilmiştir [39].



Şekil 4.9: Kanat parçaları.

4.4. Kanadın Konumunun Belirlenmesi

Kanadın konumu uçağın çoğu parametresini etkileyen bir faktördür. Bu yüzden konum belirlenirken, uçağın kullanım amacına göre uygun verimlilikte belirlenmesine dikkat edilmelidir. Günümüzde gövdeye bağlandığı yere göre kanatlar 3'e ayrılmaktadır [49].

4.4.1. Alttan Kanat Profili

Kanat gövdenin altına bağlıdır. Günümüzde hemen hemen çoğu yolcu uçağı alttan kanat konfigürasyonu ile oluşturulmaktadır [49].

Avantajları:

- Yakıt ikmali daha kolay gerçekleşmektedir.
- Uçağın üst ve yan kısımlarına daha iyi bir görüş imkânı sunmaktadır.
- Yer yüzeyine yaklaştığında kaldırma oranını arttıran ve uçağın sürüklenmesini azaltan daha iyi zemin etkisine sahiptir.
- İniş takımlarını kanat yapısında barındırabilir [49].

Dezavantajları:

- Düşük olan yerden yükseklik, uçak yerdeyken yerden gelebilecek etkilere karşı daha açık durumdadır.
- Yön kararlılığına olumsuz yönde etkisi vardır [49].

Şekil 4.10: Alttan kanat.

4.4.2. Ortadan Kanat

Kanat gövdenin ortasına bağlıdır. Günümüzde çoğu savaş uçağı ortadan kanat konfigürasyonu ile oluşturulmaktadır [49].

Avantajları:

- Diğer konfigürasyonlara göre daha iyi yuvarlanma kararlılığına sahiptir.
- Parazit sürtünme miktarı diğer konfigürasyonlara göre daha azdır. Bu yüzden yüksek performanslı uçaklar için daha idealdir.
- Görüş alanına engel teşkil etmemektedir [49].

Dezavantajları:

- Gövdenin kullanılabilir faydalı hacminde çok fazla yer kaplamaktadır.
- Eğer iniş takımları kanatta yer alıyorsa daha uzun olmak zorundalar bu da fazladan ağırlığa sebep olmaktadır [49].

Şekil 4.11: Ortadan kanat.

4.4.3. Üstten Kanat

Kanadın gövdesine üstten bağlıdır. Günümüzde neredeyse bütün kargo uçakları üstten kanat konfigürasyonu ile oluşturulmaktadır [49].

Avantajları:

- Gövdenin daha çok yere yakın olmasına imkân tanımaktadır. Bu da yükleme yapma ve yük indirmede oldukça avantaj sağlar.
- Diğer kanat konfigürasyonlarına göre daha fazla taşıma elde etmektedir. Bu da tutunma kaybını daha da düşürmektedir.
- Uçağın bakımını yapmak için yer personeline alan imkânı artmaktadır.
- Motorun yerden gelebilecek zararlı etkilere karşı yeterli yüksekliği bulunmaktadır.
- Gövde altı yüzeyi daha elverişli bir aerodinamik yapıya sahiptir [49].

Dezavantajları:

- Dönüşlerde pilotun görüş alanını engellemektedir.
- Yakıt ikmali yapmak diğer kanat tiplerine göre biraz daha efor gerektirmektedir.
- İniş takımlarının gövdede yer alabilmesi için yapılan yuvalar hem ağırlığı hem de sürtünmeyi arttırmaktadır [49].

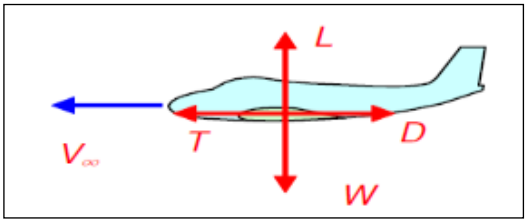
Şekil 4.12: Üstten kanat.

Geçmiş çalışmalara ve kanat konumuna göre sağladığı avantaj ve dezavantajlara baktığımızda insansız hava aracımız için en verimli kanat konumu üstten kanat konfigürasyonu olarak belirlenmiştir. Gövdeye erişim kolaylığı, ürettiği taşıma kuvvetinin fazlalığı, tutunma kaybını düşük olması, aerodinamik verimlilik insansız hava aracımız için en önemli faktörlerin başında gelmektedir [49].

4.5. NACA Kanat Profilleri

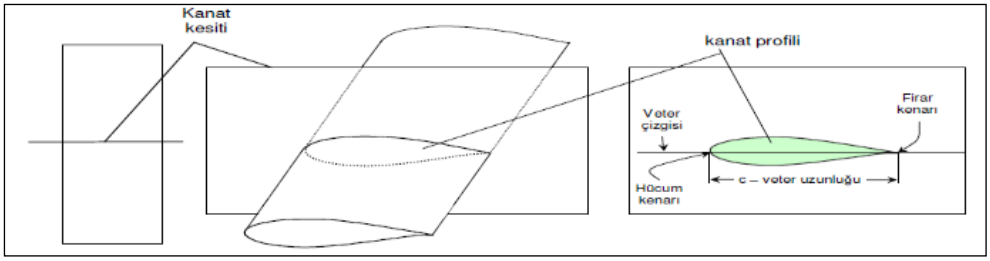
NACA kanatlarının profilleri, "NACA" kelimesinden yola çıkılarak bir dizi rakamların kullanılması ile açıklanabilir [50].

Nasa'ya göre; 1920 yılının sonlarına doğru ve 1930 yıllarında, NACA birçok kanat profili çalışması yapmıştır ve profil için sayısal atama yapmıştır. Bu sayı dört basamaklı ve profilin geometrisini temsil etmektedir. 1929 yılında Langley tarafından numaralandırma sistemi geliştirildi. NACA 1933 yılı için hazırladığı raporda 78 tane kanat profili çıktı. Belirlenen bu şekiller sayesinde mühendisler istedikleri performans için belli kanat profilleri seçebileceklerdi [50]. Şekil 4.13'te aerodinamik profil, 4.14'te kanat profili gösterilmiştir [60].



Şekil 4.13: Aerodinamik profili.

4.13 numaralı şekilde Taşıma (L), Ağırlığa (W) eşittir. İtki (T), Sürüklemeye (D) eşittir.



Şekil 4.14: Kanat profili.

4.5.1. Dört Basamaklı Seriler

NACA kelimesinde 4 basamaklı sayıdaki ilk basamak, kanat profilindeki maksimum kamburluğun kord hattına oranı, ikinci basamak kamburluğun maksimum seviyedeki noktanın kanat profili hücum kenarına uzaklığının kord hattına oranı, son iki basamaklı sayı ise kanat profilinin maksimum kalınlığının kord hattına oranı olarak tanımlanır [51].

4.5.2. Beş Basamaklı Seriler

Beş basamaklı seriler dört basamaklılara göre daha karmaşık kanat profillerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu seride NACA ifadesi 5 basamaklı bir sayı takip etmekte ve takip eden ilk sayı 0,15 ile çarpıldığında profilin taşıma katsayısını (C_L) vermektedir. İkinci ve üçüncü basamaklar 2'ye bölündüğü takdirde, maksimum kamburluğun hücum kenarına uzaklığını kord hattına oranı olarak göstermektedir. Dördüncü ve beşinci basamaklar ise profilin maksimum kalınlığını kord hattına oranı olarak vermektedir [51].

4.5.3. "1" Serileri

1 serilerinde kanat profilinin kodlaması yine beş basamaklı bir sayı ile yapılmakta ama ikinci basamaktan sonra bir tire işareti yer almaktadır. Bu serinin NACA ifadesinden sonra ilk gelen terimi serinin numarasını göstermektedir. İkinci basamak, minimum basınç bölgesinin uzaklığının kord hattına oranını vermektedir. İkinci basamağı bir tire işareti takip etmekte ve sonrasında gelen sayı da ondalık olarak taşıma katsayısını vermektedir. Son iki basamak ise profilin maksimum kalınlığının kord hattına oranını göstermektedir [51].

4.5.4. “6” Serileri

6-serilerinde profili NACA ifadesini takip eden 6 tane basamak tanımlamaktadır. NACA’ dan sonra ilk gelen basamak serinin numarasını göstermektedir. İkinci basamak, minimum basınç bölgesinin uzaklığının kord hattına oranını vermektedir. Üçüncü sırada alt indis olarak yazılan basamak ise profilin dizayn taşıma katsayısının ne kadar aşağısında ve yukarısında düşük sürükleme momenti oluştuğunu belirtmektedir [51].

Üçüncü basamağı bir tire işareti takip etmekte ve sonrasında gelen sayı da ondalık olarak taşıma katsayısını vermektedir. Son iki basamak ise profilin maksimum kalınlığının kord hattına oranını göstermektedir. ”a=” işaretini takip eden ondalıklı sayı da profilin kord hattının ne kadarlık bir oranında laminar akışının sağlandığı belirtilmektedir [51].

4.5.5. “7” Serileri

Bu seride NACA ifadesini takip 7 sayı basamağı bulunmaktadır. İlk sayı basamağı serinin numarasını göstermektedir. İkinci basamak, üst yüzeydeki minimum basınç bölgesinin uzaklığının kord hattına oranı verilmektedir. Üçüncü basamakta ise alt yüzeydeki minimum basınç bölgesinin uzaklığının kord hattına oranı verilmektedir. 4. basamakta yer alan harf ise daha eski NACA serilerinden standart bir profili referans olarak göstermektedir. Sonraki basamakta gelen sayı da ondalık olarak taşıma katsayısını vermektedir. Daha sonraki iki basamakta profilin maksimum kalınlığının kord hattına oranı verilmektedir [51].

4.5.6. “8” Serileri

Bu seri kanatın altından ve üstünden akan hava miktarının maksimize edilmesi amacıyla dizayn edilmiş süper kritik kanat profillerini içermektedir. Numaralandırması 7-serileri ile aynı olmakla birlikte, yalnızca ilk sayı basamağında yer alan 7’nin yerine seri numarasını belirten “8” ilk basamakta bulunmaktadır [51].

5. KOMPOZİT KANAT GÖVDE YAPISININ STATİK ANALİZİ

Bu tez çalışmasında İHA'ların statik analizinden bahsedilecektir. Modelin tasarımında SolidWorks programı kullanılmış olup, statik analizde Ansys programında sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm sağlanmıştır. Polistiren köpük malzemesinden yapılmış olan model, kompozit kaplanmadan önce statik analizi yapılmış ve toplam deformasyon ile güvenlik faktörleri incelenmiştir. Daha sonra Polistiren köpük malzemesi üzerine, 0,20 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda karbon epoksi, epoksi E cam ve epoksi S cam malzemeleri ile kaplama yapılarak Tsai-Wu Hasar kriterine göre kırılma değerlerine göre değerlendirme yapılmıştır.

Lamina hasar kriterleri için; Tsai-Hill, Tsai-Wu ve Maksimum Gerilim Kriteri teorileri kullanılır. Bunlar etkileşimli hasar teorileri olarak kabul edilmektedir. Bu analizde Tsai-Wu hasar kriterinin seçilmesinin sebebi; bozulma ve genleşme enerjisinin her ikisini de göz önünde bulundurarak sıkıştırma ve çekme hasarlarını ayırt ettiğinden dolayı Tsai-Hill teorisinden daha genel olmasıdır [62].

Bu analizler 50 g ve 100 g değerleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Böylece kompozit kaplamanın kırılma değerini ne kadar iyileştirdiği ölçülmüştür. Deformasyon, güvenlik faktörü ve gerilme değerleri incelenmiştir. Modelin statik olarak dayanıp dayanmaması üzerine çalışma yapıldığı için yorulma analizi ve titreşim analizi gibi diğer analizlerin üzerinde durulmamıştır. Sadece yüksek g kuvvetlerine karşı dayanımı incelenmiştir. Bu çalışmada aerodinamik kuvvetler ihmal edilmiştir. İHA yatay uçuşta kendi ağırlığını taşırken 1 g'lik taşıma kuvvetine maruz kalır, biz 50 g ve 100 g'de analizler yaptığımız için sonuçların çok aşırı manevra veya sert iniş durumundaki yüklemelere karşılık geldiği kabul edilebilir. Modelin ağırlığı kaplanan malzeme türü ve kaplama sayısına göre 0,291 kg ile 0,644 kg arasında değişmektedir. Analizlerde modelin simetri ekseninden kesilmiş hali kullanılmıştır ve model simetri ekseninin olduğu yerden sabitlenmiştir. Analizde kullanılan malzemeler Ansys Workbench kütüphanesinden seçilmiştir ve özellikleri Ek-A kısmında 'Kullanılan Malzeme Özellikleri' başlığı ile verilmiştir.

G Kuvveti, adını kütle çekimi anlamına gelen "gravitational" kelimesinden alır. Hızlanma ölçer (Akselerometre) ile ölçülebilen hızlanma (ivmelenme) değerlerine g

kuvveti denir. 50 g / 500 m/s²: Ölüm ve ciddi yaralanmaya sebep olabilecek ani g-kuvveti ‘dir. 100 g birçok insan için kesin ölüm anlamına gelir [59].

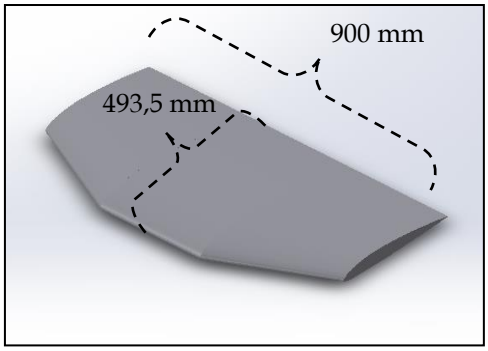
Güvenlik faktörü; Malzemenin bozulma geriliminin, izin verilen normal strese oranıdır [55].

$$\text{Güvenlik Faktörü} = \sigma_{\text{bozulma gerilimi}} / \sigma_{\text{izin verilen normal stres}} \quad (5.1)$$

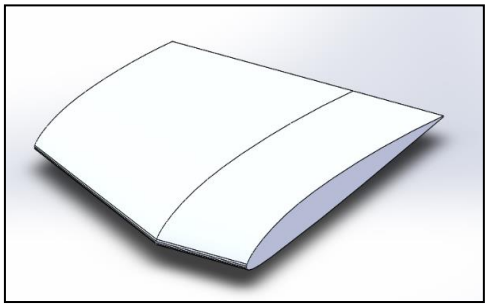
Bu çalışmada sert iniş göz önüne alındığı için aynı kanat gövde yapısının yeniden uçuşa müsaitliği değerlendirilmiştir. Polistiren köpük malzemesi için güvenlik faktörü değerine bakılacaktır.

Her alan için belirlenen güvenlik faktörü değeri farklıdır. Havacılık sektöründe bu değer 1,5-2,5 arasındadır [56].

Sonlu Elemanlar Yöntemi: Mühendislik problemlerine çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir ve bu yöntem ile fiziksel bir sistem matematiksel olarak ifade edilir. Sonlu elemanlar metodunda; karmaşık problemler daha basit alt problemlere ayrılır ve her biri kendi içinde çözülür, bu şekilde tam çözüme ulaşılan bir çözüm şeklidir. Bu metotla birlikte karmaşık geometriye sahip çözüm bölgesi, geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır. Buradaki yaklaşım fonksiyonları polinomlardan seçilir. Seçilmiş olan polinomların derecesi, çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır. Sürekli bir ortamda gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık gibi değişkenler farklı değere sahiptir. Sürekli bir ortamın belirli bir bölgesi de aynı şekilde sürekli ortam özelliği gösteriyorsa, bu alt bölgedeki değişkenlerin değişimi sonlu sayıda bilinmeyeni olan bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Bilinmeyen sayısının az veya çok olmasına bağlı olarak seçilen fonksiyonlar lineer ya da yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özellikleri gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait değişkenlerin denklemleri birleştirildiğinde bütün bir sistemi ifade eden denklem takımı elde edilmiş olur. Denklem takımı çözüldüğünde sürekli ortamdaki değişkenler sayısal olarak elde edilir [57].



Şekil 5.1: İHA modeli.



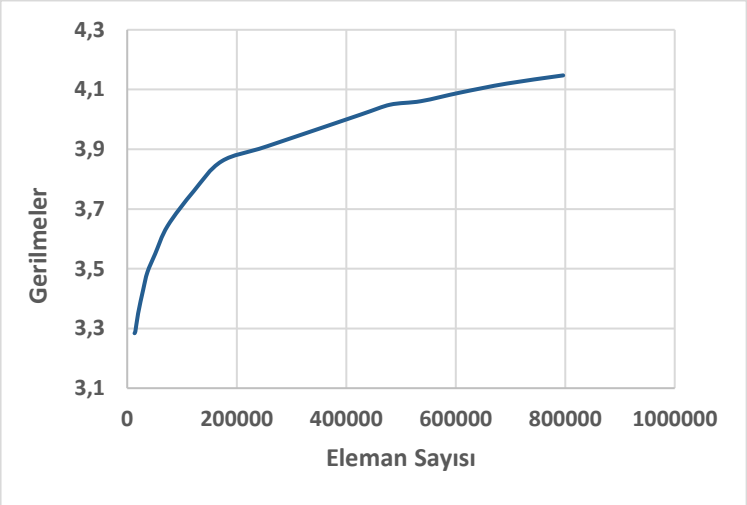
Şekil 5.2: İHA simetri ekseninden bölünmüş hali.

Yapılan statik analizlerde kullanılan eleman ve düğüm sayısı ile yakınsama grafiği aşağıdaki gibidir. Bu analizlerde eleman boyutu 4 mm, eleman sayısı 121581 olarak analizler gerçekleştirilmiştir ve dörtgen elemanlar kullanılmıştır.

Bağıl Hata = [(Bir sonraki stres – Bir önceki stres) / Bir sonraki stres] x100 formülü ile belirlenir.

Tablo 5.1: Yakınsama tablosu.

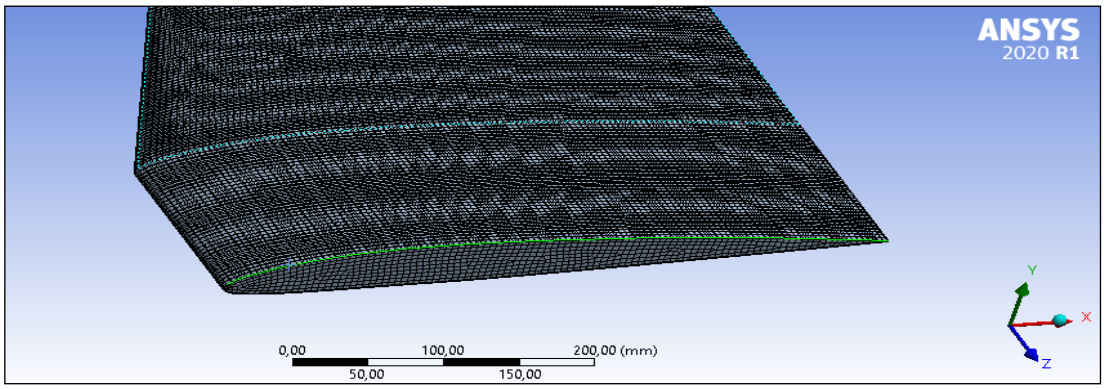
Element Boyutu (mm)	Eleman Sayısı	Stress (Mpa)	Bağıl Hata
13	13332	3,284	
12	14856	3,2900	0,182370821
10	19883	3,3500	1,791044776
8	29156	3,4300	2,332361516
7	36834	3,4880	1,662844037
6	51081	3,5500	1,746478873
5	73632	3,6430	2,552841065
4	121581	3,7600	3,111702128
3,5	172674	3,8600	2,590673575
3	255496	3,9100	1,278772379
2,8	308738	3,9570	1,187768511
2,5	425932	4,0158	1,464216345
2,4	479487	4,0490	0,819955545
2,3	536665	4,0610	0,295493721
2,2	608555	4,0900	0,709046455
2,1	693607	4,1200	0,72815534
2	796243	4,1473	0,658259591



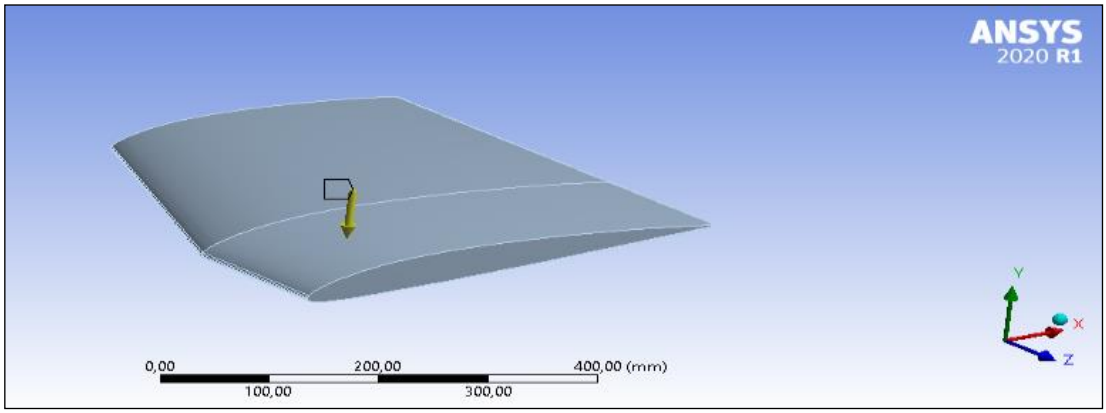
Şekil 5.3: Yakınsama grafiği.

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi eleman sayısı arttıkça gerilmelerdeki artışın çok fazla olmadığı göze çarpmaktadır.

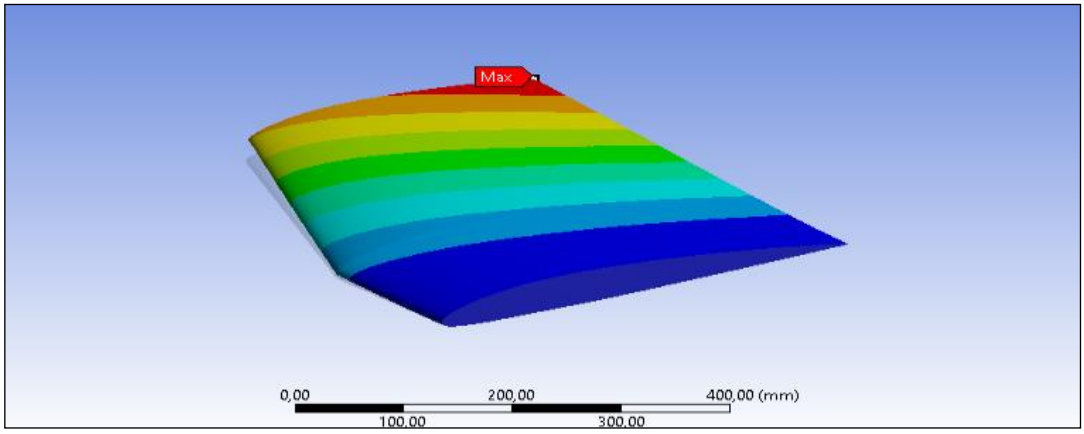
Aşağıdaki resimlerde örnek olarak g kuvvetine maruz kalan epoksi E cam malzeme ile yapılan analize ait, 4 mm eleman boyutundaki ağ görüntüsü, uygulanan g kuvveti, ters iniş, düz iniş görüntülerine yer verilmiştir. Analizler esnasında modelin düz ve ters iniş durumlarında gerçekleşen deformasyon, gerilme, gerinme ve kırılma kriteri değerleri birbirine çok yakın olduğu görülmüş ve ters iniş durumlarındaki analizlerle çalışmaya devam edilmiştir. Karşılaştırma açısından 5. Bölümde yer alan analizler kısmında düz inişteki sayısal verilere de yer verilmiştir.



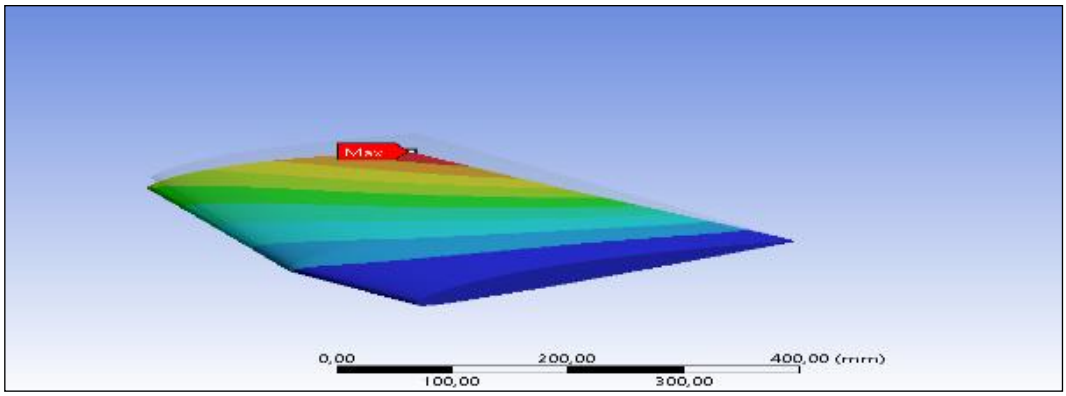
Şekil 5.4: Ağ görünümü.



