

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİCARİ ARAÇLARDA METAL ÖZÜRLÜ
RAMPASI YERİNE KOMPOZİT ÖZÜRLÜ
RAMPASI KULLANIMI

Engin Barış TAVUKÇU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİCARİ ARAÇLARDA METAL ÖZÜRLÜ
RAMPASI YERİNE KOMPOZİT ÖZÜRLÜ
RAMPASI KULLANIMI

Engin Barış TAVUKÇU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Hasan KURTARAN

GEBZE
2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14.01.2010 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Engin Barış TAVUKÇU'nun tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Hasan KURTARAN

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali ARSLAN

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Yahya Kemal TÜR

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

**TEZİN BAŞLIĞI : TİCARİ ARAÇLARDA METAL ÖZÜRLÜ
RAMPASI YERİNE KOMPOZİT ÖZÜRLÜ RAMPASI
KULLANIMI**

YAZAR ADI : ENGİN BARIŞ TAVUKÇU

Bu tez çalışmasında ticari bir aracın rampası, sac yerine kompozit malzemeden tasarlanmış ve bu yeni modelin çalışma şartlarında gerekli koşulları sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir. Burada birincil amaç rampayı hafifletmektir. Bunun için ilk olarak, dış tabakaları cam elyafı takviyeli kompozit malzemeden ve çekirdek kısmı bal peteğinden oluşan sandviç yapılı kompozitin sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Sayısal analizler için ANSYS 12.0 sonlu eleman yazılımı kullanılmıştır. Daha sonra cam elyafı yerine karbon elyafı takviyeli dış tabakadan oluşan yeni model üzerinde sonlu elemanlar analizi uygulanmıştır. Sandviç yapıda çekirdek malzemenin mekanik özellikleri üretici firmadan alınmıştır. Kompozit dış kabukların mekanik özellikleri ise; çekme testi sonuçları ve ilgili matematik formülasyonların ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada rampa modelinin optimizasyon analizi yapılmıştır. Optimizasyon analizi sonuçları, daha sonra yapılan eşdeğer model analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların genel anlamda uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

SUMMARY

THESIS TITLE : USING COMPOSITE RAMP INSTEAD OF METAL RAMP IN COMMERCIAL VEHICLES

AUTHOR NAME : ENGİN BARIŞ TAVUKÇU

In this thesis, a ramp which is used in commercial vehicles has been designed as composite material instead of sheet metal and has been investigated to fulfill the requirements in its working conditions. Primary goal is to lighten the ramp. To achieve this goal, first a sandwich composite whose faces are made of short, randomly oriented, glass fiber-reinforced composite and cores are honeycomb has been analyzed. In finite element analysis, ANSYS 12.0 finite element program has been used. After analyzing first model, second model whose faces are made of carbon fiber-reinforced composite instead of glass fiber has been analyzed. The mechanical properties of honeycomb material and composite faces have been got from the manufacturer and tensile testing machine.

Besides in this thesis, an optimization analysis of ramp model has been conducted. A comparison has been made between optimization analysis results and equivalent model analysis results. It has been observed that the comparison results are similar.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bana destek olan ve yol gösteren değerli danışmanım Yrd.Doç.Dr. Hasan KURTARAN'a teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkısı bulunan sevgili arkadaşlarım Sn. Veysel ÇATALTEPE, Sn. Özgür UYAR ve Sn. Cengiz ŞAHİN'e teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam esnasında, çeşitli imkanlarını kullanmama izin veren Anadolu ISUZU Otomotiv Sanayi A.Ş'ine teşekkür ederim. Son olarak bu günlere gelmemde en büyük paya sahip olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xv
 1. GİRİŞ	 1
 2. TİCARİ ARAÇ ÖZÜRLÜ RAMPASI	 2
2.1. Giriş	2
2.2. Özürlü Rampası Nedir	3
2.3. Rampa ve Rampa Kullanımı ile İlgili Regülasyonlar	5
 3. KOMPOZİT MALZEMELER	 6
3.1. Kompozit Malzemelere Giriş	6
3.1.1. Polimer Kompozitler	6
3.1.2. Metal Kompozitler (Metal Matrisli Birleşik Malzemeler – MMC)	7
3.1.3. Seramik Kompozitler (Seramik Matrisli Birleşik Malzemeler– CMC)	7
3.1.4. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	8
3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	9
3.3. Kompozit Malzeme Temel Yapım Elemanları	10
3.3.1. Matris	11
3.3.2. Fiber	15
3.4. Kompozit Malzemelerin Elastik Davranışı	22
3.4.1. Tek Yönlü Kompozit Malzemelerin Elastik Davranışı	23
3.4.2. Rast Gele Dağılmış Kısa Fiberlerle Desteklenmiş Kompozit Malzemenin Elastik Davranışı	28
3.5. Bal Peteği (Honey Comb) Kompozit Malzemeler	30
3.5.1. Bal Peteği Geometrisi	30
3.5.2. Bal Peteği Üretim Yöntemleri	31