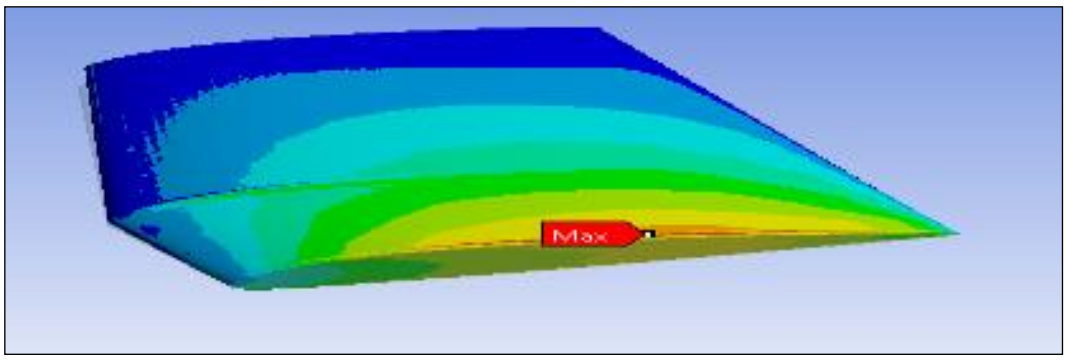
Şekil 5.5: Uygulanan g kuvveti.



Şekil 5.6: Deformasyon ters iniş.



Şekil 5.7: Deformasyon düz iniş.



Şekil 5.8: Stres ters iniş.

Deformasyon değerlerinin kanadın uç kısmında en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Stres değerinin ise kanadın sabitlendiği simetri ekseninde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

5.1. TSAI-WU Hasar Kriteri

Modelimiz kompozit malzeme ile kaplandığı için hasar (failure) kriterini Tsai-Wu analizi ile belirleriz. Kompozit yapıların emniyet faktörünü belirlemek için Tsai-Wu kriteri uygulanır. Bu kriter, başarısızlığı tahmin etmek için toplam gerinim enerjisini (hem bozulma enerjisi hem de genişleme enerjisi) göz önüne alır. ANSYS Workbench programı yardımıyla bilgisayar ortamında bu analiz gerçekleştirilmiştir.

$$H_1\sigma_1 + H_2\sigma_2 + H_6\tau_{12} + H_{11}\,\sigma_1^2 + H_{22}\sigma_2^2 + H_{66}\,\tau_{12}^2 + 2H_{12}\sigma_1\sigma_2 < 1 \qquad (5.2)$$

Hasar teorisinin H1, H2, H6, H11, H22 ve H66 bileşenleri, tek yönlü bir laminanın beş mukavemet parametresi kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur:

$\sigma_1 = (\sigma_1^T)_{ult}$, $\sigma_2 = 0$, $\tau_{12} = 0$ tek yönlü laminaya uygulanır;

$$H_1\,(\sigma_1^T)_{ult} + H_{11}\,(\sigma_1^T)^2_{ult} = 1 \qquad (5.3)$$

$\sigma_1 = -(\sigma_1^C)_{ult}$, $\sigma_2 = 0$, $\tau_{12} = 0$ tek yönlü laminaya uygulanır;

$$-H_1\,(\sigma_1^C)_{ult} + H_{11}\,(\sigma_1^C)^2_{ult} = 1 \qquad (5.4)$$

$$H_1 = 1/(\sigma_1^T)_{ult} - 1/(\sigma_1^C)_{ult} \qquad (5.5)$$

$H_{11} = 1/(\sigma_1^T)_{ult}\,(\sigma_1^C)_{ult}$ olarak yazılır.

$\sigma_1 = 0$, $\sigma_2 = -\,(\sigma_2^C)_{ult}$, $\tau_{12} = 0$ tek yönlü laminaya uygulanır;

$$-H_2\,(\sigma_2^C)_{ult} + H_{22}\,(\sigma_1^C)^2_{ult} = 1 \qquad (5.6)$$

$$H_2 = 1/(\sigma_2^T)_{ult} - 1/(\sigma_2^C)_{ult} \qquad (5.7)$$

$H_{22} = 1/(\sigma_2^T)_{ult}\,(\sigma_2^C)_{ult}$ olarak yazılır.

$\sigma_1 = 0$, $\sigma_2 = 0$, $\tau_{12} = -(\tau_{12})_{ult}$ tek yönlü laminaya uygulanır;

$$H_6\,(\tau_{12})_{ult} + H_{66}(\tau_{12})^2{}_{ult} = \tag{5.8}$$

$$H_6 = 0 \tag{5.9}$$

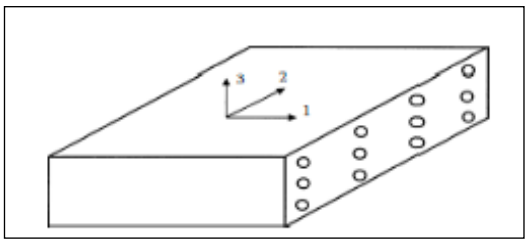
$H_{66} = 1/(\tau_{12})^2{}_{ult}$ olarak yazılır.

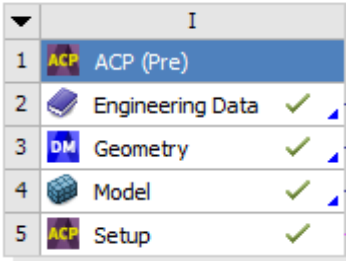
$$(H_1 + H_2)\,\sigma + (H_{11} + H_{22} + 2H_{12})\,\sigma^2 = \tag{5.10}$$

$H_{12} = 1/2\sigma\,[1 - (H_1 + H_2)\,\sigma - (H_{11} + H_{22})\,\sigma^2]$ olarak yazılır.

Hesaplanan değer 1'den küçük çıkıyorsa katmanda hasar olmaz. Hesaplamalar sonucu tablolarda yer alan σ_1, σ_2, σ_3, ε_1, ε_2, ε_3, γ_{12}, γ_{13}, γ_{23}, τ_{12}, τ_{13}, τ_{23} değerlerini şöyle açıklamak mümkündür; σ_1 1 yönündeki gerilme (fiber yönünde), σ_2 2 yönündeki gerilme (fiber yönüne dik), σ_3 3 yönündeki gerilme (fiber düzlemine dik), τ_{12} 12 yönü düzlem gerilmesi, τ_{13} 13 yönü düzlem gerilmesi, τ_{23} 23 yönü düzlem gerilmesi, ε_1 1 yönündeki gerinim, ε_2 2 yönündeki gerinim, ε3 3 yönündeki gerinim, γ_{12} 12 yönü düzlem gerinimi, γ_{13} 13 yönü düzlem gerinimi, γ_{23} 23 yönü düzlem gerinimi olarak belirtilmiştir.

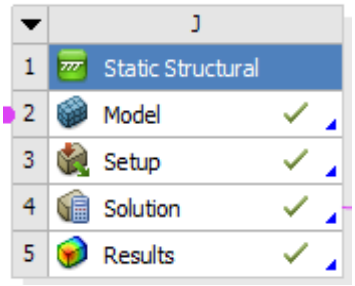
Bu analizi yapmak için SolidWorks'te tasarladığımız gövde ve kanadı ANSYS Workbench programına aktardıktan sonra, program içinde bulunun ACP Pre araç çubuğu vasıtasıyla tasarlanmış gövde ve kanadımızı kapladığımız malzemenin ataması gerçekleştirildi. Bu araç çubuğu ile hem malzeme hem malzemenin fiber dizilim açıları belirlendi hem de kalınlık belirlendi. Kullanılan araç çubuğu Şekil 5.10'da görülmektedir [32].





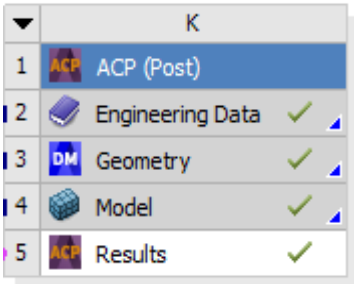
Şekil 5.9: Fiber yönü. Şekil 5.10: ACP Pre modülü.

Daha sonra Statik Yapı modülüne bağlandı, 50 g ve 100 g değerleri uygulanarak analiz gerçekleştirildi. Şekil 5.11'de Statik Yapı araç çubuğu gösterilmiştir.



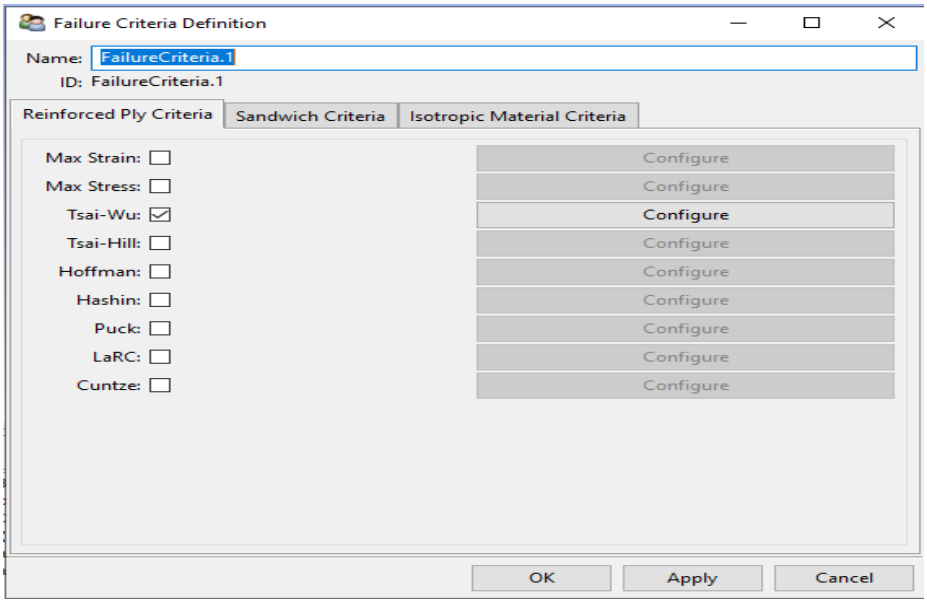
Şekil 5.11: Statik yapı modülü.

Bu araç çubuğunda analizi gerçekleştirilen kanadın sonuçlarını ACP Post araç çubuğuna bağlayarak kompozit malzeme analizi sonuçlarını elde etmiş olduk. Şekil 5.12'de ACP Post araç çubuğu gösterilmiştir.

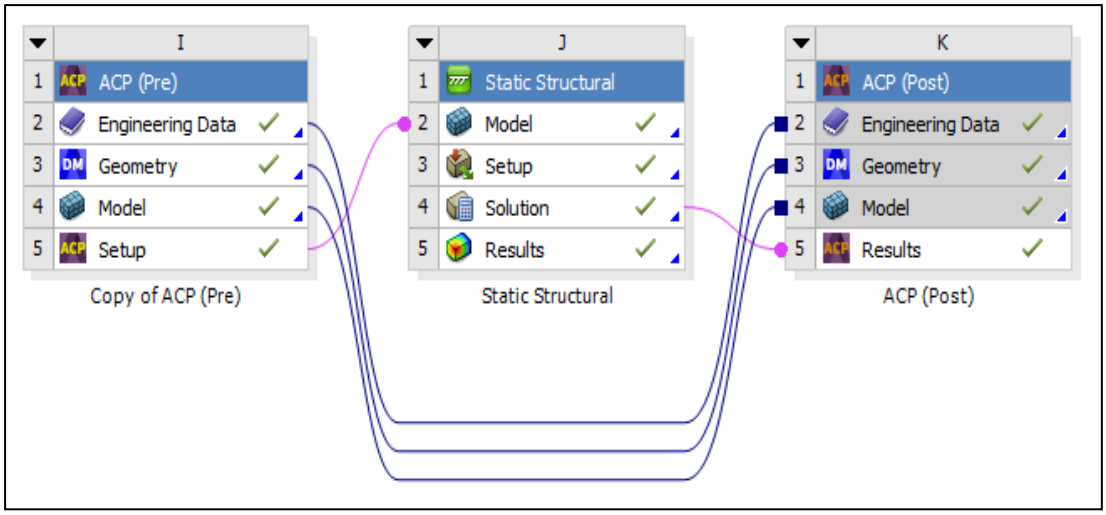


Şekil 5.12: ACP Post modülü.

ACP Post araç çubuğunda çıkan materyal ağacından Definitions (tanımlar) kısmında yer alan Hasar Kriteri komutundan Tsai-Wu hasar kriterini etkinleştirerek sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 5.13'te belirtilmiştir.



Şekil 5.13: Hasar Kriteri.



Şekil 5.14: ACP modül şeması.

Köpük malzemeden yapılmış modelimizin 3 farklı kompozit malzeme ile 2 farklı kalınlıkta ve 3 farklı fiber açısında kaplanması sonucunda 50 g ve 100 g gibi büyük ivmelerde, her tabaka için gerilme, gerinim ve hasar kriteri değerlerine bakılmıştır. Hasar kriterinin 1'in üstünde bir değer çıkması malzemenin kırılacağını gösterir.

5.2. 50G Analiz Sonuçları

Analizlerde öncelikle polistren köpük malzemesinin ACP modülünün bağlandığı statik yapı kısmından, deformasyon ve güvenlik faktörü değeri incelenmiştir. Ardından polistiren köpük malzemesi, sırasıyla epoksi karbon UD prepreg, epoksi E cam ve epoksi S cam malzemeleri ile kaplanmış ve güvenlik faktörü ve deformasyon değerlerindeki değişime bakılmıştır. Kompozit malzeme ile kaplanmış olan modelimizin her bir katmanı için Tsai-Wu kriterine göre gerilme, gerinim ve kırılma değerleri ACP post kısmından alınan verilere göre tablo haline getirilmiştir.

5.2.1. Epoksi Karbon UD 230 GPa Prepreg Malzeme Kaplama Sonuçları (Tek Kat)

Şekil 5.15'te Polystyrene Köpük malzeme üzerine 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda Epoksi Karbon UD ile kaplanmış malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 50 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre; 50 G ivmelenmeyi sadece polistiren köpük malzemesi üzerine uyguladığımızda İHA üzerinde oluşan deformasyonların değerleri maksimum 72,39 mm olarak görülmüştür ve güvenlik faktörü 0,778 çıkmıştır.

Polistiren köpük malzeme üzerine Epoksi Karbon UD malzeme kaplayarak yaptığımız analizlerde ise kapladığımız kompozit malzeme için 3 farklı fiber açısı ve 2 farklı kalınlık değeri kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzeme ile kaplama sonucunda deformasyonlardaki düşüş oldukça göze çarpmaktadır. Fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısı kullanılarak yapılan analizde çıkmıştır ve maksimum 4,38 mm 'dir. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,22 mm	2,75 mm	4,38 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,040 mm	0,089 mm	0,069 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,22 mm	2,748 mm	4,38 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,010 mm	0,0957 mm	0,165 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	10,73	9,63	9,33
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,218 mm	2,539 mm	4,024 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,040 mm	0,079 mm	0,065 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,217 mm	2,537 mm	4,024 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,008 mm	0,085 mm	0,146 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	9,92	9,82	9,04

Şekil 5.15: Polistiren köpük - epoksi karbon UD deformasyon, güvenlik faktörü.

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						**Hasar Kriteri**
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,000085824	0,001107	0,00054	0,00044	0	0	10,406	9,5767	0	2,0934	1,2818E-17	4,585E-18	Maksimum: 0,35903
Minimum	**alt**	-0,000031816	-0,0013377	-0,00045	-0,00056	0	0	-3,2656	-11,558	0	-2,6686	-9,7522E-18	-1,0403E-17	Minimum: 0,00022
Maksimum	**orta**	0,000084068	0,001	0,00052	0,00043	0	0	10,198	9,2615	0	2,0229	0,2553	0,2723	
Minimum	**orta**	-0,000023352	-0,0012	-0,00043	-0,00049	0	0	-2,8232	-11,083	0	-2,304	-0,3355	-0,12	
Maksimum	**üst**	0,000082313	0,0012	0,00058	0,00041	0	0	9,989	10,401	0	1,9739	1,2818E-17	4,585E-18	
Minimum	**üst**	-0,000025895	-0,0014	-0,00048	-0,00043	0	0	-3,2604	-12,338	0	-2,0333	-9,7522E-18	-1,0403E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,00007809	0,001043	0,00048	0,0005	0	0	9,4499	8,9894	0	2,3518	1,0526E-17	3,8E-18	Maksimum: 0,33202
Minimum	**alt**	-0,000035022	-0,001189	-0,00042	-0,00071	0	0	-3,341	-10,282	0	-3,3635	-8,0028E-18	-9,035E-18	Minimum: 0,00032
Maksimum	**orta**	0,000075202	0,0010171	0,00046	0,00047	0	0	9,1109	8,7801	0	2,2169	0,3243	0,3662	
Minimum	**orta**	-0,000022163	-0,0011416	-0,00041	-0,00055	0	0	-2,5658	-9,867	0	-2,6021	-0,4266	-0,154	
Maksimum	**üst**	0,000072325	0,0011139	0,00053	0,00045	0	0	8,7745	9,6172	0	2,1411	1,0526E-17	3,8E-18	
Minimum	**üst**	-0,000025336	-0,00132	-0,00045	-0,00044	0	0	-3,0522	-11,409	0	-2,0944	-8,0028E-18	-9,035E-18	

Şekil 5.16: Epoksi karbon UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001828	0,000821	0,0003012	0,001433	0	0	21,936	7,1383	0	6,7389	2,4483E-17	1,5924E-17	Maksimum: 0,3063
Minimum	alt	-0,000138	-0,00061	-0,0003408	-0,000805	0	0	-18,214	-5,6034	0	-3,7844	-1,7387E-17	-1,7095E-17	Minimum: 0,0001837
Maksimum	orta	0,000141	0,0008462	0,0002899	0,0013177	0	0	17,28	7,4057	0	6,1933	0,45519	0,44754	
Minimum	orta	-0,0001152	-0,000606	-0,0003599	-0,0007986	0	0	-15,43	-5,4949	0	-3,7536	-0,64097	-0,4169	
Maksimum	üst	0,0001953	0,0008711	0,0003375	0,0012625	0	0	23,988	7,6732	0	5,9336	2,4483E-17	1,5924E-17	
Minimum	üst	-0,0001791	-0,0006661	-0,0003789	-0,0008718	0	0	-23,336	-6,162	0	-4,0976	-1,7387E-17	-1,7095E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001799	0,0007444	0,0002638	0,001351	0	0	21,577	6,4654	0	6,3498	1,8688E-17	1,2168E-17	Maksimum: 0,28396
Minimum	alt	-0,0001169	-0,0005447	-0,000308	-0,000733	0	0	-15,477	-4,939	0	-3,4457	-1,4107E-17	-1,3735E-17	Minimum: 0,0005099
Maksimum	orta	0,0001338	0,0007754	0,0002598	0,001219	0	0	16,353	6,7949	0	5,7304	0,57179	0,5567	
Minimum	orta	-0,0001041	-0,0005459	-0,0003307	-0,0007285	0	0	-13,928	-4,9459	0	-3,4241	-0,75745	-0,4932	
Maksimum	üst	0,0001953	0,0008064	0,0003166	0,00117	0	0	23,963	7,1244	0	5,503	1,8688E-17	1,2168E-17	
Minimum	üst	-0,0001805	-0,0006174	-0,0003541	-0,0008165	0	0	-23,362	-5,737	0	-3,8376	-1,4107E-17	-1,3735E-17	

Şekil 5.17: Epoksi karbon UD, 45 derece, gerilme-gerinim kırılma kriteri.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001165	0,0001042	3,4755E-05	0,0008566	0	0	14.022	0,8471	0	4,0261	7,7791E-18	9,7607E-18	Maksimum: 0,07046
Minimum	alt	-9,4572E-05	-8,6863E-05	-3,7809E-05	-0,0005629	0	0	-11,491	-0,5774	0	-2,6457	-1,4988E-17	-6,2622E-18	Minimum: 0,00033
Maksimum	orta	0,0001525	9,9931E-05	3,3947E-05	0,0007681	0	0	18,524	0,8237	0	3,61	0,3923	0,1639	
Minimum	orta	-8,9214E-05	-7,2581E-05	-5,3273E-05	-0,0005383	0	0	-10,851	-0,5975	0	-2,5301	-0,2036	-0,2555	
Maksimum	üst	0,000205	0,000106	6,9368E-05	0,0006795	0	0	24,944	0,9308	0	3,194	7,7791E-18	9,7607E-18	
Minimum	üst	-0,0001814	-7,9198E-05	-7,9271E-05	-0,0005137	0	0	-22,071	-0,694	0	-2,4144	-1,4988E-17	-6,2622E-18	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001152	0,000114	2,8842E-05	0,0009629	0	0	13,839	0,93219	0	4,5258	6,5712E-18	7,9008E-18	Maksimum: 0,07955
Minimum	alt	-7,7643E-05	-9,9977E-05	-4,0848E-05	-0,0006645	0	0	-9,4314	-0,65401	0	-2,8415	-1,351E-17	-5,6649E-18	Minimum: 0,00052
Maksimum	orta	0,0001602	0,000112	2,9283E-05	0,0008089	0	0	19,462	0,9281	0	3,802	0,5475	0,2296	
Minimum	orta	-7,6629E-05	-8,0949E-05	-5,6091E-05	-0,0005621	0	0	-9,3214	-0,667	0	-2,642	-0,2663	-0,3202	
Maksimum	üst	0,000226	0,0001171	7,1019E-05	0,0006549	0	0	27,51	1,0325	0	3,0781	6,5712E-18	7,9008E-18	
Minimum	üst	-0,000855	-8,8246E-05	-8,8786E-05	-0,0005196	0	0	-22,565	-0,7787	0	-2,4425	-1,351E-17	-5,6649E-18	

Şekil 5.18: Epoksi karbon UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.2.2. Epoksi E Cam Malzeme Sonuçları (Tek Kat)

Şekil 5.19'da Polistiren Köpük malzemeye ve bu malzeme üzerine 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda Epoksi E cam UD ile kaplanmış malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 50 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Polysyrene köpük malzeme üzerine Epoksi E cam UD malzeme kaplayarak yaptığımız analizlerde, kapladığımız kompozit malzeme için fiber açısı olarak yine 3 farklı açı kullanılmış ve analizi bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Kompozit malzeme ile kaplama sonucunda fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısı kullanılarak yapılan analizde çıkmıştır ve maksimum 4,59 mm 'dir. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir, bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,972 mm	3,283 mm	4,597 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,053 mm	0,093 mm	0,076 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,972 mm	3,282 mm	4,596 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,034 mm	0,111 mm	0,167 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	9	8,21	8
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,924 mm	3,088 mm	4,304 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,053 mm	0,083 mm	0,073 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,923 mm	3,087 mm	4,303 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,030 mm	0,100 mm	0,150 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	8,42	7,94	7,58

Şekil 5.19: Polistiren köpük -epoksi E cam UD deformasyon, güvenlik faktörü.

Modelin düz iniş durumu için yapılan analiz sonuçları aşağıda yer alan Şekil 5.20'de verilmiştir ve ters iniş durumunda elde edilen sayısal sonuçlarla birbirine çok yakın oldukları görülmüştür.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	70,905	1,972 mm	3,284 mm	4,597 mm
X Yönündeki deformasyon	1,2894	0,0239 mm	0,00044 mm	0,021 mm
Y Yönündeki deformasyon	-70,826	-1,972	-3,282	-4,596
Z Yönündeki deformasyon	1,55	-0,03466	0,12 mm	-0,167
Güvenlik Faktörü	0,408	9	8,21	8
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	70,905	1,92 mm	3,08 mm	4,30 mm
X Yönündeki deformasyon	1,2894	0,025 mm	0,00055 mm	0,021 mm
Y Yönündeki deformasyon	-70,826	-1,924	0,0020 mm	-4,304
Z Yönündeki deformasyon	1,55	-0,03047	0,109 mm	-0,150
Güvenlik Faktörü	0,408	8,42	7,94	7,58

Şekil 5.20: Polistiren köpük -epoksi E cam UD deformasyon, güvenlik faktörü (düz iniş durumu).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001513	0,001126	0,0005752	0,0004075	0	0	6,7423	11,508	0	2,0375	8,5217E-18	6,2565E-18	Maksimum: 0,3597
Minimum	alt	-7,1684E-05	-0,001346	-0,0004848	-0,0004619	0	0	-3,9488	-13,723	0	-2,3097	-1,2164E-17	-1,1878E-17	Minimum: 0,00021
Maksimum	orta	0,0001494	0,001073	0,0005474	0,0003949	0	0	6,6659	10,892	0	1,9745	0,31847	0,31097	
Minimum	orta	-6,5690E-05	-0,00128	-0,0004536	-0,0004639	0	0	-3,7836	-13,055	0	-2,3199	-0,2231	-0,1698	
Maksimum	üst	0,0001476	0,00124	0,0006197	0,0003843	0	0	6,5898	12,628	0	1,9219	8,5217E-18	6,2565E-18	
Minimum	üst	-6,921E-05	-0,001452	-0,0005279	-0,000466	0	0	-4,3685	-14,799	0	-2,3301	-1,2164E-17	-1,1878E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001394	0,001094	0,0005205	0,0004963	0	0	6,1919	11,027	0	2,4817	7,3901E-18	5,2824E-18	Maksimum: 0,3399
Minimum	alt	-7,6101E-05	-0,001216	-0,0004513	-0,0006133	0	0	-3,6303	-12,409	0	-3,0665	-1,0207E-17	-1,0786E-17	Minimum: 0,0003361
Maksimum	orta	0,0001363	0,001046	0,0004963	0,00047	0	0	6,0617	10,629	0	2,3501	0,4137	0,4371	
Minimum	orta	-6,561E-05	-0,00116	-0,0004413	-0,0004778	0	0	-3,4508	-11,834	0	-2,3892	-0,2995	-0,2141	
Maksimum	üst	0,0001331	0,001171	0,0005874	0,0004518	0	0	5,9328	11,927	0	2,2593	7,3901E-18	5,2824E-18	
Minimum	üst	-6,9337E-05	-0,001375	-0,0004986	-0,0004802	0	0	-4,1383	-14,023	0	-2,4013	-1,0207E-17	-1,0786E-17	

Şekil 5.21: Epoksi E cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002428	0,0007771	0,0003811	0,001336	0	0	11,033	8,1793	0	6,681	1,5232E-17	1,4387E-17	Maksimum: 0,2780
Minimum	alt	-0,0002926	-0,0006013	-0,0003711	-0,0009206	0	0	-15,244	-7,0174	0	-4,6032	-1,5853E-17	-1,8162E-17	Minimum: 0,000542
Maksimum	orta	0,0002394	0,0007783	0,0003576	0,001245	0	0	11,487	8,231	0	6,2281	0,415	0,4754	
Minimum	orta	-0,0002603	-0,0005801	-0,0003772	-0,0008767	0	0	-13,708	-6,6972	0	-4,3839	-0,3987	-0,3766	
Maksimum	üst	0,000272	0,000833	0,0004259	0,001216	0	0	13,104	8,9436	0	6,0807	1,5232E-17	1,4387E-17	
Minimum	üst	-0,0003385	-0,000656	-0,0004217	-0,001018	0	0	-17,544	-7,7283	0	-5,0912	-1,5853E-17	-1,8162E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002569	0,0007015	0,0003435	0,001305	0	0	11,601	7,3373	0	6,5248	1,2405E-17	1,1536E-17	Maksimum: 0,2660
Minimum	alt	-0,000265	-0,0005438	-0,0003392	-0,0008298	0	0	-13,761	-6,326	0	-4,1491	-1,315E-17	-1,608E-17	Minimum: 0,0005830
Maksimum	orta	0,0002461	0,0007293	0,0003257	0,001201	0	0	11,664	7,7572	0	6,0081	0,533	0,6517	
Minimum	orta	-0,0002408	-0,0005322	-0,0003599	-0,0008125	0	0	-12,616	-6,1015	0	-4,0626	-0,5028	-0,4676	
Maksimum	üst	0,0002804	0,000782	0,0004075	0,001179	0	0	13,399	8,4519	0	5,8968	1,2405E-17	1,1536E-17	
Minimum	üst	-0,0003395	-0,0006214	-0,0004031	-0,0009783	0	0	-17,454	-7,3114	0	-4,8916	-1,315E-17	-1,608E-17	

Şekil 5.22: Epoksi E cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002776	0,000121	0,000123	0,0006901	0	0	12,578	1,1327	0	3,4506	7,5798E-18	1,2370E-17	Maksimum: 0,04360
Minimum	alt	-0,0002887	-0,0001045	-0,0001102	-0,0005167	0	0	-13,253	-0,8689	0	-2,5837	-1,4461E-17	-6,8098E-18	Minimum: 0,00046
Maksimum	orta	0,0002813	0,0001202	0,0001171	0,0006096	0	0	12,824	1,1356	0	3,0482	0,3785	0,1782	
Minimum	orta	-0,0002737	-9,0803E-05	-0,0001114	-0,0004974	0	0	-12,568	-0,83278	0	-2,4873	-0,1984	-0,3238	
Maksimum	üst	0,000365	0,0001222	0,0001707	0,0005291	0	0	16,758	1,1391	0	2,6457	7,5798E-18	1,2370E-17	
Minimum	üst	-0,0003987	-9,7822E-05	-0,0001564	-0,0004781	0	0	-18,307	-1,2186	0	-2,3908	-1,4461E-17	-6,8098E-18	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002828	0,0001335	0,0001048	0,0008343	0	0	12,823	1,1714	0	4,1715	6,2669E-18	1,0065E-17	Maksimum: 0,0537
Minimum	alt	-0,0002496	-0,0001207	-0,0001049	-0,0005895	0	0	-11,443	-0,8365	0	-2,9477	-1,3523E-17	-6,4007E-18	Minimum: 0,00057
Maksimum	orta	0,0003	0,0001289	0,0001044	0,0006891	0	0	13,674	1,1279	0	3,4459	0,5481	0,2594	
Minimum	orta	-0,0002432	-9,8687E-05	-0,0001163	-0,0005518	0	0	-11,171	-0,8626	0	-2,7595	-0,254	-0,4079	
Maksimum	üst	0,0003863	0,0001375	0,0001711	0,000544	0	0	17.688	1,3059	0	2,7203	6,2669E-18	1,0065E-17	
Minimum	üst	-0,0003994	-0,0001065	-0,0001581	-0,0005204	0	0	-18,341	-1,2228	0	-2,602	-1,3523E-17	-6,4007E-18	

Şekil 5.23: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinim						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		Ɛ1	Ɛ2	Ɛ3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	**alt**	0,0002887	0,0001045	0,0001102	0,0005167	0	0	13,253	0,8689	0	2,5837	1,4461E-17	6,8098E-18	Maksimum: 0,05147
Minimum	**alt**	0,0002776	-0,0001210	-0,0001230	-0,0006901	0	0	-12,578	-1,1327	0	-3,4506	-7,5798E-18	-1,237E-17	Minimum: 0,0004208
Maksimum	**orta**	0,0002737	9,08E-05	0,0001114	0,0004974	0	0	12,568	0,8327	0	2,4873	0,1984	0,3238	
Minimum	**orta**	-0,0002813	-0,0001202	-0,0001171	-0,0006096	0	0	-12,824	-1,1356	0	-3,0482	-0,3785	-0,1782	
Maksimum	**üst**	0,0003987	9,78E-05	0,0001564	0,0004781	0	0	18,307	1,2186	0	2,3908	1,4461E-17	6,8098E-18	
Minimum	**üst**	-0,0003650	-0,0001222	-0,0001707	-0,0005291	0	0	-16,758	-1,1391	0	-2,6457	-7,5798E-18	-1,237E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		Ɛ1	Ɛ2	Ɛ3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	**alt**	0,0002496	0,0001207	0,0001049	0,0005895	0	0	11,443	0,8365	0	2,9477	1,35E-17	6,40E-18	Maksimum: 0,06123
Minimum	**alt**	-0,0002828	-0,0001335	-0,0001048	-0,0008343	0	0	-12,823	-1,1714	0	-4,1715	-6,27E-18	-1,01E-17	Minimum: 0,0006038
Maksimum	**orta**	0,0002443	9,87E-05	0,0001163	0,0005518	0	0	11,171	0,8626	0	2,7595	0,254	0,4079	
Minimum	**orta**	-0,0003000	-0,0001289	-0,0001044	-0,0006891	0	0	-13,674	-1,1279	0	-3,4459	-0,5481	-0,2594	
Maksimum	**üst**	0,0003994	0,0001065	0,0001581	0,0005204	0	0	18,341	1,2228	0	2,602	1,35E-17	6,40E-18	
Minimum	**üst**	-0,0003863	-0,0001375	-0,0001711	-0,000544	0	0	-17,688	-1,3059	0	-2,7203	-6,27E-18	-1,01E-17	

Şekil 5.24: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri (düz iniş durumu).

Modelin düz iniş durumu için yapılan analiz sonuçları yukarıda yer alan Şekil 5.24'te verilmiştir ve ters iniş durumunda elde edilen sayısal sonuçlarla birçoğunun aynı olduğu görülmüştür.

5.2.3. Epoksi S cam Malzeme Sonuçları (Tek Kat)

Şekil 5.25'te Polistiren Köpük malzemeye ve bu malzeme üzerine 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda epoksi S cam UD ile kaplanmış malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 50 g ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Polistiren köpük malzeme üzerine epoksi S cam UD malzeme kaplayarak yaptığımız analizlerde kapladığımız kompozit malzeme için fiber açısı olarak diğer kaplama malzemelerinde olduğu gibi 3 farklı açı kullanılmış ve analizi bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Kompozit malzeme ile kaplama sonucunda fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısı kullanılarak yapılan analizde çıkmıştır ve maksimum 5,399 mm 'dir. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,337 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,889 mm	3,559 mm	5,399 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,052 mm	0,111 mm	0,082 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,888 mm	3,557 mm	5,398 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,030 mm	0,117 mm	0,208 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	9,02	8,3	7,6
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,846 mm	3,343 mm	5,034 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,052 mm	0,098 mm	0,078 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,845 mm	3,341 mm	5,034 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,027 mm	0,106 mm	0,189 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	8,41	7,9	7,3

Şekil 5.25: Polistiren köpük -epoksi S cam UD deformasyon, güvenlik faktörü.

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						**Hasar Kriteri**
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0001653	0,001392	0,0007073	0,0004049	0	0	8,2252	11,317	0	2,0245	8,2156E-18	6,0007E-18	Maksimum: 0,3499
Minimum	**alt**	-7,1288E-05	-0,001686	-0,0005877	-0,0004739	0	0	-3,8944	-13,679	0	-2,3699	-1,1825E-17	-1,2114E-17	Minimum: 0,00020
Maksimum	**orta**	0,0001636	0,001331	0,0006769	0,0003919	0	0	8,1431	10,771	0	1,9597	0,3095	0,3171	
Minimum	**orta**	-5,9461E-05	-0,001613	-0,0005556	-0,0004761	0	0	-3,7729	-13,087	0	-2,3806	-0,215	-0,1571	
Maksimum	**üst**	0,0001618	0,001512	0,000753	0,0003833	0	0	8,061	12,256	0	1,9166	8,2156E-18	6,0007E-18	
Minimum	**üst**	-6,3109E-05	-0,001797	-0,0006324	-0,0004782	0	0	-4,2849	-14,573	0	-2,3912	-1,1825E-17	-1,2114E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0001519	0,001341	0,0006424	0,0004915	0	0	7,5332	10,796	0	2,4579	7,1803E-18	5,0987E-18	Maksimum: 0,3291
Minimum	**alt**	-7,0609E-05	-0,00153	-0,0005481	-0,0006114	0	0	-3,597	-12,417	0	-3,0573	-9,9873E-18	-1,0908E-17	Minimum: 0,00031
Maksimum	**orta**	0,0001488	0,00129	0,0006145	0,0004658	0	0	7,3924	10,435	0	2,3292	0,4048	0,4421	
Minimum	**orta**	-5,8413E-05	-0,001464	-0,0005356	-0,0004876	0	0	-3,4457	-11,878	0	-2,438	-0,291	-0,2066	
Maksimum	**üst**	0,0001458	0,001423	0,0007101	0,0004499	0	0	7,2559	11,521	0	2,2497	7,1803E-18	5,0987E-18	
Minimum	**üst**	-6,2484E-05	-0,001694	-0,0005939	-0,0004902	0	0	-4,0608	-13,738	0	-2,451	-9,9873E-18	-1,0908E-17	

Şekil 5.26: Epoksi S cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						**Hasar Kriteri**
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0002614	0,0008793	0,0004098	0,001354	0	0	13,12	7,3117	0	6,7721	1,762E-17	1,4132E-17	Maksimum: 0,2432
Minimum	**alt**	-0,0002716	-0,000704	-0,0004008	-0,001001	0	0	-15,455	-6,3649	0	-5,005	1,4217E-17	-1,9396E-17	Minimum: 0,00051
Maksimum	**orta**	0,0002506	0,0008665	0,0003896	0,001259	0	0	12,885	7,1724	0	6,2958	0,3722	0,5077	
Minimum	**orta**	-0,0002411	-0,0006906	-0,0004039	-0,0009431	0	0	-13,878	-6,1529	0	-4,7155	-0,4612	-0,3699	
Maksimum	**üst**	0,0002901	0,0009429	0,0004525	0,001251	0	0	15,323	7,97	0	6,2584	1,762E-17	1,4132E-17	
Minimum	**üst**	-0,000317	-0,0007585	-0,0004535	-0,001097	0	0	-17,92	-6,9032	0	-5,4872	-1,4217E-17	-1,9396E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0002691	0,000793	0,0003696	0,001313	0	0	13,469	6,5602	0	6,5653	1,424E-17	1,1268E-17	Maksimum: 0,2315
Minimum	**alt**	-0,0002457	-0,0006425	-0,0003565	-0,0009027	0	0	-13,943	-5,7436	0	-4,5138	-1,1799E-17	-1,6696E-17	Minimum: 0,00054
Maksimum	**orta**	0,0002505	0,0007967	0,0003547	0,001206	0	0	12,855	6,7405	0	6,0302	0,4782	0,6767	
Minimum	**orta**	-0,0002234	-0,0006345	-0,0003828	-0,0008688	0	0	-12,798	-5,6306	0	-4,3441	-0,5771	-0,4567	
Maksimum	**üst**	0,0002952	0,0008807	0,0004306	0,0004306	0	0	15,504	7,4857	0	6,017	1,424E-17	1,1268E-17	
Minimum	**üst**	-0,0003191	-0,0007172	-0,0004315	-0,0004315	0	0	-17,894	-6,5407	0	-5,2441	-1,1799E-17	-1,6696E-17	

Şekil 5.27: Epoksi S cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		Ɛ1	Ɛ2	Ɛ3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002498	0,0001341	0,0001101	0,0007249	0	0	12,558	1,0119	0	3,6248	7,349E-18	1,2165E-17	Maksimum: 0,0462
Minimum	alt	-0,0002596	-0,000109	-9,8539E-05	-0,0005246	0	0	-13,17	-0,6863	0	-2,6232	-1,4483E-17	-6,8181E-18	Minimum: 0,00042
Maksimum	orta	0,0002668	0,0001333	0,0001052	0,0006421	0	0	13,469	1,0158	0	3,2105	0,3791	0,1785	
Minimum	orta	-0,0002473	-9,8579E-05	-0,0001026	-0,0005029	0	0	-12,545	-0,7348	0	-2,5149	-0,1924	-0,3184	
Maksimum	üst	0,0003416	0,0001338	0,0001578	0,0005592	0	0	17,328	1,0383	0	2,7962	7,349E-18	1,2165E-17	
Minimum	üst	-0,0003705	-0,000107	-0,0001455	-0,0004832	0	0	-18,799	-0,9016	0	-2,4165	-1,4483E-17	-6,8181E-18	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		Ɛ1	Ɛ2	Ɛ3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002541	0,0001493	9,4378E-05	0,0008625	0	0	12,788	1,0506	0	4,3128	6,1111E-18	9,952E-18	Maksimum: 0,0559
Minimum	alt	-0,000226	-0,0001261	-9,5861E-05	-0,0005937	0	0	-11,456	-0,7563	0	-2,9688	-1,3502E-17	-6,3889E-18	Minimum: 0,00057
Maksimum	orta	0,0002834	0,0001449	9,365E-05	0,0007144	0	0	14,307	1,0412	0	3,5724	0,5472	0,2589	
Minimum	orta	-0,000219	-0,0001088	-0,0001084	-0,0005533	0	0	-11,116	-0,7881	0	-2,7668	-0,2477	-0,4033	
Maksimum	üst	0,0003687	0,0001522	0,0001589	0,0005664	0	0	18,683	1,1907	0	2,832	6,1111E-18	9,952E-18	
Minimum	üst	-0,0003729	-0,0001182	-0,0001529	-0,0005214	0	0	-18,921	-0,9501	0	-2,6071	-1,3502E-17	-6,3889E-18	

Şekil 5.28: Epoksi S cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.2.4. Epoksi Karbon UD 230 GPa Prepreg Malzeme Sonuçları (İki kat)

Şekil 5.29'da Polystyrene Köpük malzeme üzeri 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda 2 kat Epoksi Karbon UD malzeme ile kaplanmıştır ve malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 50 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Epoksi Karbon UD UD malzeme ile kaplama sonucunda fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısında meydana gelmiştir ve maksimum 3,62 mm çıkmıştır. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg
0 derece atak açı	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,23 mm	2,31 mm	3,62 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,042 mm	0,067 mm	0,060 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,23 mm	2,31 mm	3,62 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,006 mm	0,073 mm	0,123 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	8,4	9,27	8,25
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg
0 derece atak açı	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,26 mm	2,21 mm	3,46 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,044 mm	0,063 mm	0,059 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,26 mm	2,21 mm	3,46 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,006 mm	0,068 mm	0,113 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	7,63	8,73	7,72

Şekil 5.29: Polistiren köpük -epoksi karbon UD deformasyon, güvenlik faktörü (iki kat).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						**Hasar Kriteri**
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	7,1572E-05	0,0009747	0,0004034	0,0006203	0	0	8,619	8,4018	0	2,9156	2,2464E-17	9,078800E-18	Maksimum: 0,2914
Minimum	**alt**	-3,9515E-05	-0,0009903	-0,0003929	-0,0010734	0	0	-3,5605	-8,5619	0	-5,045	-1,8229E-17	-2,2726E-17	Minimum: 0,00025
Maksimum	**orta**	6,829E-05	0,0009518	0,0003964	0,0005657	0	0	8,2391	8,2	0	2,6592	0,3579	0,4462	
Minimum	**orta**	-2,7041E-05	-0,0009746	-0,000383	-0,0008558	0	0	-2,7843	-8,4223	0	-4,0224	-0,4410	-0,1782	
Maksimum	**üst**	6,5031E-05	0,0009645	0,0003988	0,0005288	0	0	7,8598	8,3314	0	2,4855	0,4772	0,5949	
Minimum	**üst**	-2,0559E-05	-0,0009789	-0,0003916	-0,0006451	0	0	-2,3183	-8,463	0	-3,0321	-0,5881	-0,2376	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		**2.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	6,5031E-05	0,0009645	0,0003988	0,0005288	0	0	7,8598	8,3314	0	2,4855	0,4772	0,5949	Maksimum: 0,3302
Minimum	**alt**	-2,0559E-05	-0,0009789	-0,0003916	-0,0006451	0	0	-2,3183	-8,463	0	-3,0321	-0,5881	-0,2376	Minimum: 0,00022
Maksimum	**orta**	6,1837E-05	0,001027	0,0004485	0,0005142	0	0	7,4895	8,871	0	2,417	0,3579	0,4462	
Minimum	**orta**	-2,1884E-05	-0,001101	-0,0004169	-0,0005384	0	0	-2,6026	-9,5208	0	-2,5306	-0,4410	-0,1782	
Maksimum	**üst**	5,8719E-05	0,001089	0,0004981	0,0005052	0	0	7,1276	9,4125	0	2,3748	5,2675E-17	5,3224E-17	
Minimum	**üst**	-2,3403E-05	-0,001223	-0,0004426	-0,0005297	0	0	-2,9322	-10,579	0	-2,49	-6,4913E-17	-2,1263E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	7,1399E-05	0,000946	0,000365	0,0007322	0	0	8,5646	8,1556	0	3,4417	1,7371E-17	7,6666E-18	Maksimum: 0,2859
Minimum	**alt**	-4,206E-05	-0,0008989	-0,0003816	-0,001386	0	0	-4,2033	-7,7641	0	-6,5176	-1,454E-17	-1,9938E-17	Minimum: 0,00030
Maksimum	**orta**	6,5975E-05	0,0009294	0,0003596	0,0006364	0	0	7,9351	8,0101	0	2,9911	0,4419	0,6061	
Minimum	**orta**	-2,9053E-05	-0,0008848	-0,0003744	-0,001039	0	0	-3,1844	-7,6399	0	-4,8837	-0,5280	-0,2330	
Maksimum	**üst**	6,0608E-05	0,0009476	0,0003696	0,0005581	0	0	7,3125	8,1879	0	2,6232	0,5893	0,8081	
Minimum	**üst**	-2,1161E-05	-0,0009066	-0,0003852	-0,0006914	0	0	-2,2503	-7,8399	0	-3,2498	-0,7040	-0,3107	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		**2.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	6,0608E-05	0,0009476	0,0003696	0,0005581	0	0	7,3125	8,1879	0	2,6232	0,5893	0,8081	Maksimum: 0,3603
Minimum	**alt**	-2,1161E-05	-0,0009066	-0,0003852	-0,0006914	0	0	-2,2503	-7,8399	0	-3,2498	-0,7040	-0,3107	Minimum: 0,00024
Maksimum	**orta**	5,5370E-05	0,001023	0,000429	0,0005429	0	0	6,705	8,8428	0	2,5516	0,4419	0,6061	
Minimum	**orta**	-2,1157E-05	-0,001053	-0,0004159	-0,0005875	0	0	-2,5859	-9,1044	0	-2,7614	-0,5280	-0,2330	
Maksimum	**üst**	5,0162E-05	0,001099	0,0004885	0,0005276	0	0	6,1009	9,4977	0	2,48	2,0123E-17	6,7789E-17	
Minimum	**üst**	-2,3229E-05	-0,001199	-0,0004467	-0,0005762	0	0	-2,9574	-10,369	0	-2,7084	-2,4041E-17	-2,6066E-17	

Şekil 5.30: Epoksi karbon UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001734	0,0006465	0,0002225	0,001238	0	0	20,799	5,6051	0	5,8228	3,8017E-17	2,4367E-17	Maksimum: 0,2395
Minimum	alt	-0,0001104	-0,000477	-0,0002658	-0,0006531	0	0	-13,162	-4,2533	0	-3,0696	-3,1677E-17	-2,8861E-17	Minimum: 0,00032
Maksimum	orta	0,0001381	0,0006685	0,0002186	0,001153	0	0	16,382	5,8336	0	5,4209	0,6219	0,5666	
Minimum	orta	-9,2580E-05	-0,000476	-0,0002811	-0,0006523	0	0	-12,286	-4,2617	0	-3,0659	-0,7464	-0,4784	
Maksimum	üst	0,0001264	0,0006904	0,0002292	0,001087	0	0	15,41	6,0621	0	5,1127	0,8293	0,7555	
Minimum	üst	-9,0986E-05	-0,00049	-0,0002964	-0,000652	0	0	-12,154	-4,4089	0	-3,0646	-0,9952	-0,6379	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001264	0,0006904	0,0002292	0,001087	0	0	15,41	6,0621	0	5,1127	0,8293	0,7555	Maksimum: 0,2628
Minimum	alt	-9,0986E-05	-0,00049	-0,0002964	-0,000652	0	0	-12,154	-4,4089	0	-3,0646	-0,9952	-0,6379	Minimum: 0,00086
Maksimum	orta	0,0001606	0,0007123	0,0002649	0,001039	0	0	19,658	6,2906	0	4,8869	0,6219	0,5666	
Minimum	orta	-0,0001397	-0,00053	-0,0003116	-0,0006725	0	0	-18,147	-4,8797	0	-3,161	-0,7464	-0,4784	
Maksimum	üst	0,0001948	0,000735	0,0003023	0,00106	0	0	23,907	6,525	0	4,9824	6,2544E-17	1,001E-16	
Minimum	üst	-0,0001917	-0,0005759	-0,0003271	-0,0007703	0	0	-24,577	-5,3802	0	-3,6204	-7,6602E-17	-8,3541E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001695	0,0005953	0,0002062	0,001169	0	0	20,334	5,1529	0	5,4966	2,8972E-17	1,8233E-17	Maksimum: 0,2264
Minimum	alt	-0,0001149	-0,0004641	-0,0002434	-0,0006196	0	0	-13,407	-4,0921	0	-2,9125	-2,5625E-17	-2,1480E-17	Minimum: 0,00035
Maksimum	orta	0,0001355	0,0006226	0,0002046	0,001082	0	0	16,065	5,4325	0	5,0865	0,7789	0,6529	
Minimum	orta	-9,051E-05	-0,0004588	-0,0002617	-0,0006199	0	0	-11,13	-4,0538	0	-2,9137	-0,8807	-0,5542	
Maksimum	üst	0,0001233	0,0006499	0,0002177	0,001015	0	0	15,027	5,7121	0	4,7703	1,0386	0,8706	
Minimum	üst	-8,455E-05	-0,0004734	-0,0002799	-0,0006208	0	0	-11,303	-4,2334	0	-2,9178	-1,1743	-0,7390	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001233	0,0006499	0,0002177	0,001015	0	0	15,027	5,7121	0	4,7703	1,0386	0,8706	Maksimum: 0,2550
Minimum	alt	-8,455E-05	-0,0004734	-0,0002799	-0,0006208	0	0	-11,303	-4,2334	0	-2,9178	-1,1743	-0,7390	Minimum: 0,00075
Maksimum	orta	0,000157	0,0006772	0,0002578	0,0009773	0	0	19,229	5,9917	0	4,5937	0,7789	0,6529	
Minimum	orta	-0,0001414	-0,0005166	-0,0002981	0,0006507	0	0	-18,287	-4,7411	0	-3,0583	-0,8807	-0,5542	
Maksimum	üst	0,0001907	0,0007068	0,0003004	0,001008	0	0	23,43	6,2839	0	4,7381	2,269E-16	1,428E-16	
Minimum	üst	-0,0002003	-0,000566	-0,0003163	-0,000762	0	0	-25,582	-5,3113	0	-3,5818	-2,0069E-16	-1,6823E-16	