4. METOD	33
4.1. Mevcut Rampa Yapısı	33
4.2. Sandviç Yapılı Kompozit Rampanın Modellenmesi	34
4.2.1. I-Kiriş Modeli	34
4.2.2. Bal Peteği 3D Modellenmesinde Kullanılan Farklı Yaklaşımlar	37
4.2.3. Sandviç Yapılı Kompozit Rampanın 3D Modellenmesi	38
4.3. Sonlu Elemanlar Modeli	39
4.3.1. Sandviç Yapılı Kompozit Rampanın Sonlu Elemanlar Modellemesi	41
4.3.2. Yük ve Sınır Koşulları	42
4.3.3. Sonlu Elemanlar Ağı	43
4.3.4. Malzeme Özellikleri	44
4.3.5. Cam Elyaf Takviyeli Tabaka & PP Bal Peteği Hücre Analiz Sonuçları	56
4.3.6. Karbon Elyaf Takviyeli Tabaka & PP Bal Peteği Hücre Analiz Sonuçları	57
5. RAMPA OPTİMİZASYONU	64
5.1. Optimizasyon Nedir	64
5.1.1. Optimizasyon Adımları	65
5.2. Özürlü Rampası Optimizasyonu	66
5.3. Optimizasyon Sonuçlarının Eşdeğer Model Analizi İle Karşılaştırılması .	76
5.3.1. Eşdeğer Model Sonlu Elemanlar Analizi	76
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	93
EKLER	
Ek 1- Cam Elyaf Takviyeli Modelde Alt Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	
Ek 2- Cam Elyaf Takviyeli Modelde Üst Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	
Ek 3- Cam Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdek Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	
Ek 4- Cam Elyaf Takviyeli Alt Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri	
Ek 5- Cam Elyaf Takviyeli Üst Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri	
Ek 6- Cam Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdekte Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri	
Ek 7- Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Alt Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	
Ek 8- Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Üst Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	
Ek 9- Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdek Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	

Ek 10- Karbon Elyaf Takviyeli Alt Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

Ek 11- Karbon Elyaf Takviyeli Üst Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

Ek 12- Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdekte Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

Ek 13- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Alt Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi

Ek 14- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Üst Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi

Ek 15- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdek Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi

Ek 16- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Alt Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

Ek 17- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Üst Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

Ek 18- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdek Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

W_f	: Fiber Ağırlık Oranı
W_m	: Matris Ağırlık Oranı
ρ_f	: Fiber Özgül Ağırlığı
ρ_m	: Matris Özgül Ağırlığı
E	: Elastisite Modülü
E_1	: Fiber Yönünde Elastisite Modülü
E_2	: Fiberlere Dik Yönde Elastisite Modülü
E_f	: Fiber Elastisite Modülü
E_m	: Matris Elastisite Modülü
E_c	: Kompozit Elastisite Modülü
ε_f	: Fiberin Uzaması
ε_m	: Matris Uzaması
ε_c	: Kompozitin Uzaması
P_f	: Fiber Yüğü
P_m	: Matris Yüğü
P_c	: Kompozit Yüğü
σ_f	: Fiberde Oluşan Gerilme
σ_m	: Matrisde Oluşan Gerilme
σ_c	: Kompozitde Oluşan Gerilme
V_f	: Fiber Ağırlık Oranı
V_m	: Matris Ağırlık Oranı
G_{12}	: Kayma Modülü
G_f	: Fiber Kayma Modülü
G_m	: Matris Kayma Modülü
ν_{12}	: Fiber Yönünde Poisson Oranı
ν_{21}	: Fiberlere Dik Yönde Poisson Oranı
ν_f	: Fiber Poisson Oranı
ν_m	: Matris Poisson Oranı