Şekil 5.31: Epoksi karbon UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001094	0,0001334	3,3296E-05	0,001192	0	0	13,142	1,0872	0	5,6039	1,5643E-17	1,7429E-17	Maksimum: 0,0978
Minimum	alt	-8,1706E-05	-0,0001146	-4,6049E-05	-0,0006854	0	0	-9,9371	-0,789	0	-3,2241	-3,5423E-17	-1,4888E-17	Minimum: 0,00044
Maksimum	orta	0,0001314	0,0001336	3,1281E-05	0,001019	0	0	15,847	1,0796	0	4,7898	0,6955	0,2923	
Minimum	orta	-6,0211E-05	-9,4226E-05	-4,6349E-05	-0,0006376	0	0	-7,3013	-0,7692	0	-2,9967	-0,3071	-0,3422	
Maksimum	üst	0,0001733	0,0001344	3,3420E-05	0,0008458	0	0	21,057	1,1207	0	3,9756	9,2730E-01	0,3897	
Minimum	üst	-7,6089E-05	-9,5581E-05	-6,0519E-05	-0,0005907	0	0	-9,2439	-0,7900	0	-2,7766	-0,4095	-0,4562	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001733	0,0001344	3,3420E-05	0,0008458	0	0	21,057	1,1207	0	3,9756	0,9273	0,3897	Maksimum: 0,0678
Minimum	alt	-7,6089E-05	-9,5581E-05	-6,0519E-05	-0,0005907	0	0	-9,2439	-0,7900	0	-2,7766	-0,4095	-0,4562	Minimum: 0,00066
Maksimum	orta	0,0002203	0,0001365	4,9716E-05	0,0006726	0	0	26,797	1,1783	0	3,1614	0,6955	0,2923	
Minimum	orta	-0,0001277	-9,8887E-05	-8,3665E-05	-0,0005585	0	0	-15,54	-0,8539	0	-2,6249	-0,3071	-0,3422	
Maksimum	üst	0,0002672	0,0001390	7,4495E-05	0,0005567	0	0	32,537	1,2373	0	2,6165	8,2962E-17	4,3023E-17	
Minimum	üst	-0,0001944	-0,0001034	-0,0001068	-0,0005291	0	0	-23,65	-0,9233	0	-2,4872	-3,6637E-17	-5,0363E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001090	0,0001516	4,3009E-05	0,001373	0	0	13,232	1,2652	0	6,4536	1,3009E-17	1,4021E-17	Maksimum: 0,1110
Minimum	alt	-0,0001023	-0,0001227	-5,4272E-05	-0,0007582	0	0	-12,443	-1,0182	0	-3,5635	-3,111E-17	-1,3096E-17	Minimum: 0,00043
Maksimum	orta	0,000132	0,0001473	3,5673E-05	0,001108	0	0	15,902	1,1927	0	5,2087	0,9457	0,3981	
Minimum	orta	-5,5752E-05	-0,000104	-5,0560E-05	-0,0006815	0	0	-6,7589	-0,8433	0	-3,2034	-0,3954	-0,4262	
Maksimum	üst	0,0001805	0,0001492	3,6270E-05	0,0008433	0	0	21,927	1,2471	0	3,9639	1,2609	0,5308	
Minimum	üst	-7,8453E-05	-0,0001045	-6,2544E-05	-0,0006069	0	0	-9,528	-0,8646	0	-2,8527	-0,5272	-0,5683	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001805	0,0001492	3,6270E-05	0,0008433	0	0	21,927	1,2471	0	3,9639	1,2609	0,5308	Maksimum: 0,0674
Minimum	alt	-7,8453E-05	-0,0001045	-6,2544E-05	-0,0006069	0	0	-9,528	-0,8646	0	-2,8527	-0,5272	-0,5683	Minimum: 0,00080
Maksimum	orta	0,0002386	0,0001516	5,4935E-05	0,0006005	0	0	29,027	1,3115	0	2,8226	0,9457	0,3981	
Minimum	orta	-0,0001347	-0,0001073	-9,0766E-05	-0,0005567	0	0	-16,413	-0,9306	0	-2,6168	-0,3954	-0,4262	
Maksimum	üst	0,0002967	0,0001545	8,2543E-05	0,0005752	0	0	36,126	1,3796	0	2,7038	4,3056E-17	4,4526E-17	
Minimum	üst	-0,0001991	-0,000112	-0,0001189	-0,0005406	0	0	-24,231	-1,0079	0	-2,5411	-1,8004E-17	-4,7672E-17	

Şekil 5.32: Epoksi karbon UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.2.5. Epoksi E Cam Malzeme Sonuçları (İki Kat)

Şekil 5.33'te Polystyrene Köpük malzeme üzeri 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda 2 kat Epoksi E cam UD malzeme ile kaplanmıştır ve malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 50 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Epoksi E cam UD malzeme ile kaplama sonucunda fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısında meydana gelmiştir ve maksimum 4,00 mm çıkmıştır. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg
0 derece atak açı	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,90 mm	2,88 mm	4,00 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,054 mm	0,072 mm	0,070 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,90 mm	2,88 mm	4,00 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,025 mm	0,088 mm	0,131 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	7,05	7,35	6,95
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg
0 derece atak açı	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,92 mm	2,81 mm	3,88 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,056 mm	0,068 mm	0,069 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,92 mm	2,81 mm	3,88 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,022 mm	0,083 mm	0,122 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	6,24	6,72	6,3

Şekil 5.33: Polistiren köpük - epoksi E cam UD deformasyon, güvenlik faktörü (iki kat).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
								1.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001388	0,001068	0,0004417	0,0006677	0	0	5,6744	10,792	0	3,3386	2,1117E-17	1,3137E-17	Maksimum: 0,3091
Minimum	alt	-8,4027E-05	-0,00103	-0,0004419	-0,0009933	0	0	-3,1606	-10,518	0	-4,9666	-2,4514E-17	-2,9632E-17	Minimum: 0,00021
Maksimum	orta	0,0001249	0,001035	0,0004341	0,0006144	0	0	5,5155	10,436	0	3,0721	0,4813	0,5818	
Minimum	orta	-7,1129E-05	-0,001016	-0,0004257	-0,0008046	0	0	-2,9539	-10,361	0	-4,023	-0,4146	-0,2579	
Maksimum	üst	0,000121	0,001036	0,0004378	0,000576	0	0	5,3586	10,523	0	2,8803	0,6417	0,7757	
Minimum	üst	-6,604E-05	-0,001022	-0,0004372	-0,0006158	0	0	-3,0937	-10,429	0	-3,0793	-0,5528	-0,3439	
								2.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,000121	0,001036	0,0004378	0,000576	0	0	5,3586	10,523	0	2,8803	0,6417	0,7757	Maksimum: 0,3490
Minimum	alt	-6,6039E-05	-0,001022	-0,0004372	-0,0006158	0	0	-3,0937	-10,429	0	-3,0793	-0,5528	-0,3439	Minimum: 0,00029
Maksimum	orta	0,0001172	0,001119	0,0005021	0,0005525	0	0	5,2033	11,381	0	2,7627	0,4813	0,5818	
Minimum	orta	-6,7302E-05	-0,001173	-0,0004738	-0,0005258	0	0	-3,5376	-11,971	0	-2,6294	-0,4146	-0,2579	
Maksimum	üst	0,0001134	0,001206	0,0005665	0,0005382	0	0	5,0514	12,263	0	2,6915	2,7048E-18	1,6826E-18	
Minimum	üst	-7,1555E-05	-0,001325	-0,0005104	-0,0005275	0	0	-4,0275	-13,514	0	-2,6376	-3,1399E-18	-3,7955E-18	
								1.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001277	0,001055	0,0004085	0,0008143	0	0	5,5913	10,639	0	4,0718	1,9270E-17	1,1372E-17	Maksimum: 0,3063
Minimum	alt	-8,6134E-05	-0,0009584	-0,0004367	-0,00133	0	0	-3,0941	-9,7648	0	-6,6503	-2,0477E-17	-2,6725E-17	Minimum: 0,00033
Maksimum	orta	0,000121	0,001029	0,0003996	0,0007158	0	0	5,3174	10,38	0	3,5793	0,6224	0,8124	
Minimum	orta	-7,272E-05	-0,0009415	-0,0004247	-0,001014	0	0	-2,7793	-9,5795	0	-5,0702	-0,5857	-0,3457	
Maksimum	üst	0,0001144	0,001042	0,0004119	0,0006339	0	0	5,0479	10,588	0	3,1698	0,8299	1,0832	
Minimum	üst	-6,5680E-05	-0,0009609	-0,0004403	-0,000698	0	0	-2,9497	-9,8063	0	-3,4901	-0,781	-0,4609	
								2.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001144	0,001042	0,0004119	0,0006339	0	0	5,0479	10,588	0	3,1698	0,8299	1,0832	Maksimum: 0,3660
Minimum	alt	-6,5680E-05	-0,0009609	-0,0004403	-0,000698	0	0	-2,9497	-9,8063	0	-3,4901	-0,781	-0,4609	Minimum: 0,00025
Maksimum	orta	0,0001079	0,00114	0,0004898	0,0006046	0	0	4,7831	11,601	0	3,0234	0,6224	0,8124	
Minimum	orta	-6,6244E-05	-0,001144	-0,0004839	-0,0005898	0	0	-3,4826	-11,67	0	-2,9493	-0,5857	-0,3457	
Maksimum	üst	0,0001015	0,001245	0,0005678	0,000584	0	0	4,5245	12,669	0	2,9203	2,8340E-17	9,0864E-17	
Minimum	üst	-7,0374E-05	-0,001326	-0,0005283	-0,0005759	0	0	-4,0594	-13,534	0	-2,8795	-2,6669E-17	-3,8666E-17	

Şekil 5.34: Epoksi E cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
								1.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002804	0,0006116	0,0002912	0,001265	0	0	12,593	6,5969	0	6,3249	2,8418E-17	2,5102E-17	Maksimum: 0,2293
Minimum	alt	-0,0002297	-0,0004884	-0,0003159	-0,0007589	0	0	-11,875	-5,4573	0	-3,7948	-3,0960E-17	-3,9998E-17	Minimum: 0,00055
Maksimum	orta	0,0002446	0,000637	0,0002826	0,001193	0	0	11,323	6,758	0	5,9667	0,6079	0,7853	
Minimum	orta	-0,0002178	-0,0004841	-0,0003126	-0,0007479	0	0	-11,276	-5,4202	0	-3,7399	-0,5579	-0,4928	
Maksimum	üst	0,0002587	0,0006737	0,0002917	0,001144	0	0	12,106	7,2302	0	5,7226	0,8105	1,0472E+00	
Minimum	üst	-0,0002185	-0,0004941	-0,0003416	-0,0007461	0	0	-11,371	-5,5702	0	-3,7307	-0,7439	-6,5710E-01	
								2.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002587	0,0006737	0,0002917	0,001144	0	0	12,106	7,2302	0	5,7226	0,8105	1,0472	Maksimum: 0,2546
Minimum	alt	-0,0002185	-0,0004941	-0,0003416	-0,0007461	0	0	-11,371	-5,5702	0	-3,7307	-0,7439	-0,6571	Minimum: 0,00050
Maksimum	orta	0,0002728	0,0007104	0,0003464	0,001107	0	0	12,889	7,7024	0	5,539	0,6079	0,7853	
Minimum	orta	-0,0002866	-0,0005486	-0,0003706	-0,0008259	0	0	-14,717	-6,355	0	-4,1299	-0,5579	-0,4928	
Maksimum	üst	0,000287	0,0007471	0,0004022	0,001149	0	0	13,672	8,1746	0	5,7461	4,8345E-17	6,8553E-17	
Minimum	üst	-0,0003563	-0,0006096	-0,0003996	-0,0009637	0	0	-18,121	-7,1931	0	-4,8186	-4,0906E-17	-4,0220E-17	
								1.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002972	0,0005791	0,0002727	0,001234	0	0	13,323	6,2618	0	6,1719	2,3459E-17	1,9708E-17	Maksimum: 0,2203
Minimum	alt	-0,0002175	-0,0004874	-0,0003025	-0,0007294	0	0	-10,942	-5,3016	0	-3,647	-2,5929E-17	-3,3378E-17	Minimum: 0,00044
Maksimum	orta	0,0002578	0,0006046	0,0002655	0,00116	0	0	11,848	6,4264	0	5,8022	0,7882	1,0147	
Minimum	orta	-0,000204	-0,0004767	-0,0002981	-0,0007222	0	0	-10,546	-5,1891	0	-3,6111	-0,7131	-0,5991	
Maksimum	üst	0,0002658	0,0006486	0,000279	0,001109	0	0	12,397	6,9991	0	5,5495	1,051	1,3529	
Minimum	üst	-0,0002081	-0,0004902	-0,0003335	-0,0007213	0	0	-10,8	-5,4347	0	-3,6066	-0,9508	-0,7988	
								2.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002658	0,0006486	0,000279	0,001109	0	0	12,397	6,9991	0	5,5495	1,051	1,3529	Maksimum: 0,2509
Minimum	alt	-0,0002081	-0,0004902	-0,0003335	-0,0007213	0	0	-10,8	-5,4347	0	-3,6066	-0,9508	-0,7988	Minimum: 0,00061
Maksimum	orta	0,0002754	0,0006927	0,000344	0,001075	0	0	12,946	7,5762	0	5,3754	0,7882	1,0147	
Minimum	orta	-0,0002896	-0,000551	-0,0003688	-0,0008147	0	0	-14,798	-6,3343	0	-4,0738	-0,7131	-0,5991	
Maksimum	üst	0,0002936	0,0007372	0,0004093	0,001144	0	0	13,495	8,1533	0	5,7218	1,4972E-16	1,4735E-16	
Minimum	üst	-0,0003722	-0,0006188	-0,0004042	-0,0009753	0	0	18,843	-7,2995	0	-4,8768	-1,5207E-16	-1,5774E-16	

Şekil 5.35: Epoksi E cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
								1.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002907	0,0001581	8,8198E-05	0,001153	0	0	13,203	1,3547	0	5,7694	1,4454E-17	2,2504E-17	Maksimum: 0,0757
Minimum	alt	-0,000213	-0,000143	-0,0001076	-0,0007335	0	0	-9,7519	-1,0179	0	-3,6677	-3,7248E-17	-1,7704E-17	Minimum: 0,00041
Maksimum	orta	0,0002895	0,000157	8,6286E-05	0,0009768	0	0	13,153	1,3111	0	4,8845	0,7313	0,3476	
Minimum	orta	-0,0002081	-0,0001125	-0,0001089	-0,0006808	0	0	-9,5371	-0,9791	0	-3,4043	-0,2838	-0,4418	
Maksimum	üst	0,0003351	0,0001563	9,2708E-05	0,0007999	0	0	15,274	1,3936	0	3,9996	9,7510E-01	0,4634	
Minimum	üst	-0,0002148	-0,0001143	-0,0001274	-0,0006331	0	0	-9,8683	-1,0138	0	-3,1657	-3,7840E-01	-0,5891	
								2.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003351	0,0001563	9,2708E-05	0,0007999	0	0	15,274	1,3936	0	3,9996	0,9751	0,4634	Maksimum: 0,0519
Minimum	alt	-0,0002148	-0,0001143	-0,0001274	-0,0006331	0	0	-9,8683	-1,0138	0	-3,1657	-0,3784	-0,5891	Minimum: 0,00079
Maksimum	orta	0,0004017	0,0001595	0,0001325	0,0006229	0	0	18,367	1,5103	0	3,1146	0,7313	0,3476	
Minimum	orta	-0,0003093	-0,0001168	-0,0001609	-0,000597	0	0	-14,205	-1,1299	0	-2,9852	-0,2838	-0,4418	
Maksimum	üst	0,0004683	0,0001651	0,0001794	0,0005682	0	0	21,459	1,6312	0	2,8412	1,8513E-18	2,8824E-18	
Minimum	üst	-0,0004182	-0,0001225	-0,0001944	-0,0005702	0	0	-19,207	-1,2842	0	-2,8511	-1,7710E-18	-2,2676E-18	
								1.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002917	0,0001751	8,0804E-05	0,001422	0	0	13,259	1,5617	0	7,1144	1,3002E-17	1,8312E-17	Maksimum: 0,0934
Minimum	alt	-0,000198	-0,0001557	-0,0001084	-0,000844	0	0	-9,0441	-1,1642	0	-4,2202	-3,5556E-17	-1,5978E-17	Minimum: 0,00022
Maksimum	orta	0,0002961	0,0001753	7,9737E-05	0,001135	0	0	13,475	1,4784	0	5,6772	1,0201	0,4857	
Minimum	orta	-0,0001943	-0,0001232	-0,0001137	-0,0007535	0	0	-8,8945	-1,1023	0	-3,7675	-0,3952	-0,5566	
Maksimum	üst	0,0003576	0,0001755	8,8783E-05	0,0008479	0	0	16,294	1,5829	0	4,2399	1,3601	0,6476	
Minimum	üst	-0,0002044	-0,0001254	-1,3550E-04	-0,0006737	0	0	-9,3976	-1,1139	0	-3,3687	-0,527	-0,7422	
								2.tabaka						
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003576	0,0001755	8,8783E-05	0,0008479	0	0	16,294	1,5829	0	4,2399	1,3601	0,6476	Maksimum: 0,0567
Minimum	alt	-0,0002044	-0,0001254	-0,0001355	-0,0006737	0	0	-9,3976	-1,1139	0	-3,3687	-0,5270	-0,7422	Minimum: 0,00068
Maksimum	orta	0,0004436	0,0001791	0,0001329	0,0006423	0	0	20,288	1,7211	0	3,2118	1,0201	0,4857	
Minimum	orta	-0,0003081	-0,000129	-0,0001783	-0,000624	0	0	-14,157	-1,2331	0	-3,1202	-0,3952	-0,5566	
Maksimum	üst	0,0005297	0,0001836	0,0001865	0,0006203	0	0	24,282	1,8594	0	3,1019	4,6442E-17	2,2113E-17	
Minimum	üst	-0,0004347	-0,0001326	-0,000221	-0,0006047	0	0	-19,963	-1,3632	0	-3,0238	-1,7995E-17	-2,5344E-17	

Şekil 5.36: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.2.6. Epoksi S cam Malzeme Sonuçları (İki Kat)

Şekil 5.37'de Polystyrene Köpük malzeme üzeri 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda 2 kat Epoksi S cam UD malzeme ile kaplanmıştır ve malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 50 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Epoksi E cam UD malzeme ile kaplama sonucunda fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısında meydana gelmiştir ve maksimum 4,64 mm çıkmıştır. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg
0 derece atak açı	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,83 mm	3,12 mm	4,64 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,054 mm	0,083 mm	0,074 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,83 mm	3,11 mm	4,64 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,022 mm	0,093 mm	0,165 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	7,05	7,3	6,78
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg
0 derece atak açı	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	72,39 mm	1,85 mm	3,03 mm	4,48 mm
X Yönündeki deformasyo	0,36 mm	0,056 mm	0,077 mm	0,074 mm
Y Yönündeki deformasyo	72,38 mm	1,85 mm	3,03 mm	4,48 mm
Z Yönündeki deformasyo	2,73 mm	0,020 mm	0,087 mm	0,154 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	6,24	6,66	6,31

Şekil 5.37: Epoksi S cam UD deformasyon, güvenlik faktörü (iki kat).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,000139	0,001294	0,0005516	0,0006549	0	0	6,848	10,422	0	3,2749	2,0699E-17	1,2704E-17	Maksimum: 0,2987
Minimum	alt	-7,6877E-05	-0,001312	-0,0005294	-0,0009866	0	0	-3,1717	-10,652	0	-4,9334	-2,4131E-17	-2,9323E-17	Minimum: 0,00022
Maksimum	orta	0,0001352	0,001256	0,0005402	0,0006031	0	0	6,6778	10,105	0	3,0155	0,4738	0,5757	
Minimum	orta	-6,3590E-05	-0,001288	-0,0005121	-0,000798	0	0	-2,9415	-10,451	0	-3,9902	-0,4064	-0,2494	
Maksimum	üst	0,0001315	0,001261	0,0005425	0,0005707	0	0	6,5089	10,211	0	2,8538	0,6317	0,7677	
Minimum	üst	-5,8372E-05	-0,001291	-0,0005253	-0,0006094	0	0	-3,0994	-10,48	0	-3,0471	-0,5419	-0,3326	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001315	0,001261	0,0005425	0,0005707	0	0	6,5089	10,211	0	2,8538	0,6317	0,7677	Maksimum: 0,3338
Minimum	alt	-5,8372E-05	-0,001291	-0,0005253	-0,0006094	0	0	-3,0994	-10,48	0	-3,0471	-0,5419	-0,3326	Minimum: 0,00025
Maksimum	orta	0,000128	0,001351	0,0006102	0,000549	0	0	6,3453	10,94	0	2,7451	0,4738	0,5757	
Minimum	orta	-6,0529E-05	-0,001453	-0,0005627	-0,0005319	0	0	-3,4824	-11,793	0	-2,6598	-0,4064	-0,2494	
Maksimum	üst	0,0001244	0,001442	0,0006778	0,000536	0	0	6,1816	11,673	0	2,6801	2,6512E-18	1,2303E-17	
Minimum	üst	-6,4410E-05	-0,001615	-0,0006014	-0,0005338	0	0	-3,9077	-13,106	0	-2,6693	-3,0909E-18	-5,3303E-18	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001366	0,001273	0,0005048	0,0008003	0	0	6,6933	10,26	0	4,0015	1,8942E-17	1,1028E-17	Maksimum: 0,2942
Minimum	alt	-8,1406E-05	-0,001206	-0,0005222	-0,001324	0	0	-3,4812	-9,7802	0	-6,6211	-2,0236E-17	-2,6474E-17	Minimum: 0,00035
Maksimum	orta	0,0001302	0,001244	0,0004976	0,0007038	0	0	6,3997	10,018	0	3,5194	0,6151	0,8047	
Minimum	orta	-6,5714E-05	-0,001187	-0,0005085	-0,001007	0	0	-2,7907	-9,6182	0	-5,0395	-0,5758	-0,3352	
Maksimum	üst	0,0001238	0,001258	0,0005106	0,0006247	0	0	6,1095	10,19	0	3,1237	0,8202	1,073	
Minimum	üst	-5,7995E-05	-0,001214	-0,000525	-0,0006915	0	0	-2,9612	-9,8569	0	-3,4579	-0,7677	-0,4469	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001238	0,001258	0,0005106	0,0006247	0	0	6,1095	10,19	0	3,1237	0,8202	1,073	Maksimum: 0,3415
Minimum	alt	-5,7995E-05	-0,001214	-0,000525	-0,0006915	0	0	-2,9612	-9,8569	0	-3,4579	-0,7677	-0,4469	Minimum: 0,00026
Maksimum	orta	0,0001176	0,001367	0,0005927	0,0006008	0	0	5,8242	11,074	0	3,004	0,6151	0,8047	
Minimum	orta	-5,9281E-05	-0,00141	-0,0005704	-0,0005945	0	0	-3,4151	-11,449	0	-2,9726	-0,5758	-0,3352	
Maksimum	üst	0,0001114	0,001476	0,0006749	0,0005812	0	0	5,5388	11,958	0	2,9064	2,8006E-17	3,664E-17	
Minimum	üst	-6,3021E-05	-0,001607	-0,0006158	-0,0005867	0	0	-3,9175	-13,042	0	-2,9338	-2,6216E-17	-1,5263E-17	

Şekil 5.38: Epoksi S cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002835	0,0006747	0,0003144	0,001264	0	0	14,167	5,6632	0	6,3202	3,226E-17	2,4384E-17	Maksimum: 0,2021
Minimum	alt	-0,0002137	-0,0005836	-0,0003285	-0,0008191	0	0	-12,078	-5,0526	0	-4,0956	-2,7994E-17	-4,0182E-17	Minimum: 0,00055
Maksimum	orta	0,0002424	0,0007051	0,0003087	0,001197	0	0	11,769	5,9526	0	5,9874	0,5496	0,7889	
Minimum	orta	-0,0002029	-0,0005794	-0,0003366	-0,0007977	0	0	-11,492	5,0278	0	-3,9889	-0,6334	-0,4787	
Maksimum	üst	0,0002559	0,0007354	0,0003184	0,00114	0	0	13,074	6,2599	0	5,704	0,7329	1,052	
Minimum	üst	-0,0002035	-0,0005891	-0,0003589	-0,0007915	0	0	-11,58	-5,1476	0	-3,9578	-0,8445	-0,6383	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002559	0,0007354	0,0003184	0,00114	0	0	13,074	6,2599	0	5,704	0,7329	1,052	Maksimum: 0,2210
Minimum	alt	-0,0002035	-0,0005891	-0,0003589	-0,0007915	0	0	-11,58	-5,1476	0	-3,9578	-0,8445	-0,6383	Minimum: 0,00052
Maksimum	orta	0,0002847	0,0007658	0,0003699	0,001113	0	0	14,38	6,5671	0	5,5669	0,5496	0,7889	
Minimum	orta	-0,0002698	-0,0006386	-0,0003833	-0,0008905	0	0	-15,114	-5,728	0	-4,4529	-0,6334	-0,4787	
Maksimum	üst	0,0003135	0,0008175	0,0004225	0,001159	0	0	15,749	7,0319	0	5,7977	8,1679E-17	1,1198E-16	
Minimum	üst	-0,0003374	-0,000694	-0,0004157	-0,001022	0	0	-18,708	-6,3477	0	-5,1127	-9,0825E-17	-7,5121E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002958	0,0006336	0,0002962	0,001231	0	0	14,775	5,3889	0	6,1595	2,6259E-17	1,9134E-17	Maksimum: 0,1947
Minimum	alt	-0,0002285	-0,0005818	-0,0003141	-0,000782	0	0	-11,15	-4,8092	0	-3,91	-2,3630E-17	-3,3049E-17	Minimum: 0,00049
Maksimum	orta	0,0002512	0,0006695	0,0002905	0,001162	0	0	12,189	5,6588	0	5,8118	0,7183	1,0047	
Minimum	orta	-0,0001901	-0,0005738	-0,0003207	-0,0007677	0	0	-10,753	-4,8487	0	-3,8388	-0,7982	-0,5816	
Maksimum	üst	0,0002613	0,0007077	0,0003054	0,001104	0	0	13,284	6,0427	0	5,5204	0,9577	1,3396	
Minimum	üst	-0,0001944	-0,0005837	-0,0003497	-0,000762	0	0	-11,028	-5,0242	0	-3,8146	-1,0643	-0,7755	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002613	0,0007077	0,0003054	0,001104	0	0	13,284	6,0427	0	5,5204	0,9577	1,3396	Maksimum: 0,2223
Minimum	alt	-0,0001944	-0,0005837	-0,0003497	-0,000762	0	0	-11,028	-5,0242	0	-3,8146	-1,0643	-0,7755	Minimum: 0,00058
Maksimum	orta	0,0002923	0,0007459	0,000366	0,001078	0	0	14,588	6,4266	0	5,3908	0,7183	1,0047	
Minimum	orta	-0,0002739	-0,0006371	-0,0003786	-0,000877	0	0	-15,262	-5,6777	0	-4,3851	-0,7982	-0,5816	
Maksimum	üst	0,0003233	0,0007988	0,0004277	0,001147	0	0	16,263	6,9061	0	5,7396	2,3823E-16	1,9961E-16	
Minimum	üst	-0,0003544	-0,0006988	-0,0004143	-0,001029	0	0	-19,544	-6,3994	0	-5,146	-2,2448E-16	-2,9601E-16	

Şekil 5.39: Epoksi S cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
		1.tabaka												
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,000261	0,0001796	7,7909E-05	0,00117	0	0	13,15	1,2491	0	5,8515	1,411E-17	2,2481E-17	Maksimum: 0,0771
Minimum	alt	-0,0001919	-0,0001504	-9,8821E-05	-0,0007306	0	0	-9,709	-0,9245	0	-3,6533	-3,7101E-17	-1,7617E-17	Minimum: 0,00042
Maksimum	orta	0,0002625	0,000178	7,6638E-06	0,0009919	0	0	13,234	1,2424	0	4,96	0,7284	0,3459	
Minimum	orta	-0,0001871	-0,0001264	-0,0001013	-0,0006781	0	0	-9,4625	-0,9033	0	-3,3908	-0,277	-0,4414	
Maksimum	üst	0,0003148	0,0001778	8,325E-05	0,0008136	0	0	15,893	1,3037	0	4,0684	0,9713	0,4612	
Minimum	üst	-0,0001936	-0,0001286	-0,0001204	-0,0006292	0	0	-9,8278	-0,9398	0	-3,1462	-0,3694	-0,5885	
		2.tabaka												
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003148	0,0001778	8,325E-05	0,0008136	0	0	15,893	1,3037	0	4,0684	0,9713	0,4612	Maksimum: 0,0512
Minimum	alt	-0,0001936	-0,0001286	-0,0001204	-0,0006292	0	0	-9,8278	-0,9398	0	-3,1462	-0,3694	-0,5885	Minimum: 0,00078
Maksimum	orta	0,0003795	0,0001806	0,0001222	0,0006353	0	0	19,21	1,3938	0	3,1769	0,7284	0,3459	
Minimum	orta	-0,0002864	-0,0001327	-0,0001536	-0,0005935	0	0	-14,532	-1,039	0	-2,9677	-0,277	-0,4414	
Maksimum	üst	0,0004443	0,0001859	0,0001676	0,0005697	0	0	22,526	1,4878	0	2,8487	1,072E-16	2,8795E-18	
Minimum	üst	-0,0003927	-0,0001391	-0,0001869	-0,0005719	0	0	-19,927	-1,1397	0	-2,8597	-4,0773E-17	-2,2565E-18	
		1.tabaka												
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002659	0,0002002	7,1291E-05	0,0014304	0	0	13,327	1,4009	0	7,152	1,2751E-17	1,8157E-17	Maksimum: 0,0942
Minimum	alt	-0,0001782	-0,0001636	-9,9922E-05	-0,0008366	0	0	-9,0041	-1,035	0	-4,1834	-3,3410E-17	-1,5885E-17	Minimum: 0,00023
Maksimum	orta	0,0002688	0,0002003	7,0594E-05	0,0011427	0	0	13,57	1,4057	0	5,7136	1,0156	0,4828	
Minimum	orta	-0,0001745	-0,0001400	-0,0001062	-0,0007473	0	0	-8,8248	-1,0185	0	-3,7365	-0,3876	-0,5519	
Maksimum	üst	0,0003349	0,0002007	7,9915E-05	0,0008550	0	0	16,904	1,4863	0	4,2753	1,3542	0,6438	
Minimum	üst	-0,0001846	-0,0001424	-0,0001276	-0,0006677	0	0	-9,3761	-1,0435	0	-3,3387	-0,5168	-0,7359	
		1.tabaka												
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003349	0,0002007	7,9915E-05	0,0008550	0	0	16,904	1,4863	0	4,2753	1,3542	0,6438	Maksimum: 0,0545
Minimum	alt	-0,0001846	-0,0001424	-0,0001276	-0,0006677	0	0	-9,3761	-1,0435	0	-3,3387	-0,5168	-0,7359	Minimum: 0,00068
Maksimum	orta	0,0004179	0,0002044	0,0001223	0,0006404	0	0	21,154	1,5949	0	3,2022	1,0156	0,4828	
Minimum	orta	-0,0002860	-0,0001460	-0,0001697	-0,0006187	0	0	-14,513	-1,1468	0	-3,0939	-0,3876	-0,5519	
Maksimum	üst	0,0005009	0,0002088	0,0001746	0,0006182	0	0	25,405	1,705	0	3,0914	4,6239E-17	2,1984E-17	
Minimum	üst	-0,0004091	-0,0001519	-0,0002118	-0,0005991	0	0	-20,757	-1,2577	0	-2,9958	-1,7647E-17	-2,5129E-17	

Şekil 5.40: Epoksi S cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.3. 100 G Analiz Sonuçları

Analizlerde öncelikle polistren köpük malzemesinin ACP modülünün bağlandığı statik yapı kısmından, deformasyon ve güvenlik faktörü değeri incelenmiştir. Ardından polistiren köpük malzemesi, sırasıyla epoksi karbon UD prepreg, epoksi E cam ve epoksi S cam malzemeleri ile kaplanmış ve güvenlik faktörü ve deformasyon değerlerindeki değişime bakılmıştır. Kompozit malzeme ile kaplanmış olan modelimizin her bir katmanı için Tsai-Wu kriterine göre gerilme, gerinim ve kırılma değerleri ACP post kısmından alınan verilere göre tablo haline getirilmiştir.

5.3.1. Epoksi Karbon UD 230 GPa Prepreg Malzeme Sonuçları (Tek Kat)

Şekil 5.41'de Polystyrene Köpük malzemeye ve bu malzeme üzerine 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda Epoksi Karbon UD ile kaplanmış malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 100 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre; 100 G ivmelenmeyi sadece polystyrene köpük malzemesi üzerine uyguladığımızda İHA üzerinde oluşan deformasyonların değerleri maksimum 147,73 mm olarak görülmüştür ve güvenlik faktörü 0,381 çıkmıştır.

Polysyrene köpük malzeme üzerine Epoksi Karbon UD malzeme kaplayarak yaptığımız analizlerde ise kapladığımız kompozit malzemenin fiber açıları 3 farklı açı kullanarak analizi yapılmıştır.

Kompozit malzeme ile kaplama sonucunda deformasyonlardaki düşüş oldukça göze çarpmaktadır. Fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısı kullanılarak yapılan analizde çıkmıştır ve maksimum 8,77 mm 'dir. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	2,452 mm	5,500 mm	8,779 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,080 mm	0,179 mm	0,138 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	2,451 mm	5,496 mm	8,778 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,020 mm	0,191 mm	0,330 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	5,36	4,81	4,66
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	2,436 mm	5,079 mm	8,049 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,081 mm	0,158 mm	0,130 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	2,435 mm	5,075 mm	8,048 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,017 mm	0,170 mm	0,292 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,96	4,91	4,52

Şekil 5.41: Polistiren köpük- epoksi karbon UD 230 GPa prepreg malzeme sonuçları (100 g).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001716	0,002214	0,001087	0,0008908	0	0	20,812	19,153	0	4,1868	2,5636E-17	9,17E-18	Maksimum: 0,7180
Minimum	alt	-6,3631E-05	-0,002675	-0,0009039	-0,001135	0	0	-6,5311	-23,115	0	-5,3371	-1,9504E-17	-2,0806E-17	Minimum: 0,00045
Maksimum	orta	0,0001681	0,002145	0,001043	0,0008607	0	0	20,395	18,523	0	4,0457	0,5106	0,5447	
Minimum	orta	-4,6703E-05	-0,002564	-0,0008695	-0,0009804	0	0	-5,6463	-22,165	0	-4,608	-0,6711	-0,2400	
Maksimum	üst	0,0001646	0,002408	0,001161	0,0008399	0	0	19,978	20,803	0	3,9479	2,5636E-17	9,17E-18	
Minimum	üst	-5,1791E-05	-0,002855	-0,0009779	-0,0008652	0	0	-6,5209	-24,676	0	-4,0666	-1,9504E-17	-2,0806E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001561	0,002086	0,0009679	0,001000	0	0	18,9	17,977	0	4,7037	2,1053E-17	7,60E-18	Maksimum: 0,6640
Minimum	alt	-7,0045E-05	-0,002379	-0,0008404	-0,001431	0	0	-6,682	-20,564	0	-6,7271	-1,6006E-17	-1,807E-17	Minimum: 0,00064
Maksimum	orta	0,0001504	0,002034	0,0009293	0,0009433	0	0	18,222	17,56	0	4,4337	0,6487	0,7324	
Minimum	orta	-4,4326E-05	-0,002283	-0,0008244	-0,001107	0	0	-5,1316	-19,734	0	-5,2042	-0,8533	-0,3080	
Maksimum	üst	0,0001446	0,002227	0,001073	0,000911	0	0	17,549	19,234	0	4,2821	2,1053E-17	7,6E-18	
Minimum	üst	-5,0672E-05	-0,00264	-0,0009033	-0,0008912	0	0	-6,1044	-22,818	0	-4,1887	-1,6006E-17	-1,807E-17	

Şekil 5.42: Epoksi karbon UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003657	0,001642	0,0006025	0,002867	0	0	43,872	14,277	0	13,478	4,8966E-17	3,1848E-17	Maksimum: 0,6126
Minimum	alt	-0,000276	-0,001221	-0,0006817	-0,00161	0	0	-36,428	-11,207	0	-7,5687	-3,4774E-17	-3,4189E-17	Minimum: 0,00036
Maksimum	orta	0,0002821	0,001692	0,0005798	0,002635	0	0	34,559	14,811	0	12,387	0,9103	0,8950	
Minimum	orta	-0,0002305	-0,001212	-0,0007198	-0,001597	0	0	-30,861	-10,99	0	-7,5071	-1,2819	-0,8338	
Maksimum	üst	0,0003906	0,001742	0,000675	0,002524	0	0	47,976	15,346	0	11,867	4,8966E-17	3,1848E-17	
Minimum	üst	-0,0003583	-0,001332	-0,0007579	-0,001743	0	0	-46,673	-12,324	0	-8,1952	-3,4774E-17	-3,4189E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003598	0,001488	0,0005276	0,002702	0	0	43,154	12,931	0	12,7	3,7375E-17	2,4336E-17	Maksimum: 0,5679
Minimum	alt	-0,0002338	-0,001089	-0,0006161	-0,001466	0	0	-30,954	-9,878	0	-6,8914	-2,8214E-17	-2,7469E-17	Minimum: 0,0010
Maksimum	orta	0,0002676	0,00155	0,0005196	0,002438	0	0	32,706	13,59	0	11,461	1,1436	1,1134	
Minimum	orta	-0,0002083	-0,001091	-0,0006615	-0,001457	0	0	-27,857	-9,8919	0	-6,8483	-1,5149	-0,9863	
Maksimum	üst	0,0003906	0,001612	0,0006333	0,002341	0	0	47,926	14,249	0	11,006	3,7375E-17	2,4336E-17	
Minimum	üst	-0,0003611	-0,001234	-0,0007082	-0,001633	0	0	-46,724	-11,474	0	-7,6752	-2,8214E-17	-2,7469E-17	

Şekil 5.43: Epoksi karbon UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,000233	0,0002084	6,951E-05	0,001713	0	0	28,044	1,6944	0	8,0522	1,5558E-17	1,9521E-17	Maksimum: 0,1409
Minimum	alt	-0,0001891	-0,0001737	-7,5618E-05	-0,001125	0	0	-22,983	-1,1548	0	-5,2914	-2,9975E-17	-1,2524E-17	Minimum: 0,00067
Maksimum	orta	0,000305	0,0001998	6,7894E-05	0,001536	0	0	37,048	1,6475	0	7,2201	0,7847	0,3278	
Minimum	orta	-0,0001784	-0,0001451	-0,0001065	-0,001076	0	0	-21,702	-1,1951	0	-5,0601	-0,4073	-0,511	
Maksimum	üst	0,00041	0,000212	0,0001387	0,001359	0	0	49,888	1,8618	0	6,388	1,5558E-17	1,9521E-17	
Minimum	üst	-0,0003629	-0,0001584	-0,0001585	-0,001027	0	0	-44,141	-1,388	0	-4,8289	-2,9975E-17	-1,2524E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002304	0,0002281	5,7684E-05	0,001925	0	0	27,678	1,8644	0	9,0517	1,3142E-17	1,5802E-17	Maksimum: 0,1591
Minimum	alt	-0,0001552	-0,0001999	-8,1696E-05	-0,001209	0	0	-18,863	-1,308	0	-5,6829	-2,7019E-17	-1,1330E-17	Minimum: 0,001056
Maksimum	orta	0,0003204	0,000224	5,8567E-05	0,001617	0	0	38,925	1,8563	0	7,6039	1,0952	0,4592	
Minimum	orta	-0,0001532	-0,0001619	-0,0001121	-0,001124	0	0	-18,643	-1,3341	0	-5,284	-0,5326	-0,6404	
Maksimum	üst	0,000452	0,0002342	0,000142	0,001309	0	0	55,02	2,065	0	6,1562	1,3142E-17	1,5802E-17	
Minimum	üst	-0,000371	-0,0001764	-0,0001775	-0,001039	0	0	-45,13	-1,5575	0	-4,885	-2,7019E-17	-1,133E-17	

Şekil 5.44: Epoksi karbon UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.3.2. Epoksi E Cam Malzeme Sonuçları (Tek Kat)

Şekil 5.45'te Polystyrene Köpük malzeme üzeri 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda Epoksi E cam UD ile kaplanmış malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 100 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Kompozit malzeme ile kaplama sonucunda deformasyonlardaki düşüş oldukça göze çarpmaktadır. Fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısı kullanılarak yapılan analizde çıkmıştır ve maksimum 9,193 mm ‘dir. Güvenlik faktörleri de 1’in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	3,945 mm	6,567 mm	9,193 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,106 mm	0,187 mm	0,152 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	3,944 mm	6,564 mm	9,192 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,069 mm	0,222 mm	0,334 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,5	4,1	4
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	3,848 mm	6,177 mm	8,608 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,106 mm	0,167 mm	0,146 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	3,847 mm	6,174 mm	8,607 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,060 mm	0,201 mm	0,301 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,21	3,97	3,79

Şekil 5.45: Polistiren köpük - epoksi E cam UD malzeme sonuçları (100 g).

Modelin düz iniş durumu için yapılan analiz sonuçları aşağıda yer alan Şekil 5.46’da verilmiştir ve ters iniş durumunda elde edilen sayısal sonuçlarla birbirine çok yakın oldukları görülmüştür.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	144,75	3,9452 mm	6,5678	9,1939
X Yönündeki deformasyon	2,643	0,0479 mm	0,0008825	0,0432
Y Yönündeki deformasyon	-144,68	-3,9445	-6,5642	-9,1927
Z Yönündeki deformasyon	4,32	-0,0693	0,2405	-0,3342
Güvenlik Faktörü	0,317	4,5	4,1073	4,0049
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	144,75	3,8486	6,1772	8,6085
X Yönündeki deformasyon	2,643	0,0505	0,0011	0,0430
Y Yönündeki deformasyon	-144,68	-3,847	-6,174	-8,7064
Z Yönündeki deformasyon	4,32	-0,06094	0,2181	-0,3018
Güvenlik Faktörü	0,317	4,21	3,97	3,79

Şekil 5.46: Polistiren köpük - epoksi E cam UD malzeme sonuçları (100 g) (düz iniş durumu).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						**Hasar Kriteri**
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0003026	0,002252	0,00115	0,000815	0	0	13,485	23,015	0	4,0751	1,7043E-17	1,2513E-17	Maksimum: 0,7194
Minimum	**alt**	-0,0001433	-0,002691	-0,0009697	-0,0009238	0	0	-7,8977	-27,446	0	-4,6194	-2,4329E-17	-2,3756E-17	Minimum: 0,00042
Maksimum	**orta**	0,0002989	0,002146	0,001094	0,0007898	0	0	13,332	21,784	0	3,949	0,6369	0,6219	
Minimum	**orta**	-0,0001313	-0,00256	-0,0009072	-0,0009279	0	0	-7,5671	-26,11	0	-4,6398	-0,4462	-0,3275	
Maksimum	**üst**	0,0002952	0,00248	0,001239	0,0007687	0	0	13,18	25,257	0	3,8438	1,7043E-17	1,2513E-17	
Minimum	**üst**	-0,0001384	-0,002904	-0,001055	-0,000932	0	0	-8,7369	-29,598	0	-4,6601	-2,4329E-17	-2,3756E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0002789	0,002189	0,001041	0,0009926	0	0	12,384	22,054	0	4,9633	1,4780E-17	1,0565E-17	Maksimum:0,6798
Minimum	**alt**	-0,0001522	-0,002433	-0,0009026	-0,001226	0	0	-7,2606	-24,819	0	-6,133	-2,0413E-17	-2,1572E-17	Minimum: 0,00067
Maksimum	**orta**	0,0002726	0,002093	0,0009927	0,00094	0	0	12,123	21,258	0	4,7002	0,8273	0,8743	
Minimum	**orta**	-0,0001312	-0,00232	-0,0008827	-0,0009556	0	0	-6,9017	-23,668	0	-4,7784	-0,599	-0,4282	
Maksimum	**üst**	0,0002662	0,002342	0,001174	0,0009037	0	0	11,866	23,853	0	4,5185	1,4780E-17	1,0565E-17	
Minimum	**üst**	-0,0001386	-0,002751	-0,0009972	-0,0009605	0	0	-8,2966	-28,045	0	-4,8025	-2,0413E-17	-2,1572E-17	

Şekil 5.47: Epoksi E cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0004856	0,001554	0,0007622	0,002672	0	0	22,066	16,359	0	13,362	3,0464E-17	2,8774E-17	Maksimum: 0,5560
Minimum	alt	-0,0005853	-0,001202	-0,0007422	-0,001841	0	0	-30,488	-14,035	0	-9,2064	-3,1705E-17	-3,6324E-17	Minimum: 0,0010
Maksimum	orta	0,0004788	0,001556	0,0007152	0,002491	0	0	22,974	16,462	0	12,456	0,83	0,9509	
Minimum	orta	-0,0005206	-0,00116	-0,0007543	-0,001753	0	0	-27,416	-13,394	0	-8,7677	-0,7975	-0,7533	
Maksimum	üst	0,000544	0,001666	0,0008518	0,002432	0	0	26,209	17,887	0	12,161	3,0464E-17	2,8774E-17	
Minimum	üst	-0,000677	-0,001312	-0,0008435	-0,002036	0	0	-35,088	-15,457	0	-10,182	-3,1705E-17	-3,6324E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005139	0,001403	0,0006871	0,002609	0	0	23,203	14,675	0	13,05	2,4810E-17	2,3073E-17	Maksimum: 0,5321
Minimum	alt	-0,00053	-0,001087	-0,0006784	-0,001659	0	0	-27,523	-12,652	0	-8,2983	-2,630E-17	-3,216E-17	Minimum: 0,0011
Maksimum	orta	0,0004923	0,001458	0,0006515	0,002403	0	0	23,328	15,514	0	12,016	1,066	1,3035	
Minimum	orta	-0,0004816	-0,001064	-0,0007199	-0,001625	0	0	-25,233	-12,203	0	-8,1252	-1,0056	-0,9352	
Maksimum	üst	0,0005609	0,001564	0,000815	0,002358	0	0	26,797	16,904	0	11,794	2,481E-17	2,3073E-17	
Minimum	üst	-0,000679	-0,001242	-0,0008062	-0,001956	0	0	-34,908	-14,623	0	-9,7832	-2,63E-17	-3,216E-17	

Şekil 5.48: Epoksi E cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005553	0,0002421	0,0002461	0,00138	0	0	25,151	2,2655	0	6,9011	1,5160E-17	2,4740E-17	Maksimum: 0,0872
Minimum	alt	-0,0005774	-0,000209	-0,0002204	-0,001033	0	0	-26,507	-1,7379	0	-5,1675	-2,8922E-17	-1,3620E-17	Minimum: 0,00092
Maksimum	orta	0,0005627	0,0002405	0,0002341	0,001219	0	0	25,648	2,2711	0	6,0963	0,7571	0,3565	
Minimum	orta	-0,0005474	-0,0001816	-0,0002228	-0,0009949	0	0	-25,136	-1,6656	0	-4,9746	-0,3968	-0,6476	
Maksimum	üst	0,00073	0,0002444	0,0003414	0,001058	0	0	33,515	2,2782	0	5,2915	1,5160E-17	2,4740E-17	
Minimum	üst	-0,0007974	-0,0001956	-0,0003128	-0,0009563	0	0	-36,615	-2,4373	0	-4,7817	-2,8922E-17	-1,3620E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005656	0,0002671	0,0002096	0,001668	0	0	25,646	2,3429	0	8,343	1,2534E-17	2,0131E-17	Maksimum: 0,1074
Minimum	alt	-0,0004992	-0,0002414	-0,0002098	-0,001179	0	0	-22,886	-1,6731	0	-5,8954	-2,7045E-17	-1,2801E-17	Minimum: 0,0011
Maksimum	orta	0,0006	0,0002578	0,0002088	0,001378	0	0	27,347	2,2559	0	6,8918	1,0962	0,5188	
Minimum	orta	-0,0004865	-0,0001973	-0,0002327	-0,001103	0	0	-22,343	-1,7254	0	-5,5189	-0,508	-0,8159	
Maksimum	üst	0,0007727	0,0002751	0,0003422	0,001088	0	0	35,375	2,6119	0	5,4405	1,2534E-17	2,0131E-17	
Minimum	üst	-0,0007988	-0,0002131	-0,0003163	-0,00104	0	0	-36,683	-2,4456	0	-5,204	-2,7045E-17	-1,2801E-17	

Şekil 5.49: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinim						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005774	0,0002090	0,0002204	0,001033	0	0	26,507	1,7379	0	5,1675	2,89E-17	1,36E-17	Maksimum: 0,1029
Minimum	alt	-0,0005553	-0,0002421	-0,0002461	-0,001380	0	0	-25,157	-2,2655	0	-6,9011	-1,52E-17	-2,47E-17	Minimum: 0,0008416
Maksimum	orta	0,0005474	0,0001816	0,0002228	0,0009949	0	0	25,136	1,6656	0	4,9746	0,3968	0,64769	
Minimum	orta	-0,0005627	-0,0002405	-0,0002341	-0,001219	0	0	-25,648	-2,2711	0	-6,0963	-0,7571	-0,3565	
Maksimum	üst	0,0007974	0,0001956	0,0003128	0,0009563	0	0	36,615	2,4373	0	4,7817	2,89E-17	1,36E-17	
Minimum	üst	-0,0007330	-0,0002444	-0,0003414	-0,001058	0	0	-33,515	-2,2782	0	-5,2915	-1,52E-17	-2,47E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0004992	0,0002414	0,0002098	0,001179	0	0	22,886	1,6731	0	5,8954	2,7045E-17	1,2801E-17	Maksimum: 0,1224
Minimum	alt	-0,0005656	-0,0002671	-0,0002096	-0,001668	0	0	-25,646	-2,3429	0	-8,343	-1,2534E-17	-2,0131E-17	Minimum: 0,001207
Maksimum	orta	0,0004865	0,0001973	0,0002327	0,001103	0	0	22,343	1,7254	0	5,5189	0,5080	0,8159	
Minimum	orta	-0,0006000	-0,0002578	-0,0002088	-0,001378	0	0	-27,347	-2,2559	0	-6,8918	-1,0962	-0,5188	
Maksimum	üst	0,0007988	0,0002131	0,0003163	0,001048	0	0	36,683	2,4456	0	5,204	2,7045E-17	1,28E-17	
Minimum	üst	-0,0007727	-0,0002751	-0,0003422	-0,001088	0	0	-35,375	-2,6119	0	-5,4405	-1,2534E-17	-2,0131E-17	

Şekil 5.50: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri (düz iniş durumu).