E_{11}	: Voigt Modelindeki E_c
E_{22}	: Reuss Modelindeki E_c
σ_x	: Eğilme Gerilmesi
M	: Eğilme Momenti
Y	: Tarafsız Eksenden Uzaklık
I_x	: Tarafsız Eksene Göre Atalet Momenti
EI	: Eğilme Rijitliği
R	: Eğrilik Yarıçapı
D	: Sanviç Kiriş İçin Eğilme Rijitliği
T	: Kalınlık
L	: Uzunluk
W	: Genişlik
ρ	: Yoğunluk
σ_a	: Akma Mukavemeti

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2-1 Örnek Sınıf -I Otobüs (Anadolu ISUZU CITIMARK Belediye Otobüsü)	2
2-2 Örnek Bir Özürlü Lifti (Anadolu ISUZU CITIMARK Belediye Otobüsü)	4
2-3 Örnek Bir Özürlü Rampası	4
3-1 Cam Elyaf Üretimi [Cam Elyaf,1997]	16
3-2 Elyaf Malzemelerin ve Epoksi Matrisin Gerilme-Uzama Diyagramı	21
3-3 E Camının Maliyeti [Hexcel]	21
3-4 (a) Tek Yönlü Bir Elyaf & (b) Dokuma Tip Elyaf [Hexcel]	22
3-5 Örnek Bir Tabakalı Kompozit Dizilimi [Hexcel]	23
3-6 E ₁ İçin Model	23
3-7 E ₂ İçin Model	25
3-8 Sandviç Kompozit Yapı	31
3-9 Uzatarak Şekil Verme Yöntemi	32
3-10 Kıvrılarak Şekil Verme Yöntemi	32
4-1 Rampanın CAD Modeli ve Araç Üstünde Uygulaması	33
4-2 Mevcut Rampa Yapısı	34
4-3 Dikdörtgen Kesitli Kiriş	36
4-4 Sandviç Kiriş Modeli	36
4-5 Bal Peteği Modelleme Yöntemleri [Boria, S. And Prof. Forasassi, G. 2007]	38
4-6 Bal Peteği Ana Ölçüleri [Boria, S. And Prof. Forasassi, G. 2007]	38
4-7 Bal Peteği Parametreleri ve CATIA Modeli	39
4-8 Sonlu Elemanlar Metodu	40
4-9 Bal Peteği Çekme ve Kayma Testi	41
4-10 Özürlü Rampası Üzerine Yük Uygulanması	42
4-11 Özürlü Rampası Sınır Koşulları	43
4-12 Sonlu Eleman Ağı Oluşturulmuş Rampa Modeli	44
4-13 Bazı Termoplastik Malzemelerin Darbe Dayanımları	45
4-14 Bazı Termoplastik Malzemelerin Sürünme Eğrileri	46
4-15 Bazı Termoplastiklerin Sıcaklık Dayanımları	47
4-16 Çekme Testi Numune Parçası [14]	49
4-17 İmal Edilen Cam Elyaf Takviyeli Çekme Testi Numune Parçaları	50
4-18 Çekme Testi Cihazı	50