Modelin düz iniş durumu için yapılan analiz sonuçları yukarıda yer alan Şekil 5.50'de verilmiştir ve ters iniş durumunda elde edilen sayısal sonuçlarla birçoğunun aynı olduğu görülmüştür.

5.3.3. Epoksi S Cam Malzeme Sonuçları (Tek Kat)

Şekil 5.51'de Polistiren Köpük malzemeye ve bu malzeme üzerine 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda epoksi S cam UD ile kaplanmış malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 100 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısı kullanılarak yapılan analizde çıkmıştır ve maksimum 10,799 mm 'dir. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,337 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	3,778 mm	7,119 mm	10,799 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,104 mm	0,223 mm	0,164 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	3,777 mm	7,114 mm	10,798 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,061 mm	0,235 mm	0,417 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,51	4,15	3,804
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**1 Kat Epoksi S Cam Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	3,692 mm	6,687 mm	10,07 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,104 mm	0,196 mm	0,156 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	3,691 mm	6,683 mm	10,069 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,054 mm	0,213 mm	0,378 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,2	3,95	3,65

Şekil 5.51: Polistiren köpük - epoksi S cam UD malzeme sonuçları (100 g).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003307	0,002785	0,001414	0,0008097	0	0	16,45	22,633	0	4,049	1,6431E-17	1,2001E-17	Maksimum: 0,6999
Minimum	alt	-0,0001425	-0,003373	-0,001175	-0,0009479	0	0	-7,7887	-27,358	0	-4,7398	-2,3651E-17	-1,4228E-17	Minimum: 0,00041
Maksimum	orta	0,0003272	0,002663	0,001353	0,0007838	0	0	16,286	21,542	0	3,9193	0,6191	0,6342	
Minimum	orta	-0,0001189	-0,003226	-0,001111	-0,0009522	0	0	-7,5458	-26,174	0	-4,7612	-0,4301	-0,3142	
Maksimum	üst	0,0003237	0,003024	0,001506	0,0007666	0	0	16,122	24,513	0	3,8332	1,6431E-17	1,2001E-17	
Minimum	üst	-0,0001262	-0,003594	-0,001264	-0,0009565	0	0	-8,5699	-29,145	0	-4,7825	-2,3651E-17	-1,4228E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003037	0,002682	0,001284	0,0009831	0	0	15,066	21,593	0	4,9159	1,4361E-17	1,0197E-17	Maksimum: 0,6583
Minimum	alt	-0,0001412	-0,003061	-0,001096	-0,001222	0	0	-7,194	-24,835	0	-6,1147	-1,9975E-17	-2,1817E-17	Minimum: 0,00063
Maksimum	orta	0,0002977	0,00258	0,001229	0,0009316	0	0	14,785	20,869	0	4,6584	0,8096	0,8842	
Minimum	orta	-0,0001168	-0,002928	-0,001071	-0,0009752	0	0	-6,8915	-23,755	0	-4,876	-0,582	-0,4133	
Maksimum	üst	0,0002917	0,002847	0,00142	0,0008998	0	0	14,512	23,043	0	4,4993	1,4361E-17	1,0197E-17	
Minimum	üst	-0,0001249	-0,003388	-0,001188	-0,0009803	0	0	-8,1216	-27,477	0	-4,902	-1,9975E-17	-2,1817E-17	

Şekil 5.52: Epoksi S cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005229	0,001758	0,0008196	0,002708	0	0	26,24	14,623	0	13,544	3,5239E-17	2,8265E-17	Maksimum: 0,4865
Minimum	alt	-0,0005433	-0,001408	-0,0008016	-0,002002	0	0	-30,911	-12,73	0	-10,01	-2,8433E-17	-3,8792E-17	Minimum: 0,0010
Maksimum	orta	0,0005012	0,001733	0,0007792	0,002518	0	0	25,771	14,345	0	12,592	0,7443	1,0156	
Minimum	orta	-0,0004823	-0,001381	-0,0008078	-0,001886	0	0	-27,756	-12,306	0	-9,4311	-0,9225	-0,7399	
Maksimum	üst	0,0005803	0,001886	0,000905	0,002503	0	0	30,647	15,94	0	12,517	3,524E-17	2,8265E-17	
Minimum	üst	-0,0006341	-0,001517	-0,0009071	-0,002194	0	0	-35,841	-13,806	0	-10,974	-2,8433E-17	-3,8792E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005383	0,001586	0,0007393	0,002626	0	0	26,938	13,12	0	13,131	2,848E-17	2,2537E-17	Maksimum: 0,4630
Minimum	alt	-0,0004914	-0,001285	-0,0007131	-0,001805	0	0	-27,887	-11,487	0	-9,0277	-2,3598E-17	-3,3392E-17	Minimum: 0,0010
Maksimum	orta	0,0005011	0,001593	0,0007094	0,002412	0	0	25,709	13,481	0	12,06	0,9564	1,3535	
Minimum	orta	-0,0004469	-0,001269	-0,0007657	-0,001737	0	0	-25,596	-11,261	0	-8,6882	-1,1544	-0,9134	
Maksimum	üst	0,0005904	0,001761	0,0008612	0,002406	0	0	31,008	14,971	0	12,034	2,848E-17	2,2537E-17	
Minimum	üst	-0,0006383	-0,001434	-0,000863	-0,002097	0	0	-35,788	-13,081	0	-10,488	-2,3598E-17	-3,3392E-17	

Şekil 5.53: Epoksi S cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0004996	0,0002683	0,0002203	0,001449	0	0	25,116	2,0239	0	7,2497	1,4698E-17	2,4331E-17	Maksimum: 0,0925
Minimum	alt	-0,0005193	-0,000218	-0,000197	-0,001049	0	0	-26,34	-1,3726	0	-5,2463	-2,8966E-17	-1,3636E-17	Minimum: 0,00085
Maksimum	orta	0,0005336	0,0002667	0,0002104	0,001284	0	0	26,939	2,0317	0	6,421	0,7583	0,357	
Minimum	orta	-0,0004946	-0,0001971	-0,0002053	-0,001005	0	0	-25,091	-1,4697	0	-5,0297	-0,3848	-0,6369	
Maksimum	üst	0,0006832	0,0002676	0,0003156	0,001118	0	0	34,657	2,0766	0	5,5923	1,4698E-17	2,4331E-17	
Minimum	üst	-0,0007411	-0,000214	-0,0002911	-0,0009665	0	0	-37,597	-1,8033	0	-4,8329	-2,8966E-17	-1,3636E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005083	0,0002986	0,0001887	0,001725	0	0	25,576	2,1012	0	8,6257	1,2222E-17	1,9904E-17	Maksimum: 0,1118
Minimum	alt	-0,0004521	-0,0002523	-0,0001917	-0,001187	0	0	-22,912	-1,5127	0	-5,9375	-2,7004E-17	-1,2778E-17	Minimum: 0,0011
Maksimum	orta	0,0005668	0,0002898	0,0001873	0,001429	0	0	28,615	2,0824	0	7,1449	1,0945	0,5179	
Minimum	orta	-0,0004381	-0,0002176	-0,0002169	-0,001106	0	0	-22,232	-1,5763	0	-5,5336	-0,4954	-0,8067	
Maksimum	üst	0,0007375	0,0003044	0,0003179	0,001132	0	0	37,367	2,3814	0	5,664	1,2222E-17	1,9904E-17	
Minimum	üst	-0,0007459	-0,0002364	-0,0003058	-0,001042	0	0	-37,842	-1,9003	0	-5,2143	-2,7004E-17	-1,2778E-17	

Şekil 5.54: Epoksi S cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.3.4. Epoksi Karbon UD 230 GPa Prepreg Malzeme Sonuçları (İki Kat)

Şekil 5.55'te Polystyrene Köpük malzeme üzeri 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda 2 kat Epoksi Karbon UD UD malzeme ile kaplanmıştır ve malzeme

üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 100 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Epoksi Karbon UD UD malzeme ile kaplama sonucunda fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısında ve daha ince katman olan 0,23 mm kalınlıkta meydana gelmiştir ve maksimum 7,25 mm çıkmıştır. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg
0 derece atak açıs	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	2,47 mm	4,62 mm	7,25 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,085 mm	0,135 mm	0,121 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	2,47 mm	4,62 mm	7,25 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,013 mm	0,147 mm	0,247 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,2	4,63	4,12
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg
0 derece atak açıs	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	2,52 mm	4,43 mm	6,92 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,088 mm	1,126 mm	0,118 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	2,52 mm	4,43 mm	6,92 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,012 mm	0,137 mm	0,226 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	3,81	4,36	3,86

Şekil 5.55: Polistiren köpük - epoksi karbon UD 230 GPa prepreg malzeme sonuçları (100 g- iki kat).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001431	0,001949	0,0008068	0,00124	0	0	17,238	16,804	0	5,8311	4,4928E-17	1,8158E-17	Maksimum: 0,5828
Minimum	alt	-7,9031E-05	-0,00198	-0,0007859	-0,002146	0	0	-7,121	-17,124	0	-10,09	-3,6457E-17	-4,5451E-17	Minimum: 0,00051
Maksimum	orta	0,0001365	0,001903	0,0007929	0,001131	0	0	16,478	16,4	0	5,3184	0,7158	0,8924	
Minimum	orta	-5,4082E-05	-0,001949	-0,000766	-0,001711	0	0	-5,5686	-16,845	0	-8,0448	-0,8821	-0,3565	
Maksimum	üst	0,0001300	0,001929	0,0007976	0,001057	0	0	15,72	16,663	0	4,9711	0,9544	1,1899	
Minimum	üst	-4,1117E-05	-0,001957	-0,0007833	-0,00129	0	0	-4,6366	-16,926	0	-6,0642	-1,1762	-0,4753	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001300	0,001929	0,0007976	0,001057	0	0	15,72	16,663	0	4,9711	0,9544	1,1899	Maksimum: 0,6605
Minimum	alt	-4,1117E-05	-0,001957	-0,0007833	-0,00129	0	0	-4,6366	-16,926	0	-6,0642	-1,1762	-0,4753	Minimum: 0,00045
Maksimum	orta	0,0001236	0,002054	0,0008969	0,001028	0	0	14,979	17,742	0	4,834	0,7158	0,8924	
Minimum	orta	-4,3769E-05	0,002202	-0,0008338	-0,001076	0	0	-5,2053	-19,742	0	-5,0613	-0,8821	-0,3565	
Maksimum	üst	0,0001174	0,002179	0,0009963	0,00101	0	0	14,255	18,825	0	4,7496	1,0535E-16	1,0645E-16	
Minimum	üst	-4,6807E-05	-0,002447	-0,0008852	-0,001059	0	0	-5,8644	-21,157	0	-4,98	-1,2983E-16	-4,2526E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001428	0,001892	0,00073	0,001464	0	0	17,129	16,311	0	6,8834	3,4742E-17	1,5333E-17	Maksimum: 0,5718
Minimum	alt	-8,4121E-05	-0,001797	-0,0007632	-0,002773	0	0	-8,4066	-15,528	0	-13,035	-2,9079E-17	-3,9876E-17	Minimum: 0,00060
Maksimum	orta	0,0001319	0,001859	0,0007193	0,001272	0	0	15,87	16,02	0	5,9821	0,8839	1,2122	
Minimum	orta	-5,8107E-05	-0,001769	-0,0007489	-0,002078	0	0	-6,3688	-15,28	0	-9,7674	-1,0561	-0,4661	
Maksimum	üst	0,0001212	0,001895	0,0007392	0,001116	0	0	14,625	16,376	0	5,2464	1,1786	1,6163	
Minimum	üst	-4,2322E-05	-0,001813	-0,0007704	-0,001382	0	0	-4,5005	-15,68	0	-6,4996	-1,4082	-0,6214	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0001212	0,001895	0,0007392	0,001116	0	0	14,625	16,376	0	5,2464	1,1786	1,6163	Maksimum: 0,7206
Minimum	alt	-4,2322E-05	-0,001813	-0,0007704	-0,001382	0	0	-4,5005	-15,68	0	-6,4996	-1,4082	-0,6214	Minimum: 0,00049
Maksimum	orta	0,0001107	0,002047	0,0008581	0,001085	0	0	13,41	17,686	0	5,1033	0,8839	1,2122	
Minimum	orta	-4,2314E-05	-0,002106	-0,0008319	-0,001175	0	0	-5,1719	-18,209	0	-5,5228	-1,0561	-0,4661	
Maksimum	üst	0,0001003	0,002198	0,000977	0,001055	0	0	12,202	18,995	0	4,9601	4,0245E-17	1,3558E-16	
Minimum	üst	-4,6457E-05	-0,002398	-0,0008934	-0,001152	0	0	-5,9147	-20,738	0	-5,4167	-4,8083E-17	-5,2133E-17	

Şekil 5.56: Epoksi karbon UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003468	0,001293	0,0004451	0,002477	0	0	41,597	11,21	0	11,646	7,6027E-17	4,8734E-17	Maksimum: 0,4791
Minimum	alt	-0,0002208	-0,000954	-0,0005317	-0,001306	0	0	-26,324	-8,5066	0	-6,1392	-6,3353E-17	-5,7721E-17	Minimum: 0,00064
Maksimum	orta	0,0002763	0,001337	0,0004373	0,002306	0	0	32,764	11,667	0	10,842	1,244	1,1334	
Minimum	orta	-0,0001851	-0,0009521	-0,0005622	-0,001304	0	0	-24,572	-8,5234	0	-6,1318	-1,4928	-0,9569	
Maksimum	üst	0,0002528	0,00138	0,0004584	0,002175	0	0	30,819	12,124	0	10,225	1,6586	1,5112	
Minimum	üst	-0,0001819	-0,0009801	-0,0005928	-0,001304	0	0	-24,308	-8,8177	0	-6,1292	-1,9904	-1,2759	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002528	0,00138	0,0004584	0,002175	0	0	30,819	12,124	0	10,225	1,6586	1,5112	Maksimum: 0,5256
Minimum	alt	-0,0001819	-0,0009801	-0,0005928	-0,001304	0	0	-24,308	-8,8177	0	-6,1292	-1,9904	-1,2759	Minimum: 0,00173
Maksimum	orta	0,0003212	0,001424	0,0005299	0,002079	0	0	39,316	12,581	0	9,7738	1,244	1,1334	
Minimum	orta	-0,0002795	-0,00106	-0,0006233	-0,001345	0	0	-36,294	-9,7594	0	-6,322	-1,4928	-0,9569	
Maksimum	üst	0,0003897	0,00147	0,0006045	0,00212	0	0	47,813	13,05	0	9,9649	1,2509E-16	2,002E-16	
Minimum	üst	-0,0003834	-0,001151	-0,0006543	-0,00154	0	0	-49,153	-10,76	0	-7,2408	-1,5320E-16	-1,6708E-16	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003391	0,00119	0,0004124	0,002339	0	0	40,668	10,306	0	10,993	5,7943E-17	3,6466E-17	Maksimum: 0,4529
Minimum	alt	-0,0002299	-0,0009283	-0,0004869	-0,001239	0	0	-26,814	-8,1842	0	-5,825	-5,1250E-17	-4,2960E-17	Minimum: 0,000702
Maksimum	orta	0,000271	0,001245	0,0004093	0,002164	0	0	32,13	10,865	0	10,173	1,558	1,306	
Minimum	orta	-0,000181	-0,0009176	-0,0005234	-0,001239	0	0	-22,26	-8,1075	0	-5,8273	-1,7614	-1,1085	
Maksimum	üst	0,0002466	0,001299	0,0004353	0,002029	0	0	30,055	11,424	0	9,5406	2,0773	1,7413	
Minimum	üst	-0,0001691	-0,0009469	-0,0005598	-0,001241	0	0	-22,606	-8,4667	0	-5,8356	-2,3486	-1,4781	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002466	0,001299	0,0004353	0,002029	0	0	30,055	11,424	0	9,5406	2,0773	1,7413	Maksimum: 0,5101
Minimum	alt	-0,0001691	-0,0009469	-0,0005598	-0,001241	0	0	-22,606	-8,4667	0	-5,8356	-2,3486	-1,4781	Minimum: 0,001510
Maksimum	orta	0,000314	0,001354	0,0005156	0,001954	0	0	38,457	11,983	0	9,1873	1,558	1,306	
Minimum	orta	-0,0002829	-0,001033	-0,0005963	-0,001301	0	0	-36,574	-9,4822	0	-6,1167	-1,7614	-1,1085	
Maksimum	üst	0,0003814	0,001413	0,0006009	0,002016	0	0	46,86	12,568	0	9,4761	4,5381E-16	2,856E-16	
Minimum	üst	-0,0004007	-0,001132	-0,0006327	-0,001524	0	0	-51,165	-10,623	0	-7,1635	-4,0139E-16	-3,3647E-16	

Şekil 5.57: Epoksi karbon UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi Karbon UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002189	0,0002668	6,6593E-05	0,002384	0	0	26,284	2,1744	0	11,208	3,1286E-17	3,4857E-17	Maksimum: 0,1957
Minimum	alt	-0,0001634	-0,0002293	-9,2099E-05	-0,001372	0	0	-19,874	-1,578	0	-6,4483	-7,0846E-17	-2,9777E-17	Minimum: 0,00088
Maksimum	orta	0,0002629	0,0002673	6,2563E-05	0,002038	0	0	31,695	2,1593	0	9,5795	1,3911	0,5846	
Minimum	orta	-0,0001204	-0,0001884	-9,2698E-05	-0,001275	0	0	-14,603	-1,5384	0	-5,9935	-0,6143	-0,6844	
Maksimum	üst	0,0003467	0,0002689	6,684E-05	0,001691	0	0	42,114	2,2415	0	7,9512	1,8548	0,7795	
Minimum	üst	-0,0001521	-0,0001911	-0,000121	-0,001181	0	0	-18,488	-1,5801	0	-5,5532	-0,819	-0,9125	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003467	0,0002689	6,684E-05	0,001691	0	0	42,114	2,2415	0	7,9512	1,8548	0,7795	Maksimum: 0,1356
Minimum	alt	-0,0001521	-0,0001911	-0,000121	-0,001181	0	0	-18,488	-1,5801	0	-5,5532	-0,819	-0,9125	Minimum: 0,001324
Maksimum	orta	0,0004406	0,0002729	9,9432E-05	0,001345	0	0	53,594	2,3566	0	6,3228	1,3911	0,5846	
Minimum	orta	-0,0002554	-0,0001977	-0,0001673	-0,001117	0	0	-31,08	-1,7079	0	-5,2499	-0,6143	-0,6844	
Maksimum	üst	0,0005345	0,0002781	0,0001489	0,001113	0	0	65,075	2,4746	0	5,233	1,6592E-16	8,6045E-17	
Minimum	üst	-0,0003888	-0,0002069	-0,0002136	-0,001058	0	0	-47,3	-1,8468	0	-4,9744	-7,3274E-17	-1,0073E-16	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002181	0,0003033	8,6017E-05	0,002746	0	0	26,463	2,5304	0	12,907	2,6017E-17	2,8042E-17	Maksimum: 0,2221
Minimum	alt	-0,0002046	-0,0002454	-0,0001085	-0,001516	0	0	-24,887	-2,0363	0	-7,127	-6,2219E-17	-2,6192E-17	Minimum: 0,00086
Maksimum	orta	0,000264	0,0002946	7,1347E-05	0,002216	0	0	31,805	2,3855	0	10,417	1,8914	0,7962	
Minimum	orta	-0,0001115	-0,0002081	-0,0001011	-0,001363	0	0	-13,518	-1,6868	0	-6,4068	-0,7909	-0,8524	
Maksimum	üst	0,0003611	0,0002984	7,2539E-05	0,001686	0	0	43,854	2,4942	0	7,9277	2,5219	1,0616	
Minimum	üst	-0,0001569	-0,000209	-0,000125	-0,001213	0	0	-19,056	-1,7292	0	-5,7054	-1,0545	-1,1366	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0003611	0,0002984	7,2539E-05	0,001686	0	0	43,854	2,4942	0	7,9277	2,5219	1,0616	Maksimum: 0,1348
Minimum	alt	-0,0001569	-0,000209	-0,000125	-0,001213	0	0	-19,056	-1,7292	0	-5,7054	-1,0545	-1,1366	Minimum: 0,001601
Maksimum	orta	0,0004772	0,0003033	0,0001098	0,001201	0	0	58,053	2,6229	0	5,6453	1,8914	0,7962	
Minimum	orta	-0,0002695	-0,0002147	-0,0001815	-0,001113	0	0	-32,827	-1,8613	0	-5,2335	-0,7909	-0,8524	
Maksimum	üst	0,0005934	0,0003091	0,000165	0,00115	0	0	72,253	2,7591	0	5,4076	8,6111E-17	8,9053E-17	
Minimum	üst	-0,0003983	-0,000224	-0,0002379	-0,001081	0	0	-48,462	-2,0157	0	-5,0821	-3,6008E-13	-9,5344E-17	

Şekil 5.58: Epoksi karbon UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.3.5. Epoksi E cam Malzeme Sonuçları (İki Kat)

Şekil 5.59'da Polystyrene Köpük malzeme üzeri 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda 2 kat Epoksi E cam UD malzeme ile kaplanmıştır ve malzeme üzerinde statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 100 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Epoksi E cam UD malzeme ile kaplama sonucunda fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısında ve daha kalın katman olan 0,30 mm kalınlıkta meydana gelmiştir ve maksimum 8,608 mm çıkmıştır. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg
0 derece atak açıs	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	3,81 mm	5,77 mm	8,00 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,109 mm	0,145 mm	0,140 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	3,81 mm	5,77 mm	8,00 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,050 mm	0,177 mm	0,262 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	3,52	3,67	3,47
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg
0 derece atak açıs	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi E Cam UD Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	3,848 mm	6,177 mm	8,608 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,106 mm	0,167 mm	0,146 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	3,847 mm	6,174 mm	8,607 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,060 mm	0,201 mm	0,301 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,21	3,97	3,79

Şekil 5.59: Epoksi E cam UD malzeme sonuçları (100 g- iki kat).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						**Hasar Kriteri**
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0002576	0,002137	0,0008835	0,001335	0	0	11,349	21,583	0	6,6772	4,2235E-17	2,6273E-17	Maksimum: 0,6183
Minimum	**alt**	-0,000168	-0,002061	-0,0008838	-0,001986	0	0	-6,3212	-21,036	0	-9,9332	-4,9027E-17	-5,9265E-17	Minimum: 0,00042
Maksimum	**orta**	0,0002498	0,00207	0,0008682	0,001228	0	0	11,031	20,871	0	6,1442	0,9626	1,1637	
Minimum	**orta**	-0,0001422	-0,002032	-0,0008514	-0,001609	0	0	-5,9079	-20,723	0	-8,046	-0,8292	-0,5158	
Maksimum	**üst**	0,0002421	0,002072	0,0008755	0,001152	0	0	10,717	21,046	0	5,7606	1,2835	1,5516	
Minimum	**üst**	-0,000132	-0,002044	-0,0008745	-0,001231	0	0	-6,1875	-20,859	0	-6,1587	-1,1057	-0,6878	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		**2.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0002421	0,002072	0,0008755	0,001152	0	0	10,717	21,046	0	5,7606	1,2835	1,5516	Maksimum: 0,6981
Minimum	**alt**	-0,000132	-0,002044	-0,0008745	-0,001231	0	0	-6,1875	-20,859	0	-6,1587	-1,1057	-0,6878	Minimum: 0,00058
Maksimum	**orta**	0,0002344	0,002239	0,001004	0,001105	0	0	10,407	22,762	0	5,5254	0,9626	1,1637	
Minimum	**orta**	-0,0001346	-0,002347	-0,0009477	-0,001051	0	0	-7,0752	-23,943	0	-5,2588	-0,8292	-0,5158	
Maksimum	**üst**	0,0002269	0,002412	0,001133	0,001076	0	0	10,103	24,525	0	5,3829	5,4097E-18	3,37E-18	
Minimum	**üst**	-0,0001431	-0,00265	-0,00102	-0,001055	0	0	-8,0549	-27,027	0	-5,2752	-6,28E-18	-7,59E-18	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		**1.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0002555	0,00211	0,0008171	0,001628	0	0	11,183	21,278	0	8,1435	3,8539E-17	2,2745E-17	Maksimum: 0,6126
Minimum	**alt**	-0,0001722	-0,001917	-0,0008735	-0,00266	0	0	-6,1882	-19,53	0	-13,301	-4,0953E-17	-5,3449E-17	Minimum: 0,00066
Maksimum	**orta**	0,0002421	0,002058	0,0007992	0,001431	0	0	10,635	20,761	0	7,1587	1,2449	1,6248	
Minimum	**orta**	-0,0001454	-0,001883	-0,0008494	-0,002028	0	0	-5,5586	-19,159	0	-10,14	-1,1716	-0,6914	
Maksimum	**üst**	0,0002288	0,002084	0,0008238	0,001267	0	0	10,096	21,177	0	6,3397	1,6599	2,1664	
Minimum	**üst**	-0,0001313	-0,001921	-0,0008806	-0,001396	0	0	-5,8995	-19,613	0	-6,9802	-1,5621	-0,9218	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		**2.tabaka**												
		ε1	**ε2**	**ε3**	**γ12**	**γ13**	**γ23**	**σ1**	**σ2**	**σ3**	**τ12**	**τ13**	**τ23**	**Hasar Kriteri**
Maksimum	**alt**	0,0002288	0,002084	0,0008238	0,001267	0	0	10,096	21,177	0	6,3397	1,6599	2,1664	Maksimum: 0,7321
Minimum	**alt**	-0,0001313	-0,001921	-0,0008806	-0,001396	0	0	-5,8995	-19,613	0	-6,9802	-1,5621	-0,9218	Minimum: 0,000503
Maksimum	**orta**	0,0002158	0,00228	0,0009797	0,001209	0	0	9,5662	23,202	0	6,0469	1,2449	1,6248	
Minimum	**orta**	-0,0001324	-0,002287	-0,0009677	-0,001179	0	0	-6,9652	-23,34	0	-5,8986	-1,1716	-0,6914	
Maksimum	**üst**	0,0002031	0,00249	0,001135	0,001168	0	0	9,049	25,338	0	5,8406	5,6679E-17	1,8173E-16	
Minimum	**üst**	-0,0001407	-0,002653	-0,001056	-0,001151	0	0	-8,1187	-27,068	0	-5,759	-5,3339E-17	-7,7332E-17	

Şekil 5.60: Epoksi E cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005609	0,001223	0,0005825	0,00253	0	0	25,187	13,194	0	12,65	5,6836E-17	5,0203E-17	Maksimum: 0,4587
Minimum	alt	-0,0004595	-0,0009769	-0,0006318	-0,001517	0	0	-23,751	-10,915	0	-7,5897	-6,1920E-17	-7,9996E-17	Minimum: 0,001118
Maksimum	orta	0,0004892	0,001274	0,0005652	0,002386	0	0	22,646	13,516	0	11,933	1,2158	1,5707	
Minimum	orta	-0,0004356	-0,0009683	-0,0006252	-0,001495	0	0	-22,553	-10,84	0	-7,4797	-1,116	-0,9857	
Maksimum	üst	0,0005175	0,001347	0,0005835	0,002289	0	0	24,212	14,46	0	11,445	1,6211	2,0943	
Minimum	üst	-0,000437	-0,0009882	-0,0006832	-0,001492	0	0	-22,742	-11,14	0	-7,4614	-1,488	-1,3143	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005175	0,001347	0,0005835	0,002289	0	0	24,212	14,46	0	11,445	1,6211	2,0943	Maksimum: 0,5092
Minimum	alt	-0,000437	-0,0009882	-0,0006832	-0,001492	0	0	-22,742	-11,14	0	-7,4614	-1,488	-1,3143	Minimum: 0,001015
Maksimum	orta	0,0005457	0,00142	0,0006929	0,002215	0	0	25,779	15,405	0	11,078	1,2158	1,5707	
Minimum	orta	-0,0005732	-0,001097	-0,0007413	-0,001652	0	0	-29,433	-12,71	0	-8,2598	-1,116	-0,9857	
Maksimum	üst	0,000574	0,001494	0,0008044	0,002298	0	0	27,345	16,349	0	11,492	9,6691E-17	1,3711E-16	
Minimum	üst	-0,0007126	-0,001219	-0,0007993	-0,001927	0	0	-36,242	-14,386	0	-9,6373	-8,1812E-17	-8,0439E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005945	0,00158	0,0005454	0,002468	0	0	26,647	12,524	0	12,344	4,6919E-17	3,9416E-17	Maksimum: 0,4406
Minimum	alt	-0,0004351	-0,0009749	-0,000605	-0,001458	0	0	-21,884	-10,603	0	-7,294	-5,1858E-17	-6,6755E-17	Minimum: 0,0008933
Maksimum	orta	0,0005157	0,001209	0,0005311	0,00232	0	0	23,697	12,853	0	11,604	1,5764	2,0293	
Minimum	orta	-0,000408	-0,0009534	-0,0005963	-0,001444	0	0	-21,092	-10,378	0	-7,2222	-1,4263	-1,1982	
Maksimum	üst	0,0005317	0,001297	0,0005581	0,002219	0	0	24,795	13,998	0	11,099	2,1019	2,7057	
Minimum	üst	-0,0004163	-0,0009804	-0,000667	-0,001442	0	0	-21,599	-10,869	0	-7,2131	-1,9017	-1,5976	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005317	0,001297	0,0005581	0,002219	0	0	24,795	13,998	0	11,099	2,1019	2,7057	Maksimum: 0,5018
Minimum	alt	-0,0004163	-0,0009804	-0,000667	-0,001442	0	0	-21,599	-10,869	0	-7,2131	-1,9017	-1,5976	Minimum: 0,001226
Maksimum	orta	0,0005509	0,001385	0,000688	0,00215	0	0	25,893	15,152	0	10,751	1,5764	2,0293	
Minimum	orta	-0,0005792	-0,001102	-0,0007377	-0,001629	0	0	-29,596	-12,669	0	-8,1477	-1,4263	-1,1982	
Maksimum	üst	0,0005872	0,001474	0,0008187	0,002288	0	0	26,991	16,307	0	11,444	2,9945E-16	2,9471E-16	
Minimum	üst	-0,0007445	-0,001237	-0,0008085	-0,00195	0	0	-37,685	-14,599	0	-9,7537	-3,0413E-16	-3,1548E-16	

Şekil 5.61: Epoksi E cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi E Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005815	0,0003162	0,0001764	0,002307	0	0	26,406	2,7094	0	11,539	2,8908E-17	4,5008E-17	Maksimum: 0,1514
Minimum	alt	-0,0004261	-0,0002861	-0,0002153	-0,001467	0	0	-19,504	-2,0358	0	-7,3354	-7,4497E-17	-3,5408E-17	Minimum: 0,00083
Maksimum	orta	0,000579	0,0003141	0,0001725	0,001953	0	0	26,307	2,6222	0	9,7689	1,4628	0,6952	
Minimum	orta	-0,0004163	-0,0002251	-0,0002178	-0,001361	0	0	-19,074	-1,9584	0	-6,8085	-0,5676	-0,8837	
Maksimum	üst	0,0006703	0,0003127	0,0001854	0,001599	0	0	30,549	2,7873	0	7,9991	1,9503	0,9269	
Minimum	üst	-0,0004296	-0,0002287	-0,0002548	-0,001266	0	0	-19,737	-2,0277	0	-6,3313	-0,7568	-1,1783	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0006703	0,0003127	0,0001854	0,001599	0	0	30,549	2,7873	0	7,9991	1,9503	0,9264	Maksimum: 0,1038
Minimum	alt	-0,0004296	-0,0002287	-0,0002548	-0,001266	0	0	-19,737	-2,0277	0	-6,3313	-0,7568	-1,1783	Minimum: 0,001590
Maksimum	orta	0,0008034	0,000319	0,0002651	0,001245	0	0	36,734	3,0205	0	6,2293	1,4628	0,6952	
Minimum	orta	-0,0006187	-0,0002336	-0,0003218	-0,001194	0	0	-28,41	-2,2598	0	-5,9705	-0,5676	-0,8837	
Maksimum	üst	0,0009366	0,0003303	0,0003588	0,001136	0	0	42,919	3,2624	0	5,6824	3,70E-18	5,76E-18	
Minimum	üst	-0,0008365	-0,0002451	-0,0003888	-0,00114	0	0	-38,415	-2,5685	0	-5,7022	-9,54E-18	-4,54E-18	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005834	0,0003502	0,0001616	0,002845	0	0	26,518	3,1235	0	14,229	2,6004E-17	3,66E-17	Maksimum: 0,1869
Minimum	alt	-0,000396	-0,0003114	-0,0002168	-0,001688	0	0	-18,088	-2,3284	0	-8,4404	-6,7112E-17	-3,1955E-17	Minimum: 0,00045
Maksimum	orta	0,0005923	0,0003506	0,0001594	0,00227	0	0	26,95	2,9569	0	11,354	2,0402	0,9714	
Minimum	orta	-0,0003887	-0,0002464	-0,0002275	-0,001507	0	0	-17,789	-2,2046	0	-7,5351	-0,7905	-1,1134	
Maksimum	üst	0,0007152	0,000351	0,0001775	0,001696	0	0	32,588	3,1657	0	8,4798	2,7202	1,2952	
Minimum	üst	-0,0004089	-0,0002508	-0,0002711	-0,001347	0	0	-18,795	-2,2278	0	-6,7374	-1,054	-1,4845	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0007152	0,000351	0,0001775	0,001696	0	0	32,588	3,1657	0	8,4798	2,7202	1,2952	Maksimum: 0,1134
Minimum	alt	-0,0004089	-0,0002508	-0,0002711	-0,001347	0	0	-18,795	-2,2278	0	-6,7374	-1,054	-1,4845	Minimum: 0,001371
Maksimum	orta	0,0008873	0,0003582	0,0002659	0,001284	0	0	40,576	3,4423	0	6,4236	2,0402	0,9714	
Minimum	orta	-0,0006163	-0,000258	-0,0003565	-0,001248	0	0	-28,315	-2,4662	0	-6,2404	-0,7905	-1,1134	
Maksimum	üst	0,001059	0,0003673	0,0003731	0,00124	0	0	48,563	3,7189	0	6,2038	9,29E-17	4,42E-17	
Minimum	üst	-0,0008694	-0,0002653	-0,000442	-0,001209	0	0	-39,927	-2,7264	0	-6,0476	-3,60E-17	-5,07E-17	

Şekil 5.62: Epoksi E cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

5.3.6. Epoksi S Cam Malzeme Sonuçları (İki Kat)

Yukarıdaki tabloda Polystyrene Köpük malzeme üzeri 0,23 mm ve 0,30 mm kalınlıklarda 2 kat Epoksi S cam UD malzeme ile kaplanmıştır ve malzeme üzerinde

statik analiz yapılmıştır. Analizlerde İHA üzerine 100 G ivme uygulanmış ve analiz sonuçları tablo haline getirilmiştir.

Epoksi S cam UD malzeme ile kaplama sonucunda fiber açılarına göre maksimum deformasyon 0 derece fiber açısında ve daha ince katman olan 0,23 mm kalınlıkta meydana gelmiştir ve maksimum 9,28 mm çıkmıştır. Güvenlik faktörleri de 1'in üzerinde çıkmış olup, malzemenin dayanımının artmış olduğunu gözlemledik.

Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça güvenlik faktörünün düştüğü görülmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça modelde kütle artışı meydana gelir bundan dolayı güvenlik faktörü düşmektedir.

Kalınlık		0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg
0 derece atak açıs	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	3,67 mm	6,24 mm	9,28 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,108 mm	0,167 mm	0,149 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	3,66 mm	6,23 mm	9,28 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,044 mm	0,187 mm	0,330 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	3,52	3,65	3,39
Kalınlık		0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg
0 derece atak açıs	**Polistiren Köpük Malzemesi**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /90 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /45 derece fiber yönlü**	**2 Kat Epoksi S Cam Kaplama /0 derece fiber yönlü**
Toplam Deformasyon	147,73 mm	3,70 mm	6,07 mm	8,97 mm
X Yönündeki deformasyo	0,74 mm	0,112 mm	0,154 mm	0,148 mm
Y Yönündeki deformasyo	147,71 mm	3,70 mm	6,06 mm	8,97 mm
Z Yönündeki deformasyo	5,58 mm	0,040 mm	0,175 mm	0,308 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	3,12	3,33	3,15

Şekil 5.63: Polistiren köpük - epoksi S cam UD malzeme sonuçları (100 g- iki kat).

Aşağıdaki şekillerde Tsai-Wu kriterine göre gerinim- gerilme ve kırılma faktörü değerleri 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açıları için verilmiştir. Burada kırılma kriteri değeri tüm fiber açılarında 1 değerinin altında kalmıştır. Bu bize malzemenin oldukça dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 0 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,000278	0,002588	0,001103	0,001309	0	0	13,696	20,844	0	6,5497	4,1397E-17	2,54E-17	Maksimum: 0,5975
Minimum	alt	-0,0001587	-0,002624	-0,001058	-0,001973	0	0	-6,3435	-21,303	0	-9,8667	-4,8263E-17	-5,8647E-17	Minimum: 0,00044
Maksimum	orta	0,0002705	0,002513	0,00108	0,001206	0	0	13,356	20,209	0	6,031	0,9476	1,1515	
Minimum	orta	-0,0001271	-0,002577	-0,001024	-0,001596	0	0	-5,8929	-20,903	0	-7,9805	-0,8128	-0,4989	
Maksimum	üst	0,0002631	0,002523	0,001085	0,001141	0	0	13,018	20,421	0	5,7077	1,2635	1,5354	
Minimum	üst	-0,0001167	-0,002582	-0,00105	-0,001218	0	0	-6,1988	-20,959	0	-6,0942	-1,0838	-0,6652	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002631	0,002523	0,001085	0,001141	0	0	13,018	20,421	0	5,7077	1,2635	1,5354	Maksimum: 0,6677
Minimum	alt	-0,0001167	-0,002582	-0,00105	-0,001218	0	0	-6,1988	-20,959	0	-6,0942	-1,0838	-0,6652	Minimum: 0,00050
Maksimum	orta	0,000256	0,002703	0,00122	0,001098	0	0	12,691	21,88	0	5,4903	0,9476	1,1515	
Minimum	orta	-0,000121	-0,002907	-0,001125	-0,001063	0	0	-6,9649	-23,585	0	-5,3196	-0,8128	-0,4989	
Maksimum	üst	0,0002488	0,002884	0,001355	0,001072	0	0	12,363	23,346	0	5,3602	5,30E-18	2,46E-17	
Minimum	üst	-0,0001288	-0,003231	-0,001203	-0,001067	0	0	-7,8153	-26,211	0	-5,3385	-6,18E-18	-1,07E-17	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002733	0,002546	0,001009	0,0016	0	0	13,387	20,52	0	8,003	3,7885E-17	2,21E-17	Maksimum: 0,5885
Minimum	alt	-0,0001628	-0,002413	-0,001044	-0,002648	0	0	-6,9623	-19,56	0	-13,242	-4,0472E-17	-5,2947E-17	Minimum: 0,00070
Maksimum	orta	0,0002605	0,002489	0,0009953	0,001407	0	0	12,799	20,036	0	7,0387	1,2303	1,6096	
Minimum	orta	-0,0001314	-0,002374	-0,001017	-0,002015	0	0	-5,5814	-19,236	0	-10,079	-1,1517	-0,6704	
Maksimum	üst	0,0002477	0,002516	0,001021	0,001249	0	0	12,219	20,379	0	6,2474	1,6404	2,1461	
Minimum	üst	-0,0001159	-0,002428	-0,00105	-0,001383	0	0	-5,9225	-19,714	0	-6,9158	-1,5356	-0,8939	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0002477	0,002516	0,001021	0,001249	0	0	12,219	20,379	0	6,2474	1,6404	2,1461	Maksimum: 0,6831
Minimum	alt	-0,0001159	-0,002428	-0,00105	-0,001383	0	0	-5,9225	-19,714	0	-6,9158	-1,5356	-0,8939	Minimum: 0,00052
Maksimum	orta	0,0002353	0,002735	0,001185	0,001201	0	0	11,648	22,148	0	6,0081	1,2303	1,6096	
Minimum	orta	-0,0001185	-0,002821	-0,00114	-0,001189	0	0	-6,8301	-22,899	0	-5,9453	-1,1517	-0,6704	
Maksimum	üst	0,0002228	0,002953	0,001349	0,001161	0	0	11,078	23,917	0	5,8128	5,60E-17	7,33E-17	
Minimum	üst	-0,000126	-0,003214	-0,001231	-0,001173	0	0	-7,835	-26,084	0	-5,8676	-5,24E-17	-3,05E-17	

Şekil 5.64: Epoksi S cam UD, 0 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 45 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005671	0,001349	0,0006289	0,002528	0	0	28,334	11,326	0	12,64	6,4521E-17	4,88E-17	Maksimum: 0,4043
Minimum	alt	-0,0004275	-0,001167	-0,0006571	-0,001638	0	0	-24,156	-10,105	0	-8,1912	-5,5989E-17	-8,0363E-17	Minimum: 0,001104
Maksimum	orta	0,0004849	0,00141	0,0006174	0,002395	0	0	23,537	11,905	0	11,975	1,0994	1,578	
Minimum	orta	-0,0004058	-0,001158	-0,0006732	-0,001595	0	0	-22,983	-10,056	0	-7,9779	-1,2669	-0,9575	
Maksimum	üst	0,0005118	0,001471	0,0006369	0,002281	0	0	26,148	12,52	0	11,408	1,4658	2,1039	
Minimum	üst	-0,0004071	-0,001178	-0,0007199	-0,001583	0	0	-23,159	10,295	0	-7,9156	-1,6892	1,2768	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005118	0,001471	0,0006369	0,002281	0	0	26,148	12,52	0	11,408	1,4658	2,1039	Maksimum: 0,4421
Minimum	alt	-0,0004071	-0,001178	-0,0007199	-0,001583	0	0	-23,159	10,295	0	-7,9156	-1,6892	1,2768	Minimum: 0,001042
Maksimum	orta	0,0005694	0,001531	0,0007399	0,002226	0	0	28,759	13,134	0	11,134	1,0994	1,578	
Minimum	orta	-0,0005397	-0,001277	-0,0007667	-0,001781	0	0	-30,228	-11,456	0	-8,9057	-1,2669	-0,9575	
Maksimum	üst	0,0006271	0,001635	0,000845	0,002319	0	0	31,497	14,064	0	11,595	1,63E-16	2,24E-16	
Minimum	üst	-0,0006749	-0,001388	-0,0008314	-0,002045	0	0	-37,415	-12,695	0	-10,225	-1,82E-16	-1,50E-16	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005916	0,001267	0,0005925	0,002463	0	0	29,549	10,778	0	12,319	5,2517E-17	3,83E-17	Maksimum: 0,3894
Minimum	alt	-0,000457	-0,001163	-0,0006283	-0,001564	0	0	-22,299	-9,8163	0	-7,82	-4,7259E-17	-6,6099E-17	Minimum: 0,00098
Maksimum	orta	0,0005025	0,001339	0,0005811	0,002324	0	0	24,377	11,318	0	11,624	1,4366	2,0094	
Minimum	orta	-0,0003802	-0,001147	-0,0006415	-0,001535	0	0	-21,505	-9,6974	0	-7,6776	-1,5965	-1,1633	
Maksimum	üst	0,0005227	0,001415	0,0006108	0,002208	0	0	26,569	12,085	0	11,041	1,9155	2,6791	
Minimum	üst	-0,0003889	-0,001167	-0,0006994	-0,001525	0	0	-22,056	-10,048	0	-7,6291	-2,1287	-1,5511	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005227	0,001415	0,0006108	0,002208	0	0	26,569	12,085	0	11,041	1,9155	2,6791	Maksimum: 0,4447
Minimum	alt	-0,0003889	-0,001167	-0,0006994	-0,001525	0	0	-22,056	-10,048	0	-7,6291	-2,1287	-1,5511	Minimum: 0,001176
Maksimum	orta	0,0005847	0,001492	0,0007321	0,002156	0	0	29,175	12,853	0	10,782	1,4366	2,0094	
Minimum	orta	-0,0005478	-0,001274	-0,0007573	-0,001754	0	0	-30,523	-11,355	0	-8,7701	-1,5965	-1,1633	
Maksimum	üst	0,0006466	0,001597	0,0008555	0,002295	0	0	32,527	13,812	0	11,479	4,76E-16	3,99E-16	
Minimum	üst	-0,0007089	-0,001397	-0,0008286	-0,002058	0	0	-39,089	-12,799	0	-10,292	-4,49E-16	-5,92E-16	

Şekil 5.65: Epoksi S cam UD, 45 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

Epoksi S Cam UD (Tabaka Açısı 90 Derece)		Gerinme						Gerilme (MPa)						Hasar Kriteri
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,000522	0,0003593	0,0001558	0,00234	0	0	26,3	2,4981	0	11,703	2,8220E-17	4,50E-17	Maksimum: 0,1542
Minimum	alt	-0,0003839	-0,0003008	-0,0001976	-0,001461	0	0	-19,418	-1,849	0	-7,3065	-7,4202E-17	-3,5235E-17	Minimum: 0,00085
Maksimum	orta	0,000525	0,0003561	0,0001532	0,001984	0	0	26,468	2,4848	0	9,9199	1,457	0,6918	
Minimum	orta	-0,0003743	-0,0002528	-0,0002026	-0,001356	0	0	-18,925	-1,8068	0	-6,7816	-0,5541	-0,8828	
Maksimum	üst	0,0006297	0,0003556	0,0001665	0,001627	0	0	31,787	2,6075	0	8,1369	1,9426	9,22E-01	
Minimum	üst	-0,0003872	-0,0002572	-0,0002408	-0,001258	0	0	-19,656	-1,8798	0	-6,2923	-0,7387	-1,1771	
Tabaka Kalınlığı : 0,23 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0006297	0,0003556	0,0001665	0,001627	0	0	31,787	2,6075	0	8,1369	1,9426	9,22E-01	Maksimum: 0,1025
Minimum	alt	-0,0003872	-0,0002572	-0,0002408	-0,001258	0	0	-19,656	-1,8798	0	-6,2923	-0,7387	-1,1771	Minimum: 0,001562
Maksimum	orta	0,0007591	0,0003612	0,0002445	0,00127	0	0	38,42	2,7876	0	6,3538	1,457	0,6918	
Minimum	orta	-0,0005729	-0,0002654	-0,0003073	-0,001187	0	0	-29,064	-2,078	0	-5,9354	-0,5541	-0,8828	
Maksimum	üst	0,0008886	0,0003718	0,0003352	0,001139	0	0	45,052	2,9756	0	5,6974	2,14E-16	5,76E-18	
Minimum	üst	-0,0007855	-0,0002782	-0,0003739	-0,001143	0	0	-39,854	-2,2793	0	-5,7194	-8,15E-17	-4,51E-18	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		1.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0005318	0,0004004	0,0001425	0,00286	0	0	26,654	2,8017	0	14,304	2,5502E-17	3,63E-17	Maksimum: 0,1884
Minimum	alt	-0,0003565	-0,0003273	-0,0001998	-0,001673	0	0	-18,008	-2,07	0	-8,3667	-6,6820E-17	-3,1769E-17	Minimum: 0,00046
Maksimum	orta	0,0005377	0,0004006	0,0001411	0,002285	0	0	27,139	2,8114	0	11,427	2,0313	0,9657	
Minimum	orta	-0,000349	-0,0002801	-0,0002125	-0,001494	0	0	-17,65	-2,037	0	-7,473	-0,7752	-1,1039	
Maksimum	üst	0,0006698	0,0004015	0,0001598	0,00171	0	0	33,808	2,9727	0	8,5505	2,7084	1,2877	
Minimum	üst	-0,0003693	-0,0002849	-0,0002552	-0,001335	0	0	-18,752	-2,0869	0	-6,6773	-1,0337	-1,4719	
Tabaka Kalınlığı : 0,30 MM		2.tabaka												
		ε1	ε2	ε3	γ12	γ13	γ23	σ1	σ2	σ3	τ12	τ13	τ23	Hasar Kriteri
Maksimum	alt	0,0006698	0,0004015	0,0001598	0,00171	0	0	33,808	2,9727	0	8,5505	2,7084	1,2877	Maksimum: 0,1091
Minimum	alt	-0,0003693	-0,0002849	-0,0002552	-0,001335	0	0	-18,752	-2,0869	0	-6,6773	-1,0337	-1,4719	Minimum: 0,001368
Maksimum	orta	0,0008359	0,0004088	0,0002446	0,00128	0	0	42,309	3,1897	0	6,4045	2,0313	0,9657	
Minimum	orta	-0,0005721	-0,000292	-0,0003394	0,001237	0	0	-29,026	-2,2936	0	-6,1878	-0,7752	-1,1039	
Maksimum	üst	0,001001	0,0004176	0,0003493	0,001236	0	0	50,81	3,41	0	6,1827	9,25E-17	4,40E-17	
Minimum	üst	-0,0008182	-0,0003039	-0,0004236	-0,001198	0	0	-41,515	-2,5155	0	-5,9917	-3,53E-17	-5,03E-17	

Şekil 5.66: Epoksi S cam UD, 90 derece, gerilme-gerinim-kırılma kriteri.

6. SONUÇ VE YORUMLAR

Bu çalışmada bir insansız hava aracının gövde ve kanadının tasarımı ve analiz aşamaları gerçekleştirilmiştir. Tasarım için bütün gereksinimler belirlendikten sonra SolidWorks programı kullanılarak modelimiz tasarlanmıştır.

Tasarım işlemi bittikten sonra modelimiz simetri ekseninden bölünerek, modelin yarısı ANSYS Workbench programına aktarılmıştır. Modelin yapısal analizi gerçekleştirebilmek için yapısal analiz modülüne aktararak modelin yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizde modelin 50 g ve 100 g'lik yere düz ve ters inişleri esnasında analizleri yapılmıştır. Yapısal analizde öncelikle Polistiren Köpük malzemesinden yapılan model analiz edilmiş ve 50 g ve 100 g değerlerinde üzerinden oluşan deformasyon ve güvenlik faktörü değerine bakılmıştır.

Yapılan analiz sonuçlarına göre model üzerine 50 g'lik ivme uygulandığında tek kat malzeme için sonuçları şöyle sıralamak mümkündür;

i) Deformasyon miktarlarına bakıldığında, üç kaplama malzemesi içinde aynı şartlarda total deformasyon değeri en yüksek olan malzeme epoksi S cam UD malzemesinde görülmüştür. Daha sonra sırasıyla epoksi E cam UD ve en düşük total deformasyon epoksi karbon UD malzemesinde görülmüştür.
ii) Kaplama malzemelerinin fiber açılarına göre deformasyonlara bakıldığında, üç kaplama malzemesi için de en yüksek deformasyonlar 0 derece fiber açısında yapılan analizlerde ortaya çıkmıştır.
iii) Güvenlik faktörüne bakıldığında kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça kütle artışı meydana gelir ve güvenlik faktörleri düşer.
iv) Tsai-Wu kriterine göre yapılan analizlerde malzemenin kırılma kriteri 1'in altında olduğu görülmüş ve malzemenin güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplanan kompozit malzemenin fiber açısı 90 derece olduğunda malzeme daha güvenli çıkmıştır, fiber açısı 0 derece olduğu durumda ise daha az güvenli çıkmıştır.
v) Yapılan analiz sonuçlarına göre model üzerine 50 g'lik ivme uygulandığında iki kat malzeme için sonuçları şöyle sıralamak mümkündür;

vi) 50 g ivme uygulanarak tek kat malzeme kaplanarak yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında her malzeme tipi için iki kat kaplama sonuçlarında deformasyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.

vii) Her üç malzeme için de çıkan sonuçlarda maksimum deformasyonun tek kat kaplama sonuçlarında olduğu gibi epoksi S cam UD malzemesinde olduğu görülmüştür. Aynı şekilde deformasyon değerleri sırasıyla epoksi E cam UD ve epoksi karbon UD olmak üzere büyükten küçüğe doğru sıralamak mümkündür.

viii) Güvenlik faktörüne bakıldığında kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça kütle artışı meydana gelir ve güvenlik faktörleri düşer.

ix) Tsai-Wu kriterine göre yapılan analizlerde malzemenin kırılma kriteri 1'in altında olduğu görülmüş ve malzemenin güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplanan kompozit malzemenin fiber açısı 90 derece olduğunda malzeme daha güvenli çıkmıştır, fiber açısı 0 derece olduğu durumda ise daha az güvenli çıkmıştır.

Yapılan analiz sonuçlarına göre model üzerine 100 g'lik ivme uygulandığında tek kat malzeme için sonuçları şöyle sıralamak mümkündür;

i) Kaplanan malzeme türüne göre önceki analiz sonuçlarında olduğu gibi en fazla deformasyon epoksi S cam UD malzeme sonuçlarında görülmüştür, sonrasında sırasıyla epoksi E cam UD ve epoksi karbon UD olmak üzere deformasyon değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

ii) Kaplama malzemelerinin fiber açılarına göre deformasyonlara bakıldığında, üç kaplama malzemesi için de en yüksek deformasyonlar 0 derece fiber açısında yapılan analizlerde ortaya çıkmıştır.

iii) 50 g olarak uygulanan ivme değerine göre 100 g ivme değerinde deformasyon değerlerinde artış meydana gelmiştir.

iv) Güvenlik faktörüne bakıldığında kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça kütle artışı meydana gelir ve güvenlik faktörleri düşer.

v) Tsai-Wu kriterine göre yapılan analizlerde malzemenin kırılma kriteri 1'in altında olduğu görülmüş ve malzemenin güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplanan kompozit malzemenin fiber açısı 90 derece olduğunda malzeme daha güvenli çıkmıştır, fiber açısı 0 derece olduğu durumda ise daha az güvenli çıkmıştır.

Yapılan analiz sonuçlarına göre model üzerine 100 g'lik ivme uygulandığında iki kat malzeme için sonuçları şöyle sıralamak mümkündür;

i) Kaplanan malzeme türüne göre önceki analiz sonuçlarında olduğu gibi en fazla deformasyon epoksi S cam UD malzeme sonuçlarında görülmüştür, sonrasında sırasıyla epoksi E cam UD ve epoksi karbon UD olmak üzere deformasyon değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.
ii) 100 G ivme uygulanarak tek kat malzeme kaplanarak yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında her malzeme tipi için iki kat kaplama sonuçlarında deformasyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.
iii) Tsai-Wu kriterine göre yapılan analizlerde malzemenin kırılma kriteri 1'in altında olduğu görülmüş ve malzemenin güvenli olduğu sonucuna varılmıştır.
iv) Kaplanan kompozit malzemenin fiber açısı 90 derece olduğunda malzeme daha güvenli çıkmıştır, fiber açısı 0 derece olduğu durumda ise daha az güvenli çıkmıştır.

Hasar kriteri değerlerine bakıldığında, hasar kriteri en büyük değere 100 g'de ulaşmıştır. Malzemelere bakılacak olduğunda hasar kriteri değerleri, maksimum 0,719 değeri ile epoksi E cam malzeme, sonrasında sırayla 0,718 ile epoksi korbon ve 0,699 ile epoksi S cam malzemede görülmüştür.

Analiz sonuçları göstermektedir ki; malzeme özelliklerine bağlı olarak her bir parametre analiz sonuçlarına etki etmektedir. Kompozit malzeme kullanılarak yapılan analizlerde, malzeme üzerinde oluşan deformasyonların gözle görülür şekilde düşmesi bizlere konpozit malzemenin önemini bir kez daha göstermiştir.

Ayrıca kompozit malzemelerin faklı davranışlar göstermesinin neticesi olarak bu özellikler malzeme üzerinde kompozit olarak kullanılacak bölgelerin bölümlere ayrılarak, malzemenin gösterdiği karakteristiğe göre de ilgili bölgede kullanım olanağı sağlamaktadır.

Bir diğer çıkarılan sonuç ise, kompozit malzemelerin farklı karakteristik göstermesi neticesinde, kullanılması planlanan malzemenin, model üzerindeki yere bağlı olarak çok daha fazla araştırılması ve analiz yapılması gerekliliğidir.

Analiz sonuçlarında yüksek g değerlerinde bile kompozit malzemelerin ne kadar dayanıklı olduğu ve daha çok alanda kullanımının yaygınlaştırılması gerektiği görülmüştür. İHA yatay uçuşta kendi ağırlığını taşırken 1 g'lik taşıma kuvvetine maruz

kalır, biz 50 g ve 100 g’de analizler yaptığımız için sonuçların çok aşırı manevra veya sert iniş durumundaki yüklemelere karşılık geldiği kabul edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Kong C., Bang J., Sugiyama Y., (2005), "Structural Investigation of Composite Wind Turbine Blade Considering Various Load Cases and Fatigue Life", Energy, 30, 2101-2114.

[2] Bechly M.E., Clausen P.D., (1997), "Structural Design of a Composite Wind Turbine Blade Using Finite Element Analysis", Computers & Structures, 63, 639-646.

[3] Avcı B., Yılmaz T.B., (2012), "Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi", Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

[4] Gülbahar Ö., (2015), "Karayel İnsansız Hava Aracının Statik Ve Dinamik Analizleri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[5] Vardar A. ve Eker B., (2004), "Trakya Yöresinde Kırsal Kesimde Kurulacak Bir Rüzgar Türbini İçin En Uygun Kanat Tipinin, Kanat Açısının ve Kanat Konumunun Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma", Proje No: TOGTAG 26-37, TÜBİTAK.

[6] Scherer R., (1999), "Blade Design Aspects", Renewable Energy, 16, 1272-1277.

[7] Habali S.M., Saleh I.A., (2000), "Local Design, Testing and Manufacturing of Small Mixed Airfoil Wind Turbine Blades of Glass Fiber Reinforced Plastics Part I: Design of the Blade and Root", Energy Conversion & Management, 41, 249-280.

[8] Habali S.M., Saleh I.A., (2000), "Local Design, Testing and Manufacturing of Small Mixed Airfoil Wind Turbine Blades of Glass Fiber Reinforced Plastics Part II: Manufacturing of Blade and Rotor", Energy Conversion & Management, 41, 281-298.

[9] Yang J., Peng C., Xiao J., Zeng J., Xing S., Jin J., Deng H., (2013), "Structural İnvestigation Of Composite Wind Turbine Blade Considering Structural Collapse İn Full-Scale Static Tests", Composite Structures, 97, 15-29.

[10] Grogan D.M., Leen S.B., Kennedy C.R., Bradaigh C.M., (2013), "Design of Composite Tidal Turbine Blades", Renewable Energy, 57, 151-162.

[11] Tseng Y.C., Kuo C.Y., (2011), "Engineering and Construction Torsional Responses of Glass-Fiber/Epoksi Composite Blade Shaft for a Small Wind Turbine", Procedia Engineering, 14, 1996-2002.

[12] Uysal A., (2008), "Rüzgar Türbini Kanat Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[13] Shokrieh M.M., Rafiee R., (2006), "Simulation of Fatigue Failure in a Full Composite Wind Turbine Blade", Composite Structures, 74, 332-342.

[14] Chen X., Zhao W., Zhao X.L., Xu J.Z., (2014), "Preliminary Failure Investigation of a 52.3 m Glass/Epoksi Composite Wind Turbine Blade", Engineering Failure Analysis, 44, 345-350.

[15] Kahveci M., Can N., (2017), "İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada Ve Türkiye'deki Yasal Durumu", Selçuklu Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5, 511-535.

[16] Web 1, (2012) https://www.academia.edu/ 2004387 / %C4 % B0nsans %C4%B1z_Hava_Arac%C4%B1_Sistemleri_G%C3%B6ky%C3%BCz%C3%BCn%C3%BCn_Yeni_Y%C4%B1rt%C4%B1c%C4%B1_Ku%C5%9Flar%C4%B1, (Erişim Tarihi: 10/08/2021).

[17] Akyürek S., Yılmaz M. A., Taşkıran M., (2012), "İnsansız Hava Araçları, Muharebe Alanında ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm", Rapor No:53, BİLGESAM, Türkiye.

[18] Yeşilay R.B., Macit A., (2020), "Dünyada ve Türkiye'de Drone Ekonomisi: Geleceğe Yönelik Beklentiler", Beykoz Akademi Dergisi, 8(1), 239-251.

[19] Özcan O., Bilge D., Demir Akay S.S., (2019), "İHA araçları ve Yer Bilimleri Kitabı", 9876052887554, Gece Akademi.

[20] Web 2, (2021), http://robot.meb.gov.tr/yukleme/robot2020/uygulama_kilavuzu, (Erişim Tarihi: 10/08/2021).

[21] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, (2016), "İnsansız Hava Aracı Talimatı (SHT-İHA)''.

[22] ElKholy H.M.N., (2014), "Dynamic Modeling and Control of a Quadrotor Using Linear and Nonlinear Approaches", Yüksek Lisans Tezi, The American University In Cairo.

[23] Web 3, (2016), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs /1608914423__ satm-bb-17-0200-sektor-raporlari-iha-260417.pdf?, (Erişim Tarihi: 10/08/2021).

[24] Comert R., Şenkal E., Avdan U., (2012), "İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler", IV.Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Sf. 5, Zonguldak, 16-19 Ekim.

[25] Aras B.B., (2021), "Kentsel/Çevresel Sorun Kapsamında İklim Değişikliği İle Mücadelede Yeni Bir Yöntem: İnsansız Hava Aracı (İHA)", İdeal Kent Dergisi, 12, 242-267.

[26] Caner E., (2013-2014), "İnsansız Hava Araçları", Millî Güvenlik ve Askerî Bilimler Dergisi, 1, 213-240.

[27] Web 4 (2015), https://docplayer.biz.tr/12475078-Sakarya-meslek-yuksekokulu-makina-ve-metal-teknolojileri-bolumu-metalurji-programi-kompozit-malzemeler-ders-notu.html, (Erişim Tarihi: 10/08/2021).

[28] Web 5, (2021), https://www.muhendisbeyinler.net/kompozit-malzemeler-ve-kullanim-alanlari/, (Erişim Tarihi: 10/08/2021).

[29] Vatangül E., (2008), "Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Ansys 10 Programı İle Isıl Gerilme Analizi" Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

[30] Web 6, (2020), https://arkipedia.net/kompozit-malzemelerin-ozellikleri-ve-siniflandirilmasi/, (Erişim Tarihi: 10/08/2021).

[31] Web 7, (2017), https://www.serdarkorkut.com /2017/01/22/ kompozit-malzemeler/, (Erişim Tarihi: 10/08/2021).

[32] Kaw A., (2006), ''Mechanics of Composite Materials", 978049313431, Taylor & Francis Group.

[33] Web 8, (2021), https://tolgakaranfil.webnode.com.tr/ products/kompozit-malzemeler%2Cs%C4%B1n%C4%B1fland%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1-ve-uretimi/, (Erişim Tarihi: 10/08/2021).

[34] Web 9, (2021), http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/1019-termoplastik-ve-termoset-plastikler, (Erişim Tarihi: 15/08/2021).

[35] Web 10, (2018), http://accluster.com/kompozit-malzemelerin-yapisi/, (Erişim Tarihi: 15/08/2021).

[36] Bodur M.S., (2016), "Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerde Lif / Matris Ara Yüzey İyileştirme Çalışmaları Ve Çevresel Koşullara Göre Karakterizasyonu", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[37] Web 11, (2017), https://www.ceylankompozit.com/tr/%C3%BCretimde- kullan%C4%B1lan-malzemeler~33, (Erişim Tarihi: 16/08/2021).

[38] Web 12, (2013), http://teknikbil.blogspot.com/2013/11/polimer-malzemeler-ve-ozellikleri.html, (Erişim Tarihi: 16/08/2021).

[39] Web 13, (2020), https://nanokar.com/blog/makale / Nanokompozit- Nedir-Kullanim-Alanlari-165.html, (Erişim Tarihi: 16/08/2021).

[40] Sönmez M., (2009), "Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi Ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[41] Web 14, https://www.kompozit.org.tr/wp-content /uploads/2018/11/CTP_Teknolojisi.pdf, (Erişim Tarihi: 16/08/2021).

[42] Web 15, http://kompozithayalleri.com/kompozit-malzemelerin-kullanim-alanlari/, (Erişim Tarihi: 16/08/2021).

[43] Web 16, (2021), https://kompozitkimya.com.tr/kompozit-nedir/, (Erişim Tarihi: 16/08/2021).

[44] Günay Ö., (2019), "Statik Yükler Altinda Bir A320 Uçak Kanadinin Kompozit Malzemeler İle Tasarimi Ve Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi.

[45] Web 17, (2018), https://www.ceyrekmuhendis.com/sonlu-elemanlar-analizi-nedir/, (Erişim Tarihi: 18/08/2021).

[46] Web 18, (2021), https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php /2021/08/04/havacilik - sektorunde - kompozit-malzeme - kullanimi/, (Erişim Tarihi: 18/08/2021).

[47] Web 19, (2021), https://www.tusas.com/urunler/İHA/operatif-stratejik-İHA-sistemleri/anka, (Erişim Tarihi: 20/08/2021).

[48] Web 20, (2021), https://www.militaryfactory.com/, (Erişim Tarihi: 20/08/2021).

[49] Web 21, (2021), https://www.aircraftnerds.com/2016/06/ aircraft-wing-configuration.html, (Erişim Tarihi: 25/08/2021).

[50] Web 22, (2021), https://tr.esc.wiki/wiki/NACA_airfoil, (Erişim Tarihi: 25/08/2021).

[51] Cevahir T., (2012), "Naca0012 Kanat Profili Etrafındaki Hava Akışının Sayısal Ve Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.

[52] Kılıç E., (2006), "Kompoz_T Malzemeden Yapılan Yaprak Yayların Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

[53] William G. Roeseler, Branko Sarh, Max U. Kismarton, (2007), "Composıte Structures: The Fırst 100 Years", 16th Internatıonal Conference On Composıte Materıals, 1, Japan, 9 July.

[54] Web 23, (2021), https://www.marketsandmarkets.com/ Market- Reports/aerospace -composites-market-246663558.html#tab_default_2, (Erişim Tarihi: 24/12/2021).

[55] Web 24, (2021), http://help.solidworks.com/2019/turkish/SolidWorks/cworks/c_Factor_of_Safety_Check.htm?id=0196dd2890c54bfb9fde65b9a4df654b#Pg0, (Erişim Tarihi: 24/12/2021)

.

[56] Web 25, (2021), https://www.sezercoban.com/mekanik-tasarimda-emniyet-katsayisi/,(Erişim Tarihi: 24/12/2021).

[57] Sağlam E., (2018), “Kompozit Bir İnsansız Hava Aracı Kanadının Tasarım Ve Analizi”, Bitirme Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[58] Mazumdar, S. K., (2001), “Composites Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering”, 0849305853, CRC Press LLC.

[59] Web 26, (2021), https://www.kozmikanafor.com/g-kuvveti-nedir/, (Erişim Tarihi: 24/12/2021).

[60] Web 27, (2006), https://web.itu.edu.tr/yukselen/UCK111/UCK111_Index.htm, (Erişim Tarihi: 24/12/2021).

[61] Web 28, (2021), https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nsans%C4%B1z_hava_arac%C4%B1, (Erişim Tarihi: 24/12/2021).

[62] Web 29, (2021), http://help.solidworks.com/2019/turkish/SolidWorks/cworks/c_Composite_Failure_Criteria.htm, (Erişim Tarihi: 24/12/2021).

EKLER

EK A: KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ

Şekil A1.1'de Polistiren köpük malzeme özellikleri verilmiştir.

Yoğunluk	2,99 x 10^{-8} kg/ mm³
İzotropik Elastikiyet	
Young Modülü	9,3300 MPa
Poisson Oranı	0,274
Toplu Modül	6,8805 MPa
Kesme Modülü	3,6617 MPa
Termal Genleşmenin İzotropik Sekant Katsayısı	5,92 x 10^{-5} 1/°C
Çekme NİHAi Mukavemet	0,37900 MPa
İzotropik Termal İletkenlik	3,29 x 10^{-5} W/mm·°C
Özgül Isı Sabit Basınç	1,21 x 10^{6} mJ/kg·°C
İzotropik Direnç	3,16 x 10^{15} ohm·mm

Şekil A1.1: Polistiren Köpük Malzeme Özellikleri.

Şekil A1.2 ve Şekil A1.3'te Epoksi karbon UD 230 GPa prepreg malzeme özellikleri verilmiştir.

Yoğunluk	1,49 x 10^{-6} kg/mm³
Ortotropik Elastikiyet	
Young Modülü X yönü	1,21 x 10^{5} MPa
Young Modülü Y yönü	8600,0 MPa
Young Modülü Z yönü	8600,0 MPa
Poisson Oranı XY	0,27
Poisson Oranı YZ	0,4
Poisson Oranı XZ	0,27
Kesme Modülü XY	4700,0 MPa
Kesme Modülü YZ	3100,0 MPa
Kesme Modülü XZ	4700,0 MPa
Ortotropik Gerilme Limitleri	
Çekme X yönü	2231,0 MPa
Çekme Y yönü	29,000 MPa
Çekme Z yönü	29,000 MPa
Basınç X yönü	-1082,0 MPa
Basınçlı Y yönü	-100,00 MPa
Basınçlı Z yönü	-100,00 MPa
Kesme XY	60,000 MPa
Kesme YZ	32,000 MPa
Kesme XZ	60,000 MPa
Ortotropik Gerinim Limitleri	
Çekme X yönü	0,0167
Çekme Y yönü	0,0032
Çekme Z yönü	0,0032
Basınç X yönü	-0,0108
Basınç Y yönü	0,0192
Basınç Z yönü	-0,0192
Kesme XY	0,012
Kesme YZ	0,011
Kesme XZ	0,012
Tsai-Wu Sabitleri	
Birleştirme Katsayısı XY	-1
Birleştirme Katsayısı YZ	-1
Birleştirme Katsayısı XZ	-1

Şekil A1.2: Epoksi karbon UD 230 GPa prepreg malzeme özellikleri.

Puck Sabitleri	
Malzeme Sınıflandırması	Karbon
Basınç Eğimi XZ	0,3
Basınç Eğimi YZ	0,25
Çekme Eğimi XZ	0,35
Çekme Eğimi YZ	0,25
Termal Genleşmenin Ortotropik Sekant Katsayısı	
Termal Genleşme Katsayısı X yönü	$-4{,}7 \times 10^{-7}$ 1/°C
Termal Genleşme Katsayısı Y yönü	3×10^{-5} 1/°C
Termal Genleşme Katsayısı Z yönü	3×10^{-5} 1/°C
Tabaka Tipi	
Kaynak	ACP
Tip	Normal
Ek Puck Sabitleri	
Arayüzey Zayıflama Faktörü	0,8
Bozulma Parametresi s	0,5
Bozulma Parametresi M	0,5

Şekil A1.3: Epoksi karbon UD 230 GPa prepreg malzeme özellikleri.

Şekil A1.4 ve Şekil A1.5'te Epoksi E cam UD malzeme özellikleri verilmiştir.

Yoğunluk	2 x 10^{-6} kg/mm³
Ortotropik Elastikiyet	
Young Modülü X yönü	45000 MPa
Young Modülü Y yönü	10000 MPa
Young Modülü Z yönü	10000 MPa
Poisson Oranı XY	0,3
Poisson Oranı YZ	0,4
Poisson Oranı XZ	0,3
Kesme Modülü XY	5000,0 MPa
Kesme Modülü YZ	3846,2 MPa
Kesme Modülü XZ	5000,0 MPa
Ortotropik Gerilme Limitleri	
Çekme X yönü	1100,0 MPa
Çekme Y yönü	35,000 MPa
Çekme Z yönü	35,000 MPa
Basınç X yönü	-675,00 MPa
Basınç Y yönü	-120,00 MPa
Basınç Z yönü	-120,00 MPa
Kesme XY	80,000 MPa
Kesme YZ	46,154 MPa
Kesme XZ	80,000 MPa

Şekil A1.4: Epoksi E cam UD malzeme özellikleri.

Ortotropik Gerinim Limitleri	
Çekme X yönü	0,0244
Çekme Y yönü	0,0035
Çekme Z yönü	0,0035
Basınç X yönü	-0,015
Basınç Y yönü	-0,012
Basınç Z yönü	-0,012
Kesme XY	0,016
Kesme YZ	0,012
Kesme XZ	0,016
Tsai-Wu Sabitleri	
Birleştirme Katsayısı XY	-1
Birleştirme Katsayısı YZ	-1
Birleştirme Katsayısı XZ	-1
Puck Sabitleri	
Malzeme Sınıflandırması	Cam
Basınç Eğimi XZ	0,25
Basınç Eğimi YZ	0,2
Çekme Eğimi XZ	0,3
Çekme Eğimi YZ	0,2
Tabaka Tipi	
Kaynak	ACP
Tip	Normal
Arayüzey Zayıflama Faktörü	0,8
Bozulma Parametresi s	0,5
Bozulma Parametresi M	0,5

Şekil A1.5: Epoksi E cam UD malzeme özellikleri.

Şekil A1.6 ve Şekil A1.7'te Epoksi S cam UD malzeme özellikleri verilmiştir.

Yoğunluk	2 x 10^{-6} kg/mm³
Ortotropik Elastikiyet	
Young Modülü X yönü	50000 MPa
Young Modülü Y yönü	8000,0 MPa
Young Modülü Z yönü	8000,0 MPa
Poisson Oranı XY	0,3
Poisson Oranı YZ	0,4
Poisson Oranı XZ	0,3
Kesme Modülü XY	5000,0 MPa
Kesme Modülü YZ	3846,2 MPa
Kesme Modülü XZ	5000,0 MPa
Ortotropik Gerilme Limitleri	
Çekme X yönü	1700,0 MPa
Çekme Y yönü	35,000 MPa
Çekme Z yönü	35,000 MPa
Basınç X yönü	-1000,0 MPa
Basınç Y yönü	-120,00 MPa
Basınç Z yönü	-120,00 MPa
Kesme XY	80,000 MPa
Kesme YZ	46,154 MPa
Kesme XZ	80,000 MPa

Şekil A1.6: Epoksi S cam UD malzeme özellikleri.

Ortotropik Gerinim Limitleri	
Çekme X yönü	0,0244
Çekme Y yönü	0,0035
Çekme Z yönü	0,0035
Basınç X yönü	-0,015
Basınç Y yönü	-0,012
Basınç Z yönü	-0,012
Kesme XY	0,016
Kesme YZ	0,012
Kesme XZ	0,016
Tsai-Wu Sabitleri	
Birleştirme Katsayısı XY	-1
Birleştirme Katsayısı YZ	-1
Birleştirme Katsayısı XZ	-1
Puck Sabitleri	
Malzeme Sınıflandırması	Cam
Basınç Eğimi XZ	0,25
Basınç Eğimi YZ	0,2
Çekme Eğimi XZ	0,3
Çekme Eğimi YZ	0,2
Tabaka Tipi	
Kaynak	ACP
Tip	Normal
Arayüzey Zayıflama Faktörü	
Bozulma Parametresi s	0,8
Bozulma Parametresi M	0,5
Kaynak	0,5

Şekil A1.7: Epoksi S cam UD malzeme özellikleri.

Ek B: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Yılmaz İlaslan A. G., Kandemir İ., (2021) ‘’Kanat Gönde Tipindeki Bir İnsansız Hava Aracının Yapısal Tasarımı ve Analizi’’1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS 2021), 28, 75-780, Türkiye, 1-3 Kasım.

ÖZGEÇMİŞ

Aybuke Gökçen YILMAZ İLASLAN 2011 yılında başladığı İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2015 yılında başarıyla tamamlayarak 2018 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2019 yılından bu yana Sistem Teknik Sanayi Fırınları A.Ş'de Kalite Mühendisi olarak çalışmaktadır.