4-19 Çekme Testi Cihazı -2	51
4-20 Çekme Testi Uygulaması	51
4-21 Gevrek Kırılmaya Uğramış Cam Elyaf Katkılı Test Numuneleri	52
4-22 Elastisite Modülünü Bulmakta Kullanılan Çeşitli Modellerin Karşılaştırılması	52
4-23 Cam Elyaf Takviyeli Numune AIOS Çekme Testi Raporu	54
4-24 Cam Elyaf Takviyeli Numune AIOS Çekme Testi Bilgisayar Çıktısı	55
4-25 Cam Elyaf Takviyeli Komple Modelin "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	56
4-26 Cam Elyaf Takviyeli Komple Modelde Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri	57
4-27 Karbon Elyaf Takviyeli Çekme Testi Numunesi	58
4-28 Karbon Elyaf Takviyeli Numunenin Çekilmesi	58
4-29 Karbon Elyaf Takviyeli Numune AIOS Çekme Testi Raporu	60
4-30 Karbon Elyaf Takviyeli Numune AIOS Çekme Testi Bilgisayar Çıktısı	61
4-31 Karbon Elyaf Takviyeli Komple Modelin "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	62
4-32 Karbon Elyaf Takviyeli Komple Modelde Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri	62
5-1 Optimizasyon Eğrisi	64
5-2 Dizayn Noktaları, Eğrisi ve Uygulama Akış Şeması	66
5-3 Dizayn Kısıtları	67
5-4 Dizayn Değişkenlerinin Amaç Fonksiyonuna Etkileri	68
5-5 Amaç Fonksiyonu & Dizayn Değişkenleri	69
5-6 Amaç Fonksiyonu & Dizayn Değişkenleri -2	70
5-7 Dizayn Değişkenleri & Optimizasyon Kısıtları Değişimi	71
5-8 Program Tarafından Belirlenen Aday Dizaynlar	73
5-9 Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Komple Modelin "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	75
5-10 Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Komple Modelde Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri	75
5-11 Bal Peteği Model ve Eşdeğer Modeli	76
5-12 SHELL91 Yüzey Elemanı [15]	76
5-13 Eşdeğer Model Yük ve Sınır Koşulları	77
5-14 Bal Peteği Eksen Takımı [Aydıncak, I. 2007]	78
5-15 Bal Peteği Detay [Aydıncak, I. 2007]	82
5-16 ANSYS de Orthotropik Malzeme Özelliklerinin Girilmesi	83

5-17 Karbon Elyaf Takviyeli Eşdeğer Modelin "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi	84
5-18 Karbon Elyaf Takviyeli Eşdeğer Modelde Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri	84

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3-1 Kompozit Yapısı [2]	7
3-2 Belli Başlı Termoplastik Matris Malzemeleri ve İşlem Sıcaklıkları [2]	14
3-3 Belli Başlı Elyaf Malzemelerinin Karşılaştırılması [3]	15
3-4 Cam Elyafların Mekanik Özellikleri [3]	18
3-5 Karbon Elyaf Sınıfları [3]	19
4-1 Bazı Plastiklerin Mekanik Özellikleri	45
4-2 Polyester Reçine Özellikleri	53
4-3 Cam Elyaf Takviyeli Numune Çekme Testi Sonuçları	53
4-4 Karbon Elyaf Takviyeli Numune Çekme Testi Sonuçları	59
4-5 Analiz Sonucu Oluşan Değerler	63
5-1 Optimizasyon Öncesi ve Sonrası Değerler	74
5-2 E_1 İçin Modeller	79
5-3 E_2 İçin Modeller	79
5-4 E_3 İçin Modeller	80
5-5 ν_{12} İçin Modeller	80
5-6 ν_{23} İçin Modeller	80
5-7 ν_{13} İçin Modeller	81
5-8 G_{12} İçin Modeller	81
5-9 G_{23} İçin Modeller	81
5-10 G_{13} İçin Modeller	82
5-11 Eşdeğer Model Orthotropik Malzeme Özellikleri	83

1.GİRİŞ

Günümüzde hem binek hem de ticari araçlarda geliştirilmeye çalışılan en önemli faktörlerin başında yakıt tüketimi gelmektedir. Yakıt tüketimini azaltmanın en kolay yollarından biri araç ağırlığını azaltmak olarak görülmektedir. Binek ve ticari araçlarda ağırlık azaltılması yakıt verimliliğini arttırdığı gibi bakım giderlerini de önemli ölçüde azaltmaktadır. Gelişen malzeme teknolojileri ile paralel olarak araçların ağırlıkları da seneler içinde azalmıştır. Görece hafiflik-yüksek mukavemet değerlerine sahip kompozit malzemeler yavaş yavaş geleneksel çelik ve alüminyum malzemelerin yerini almaktadır. Örnek olarak eskiden sac malzeme olarak üretilen tampon, ön-arka mask, klima kapama gibi parçalar; kompozit malzemelerin gelişimiyle birlikte kompozit olarak üretilmeye başlanmıştır.

Çeşitli araştırmalarda; ticari araç komponentlerinin sac yerine kompozit olarak üretilmesinin artı ve eksileri ortaya konmuştur. Bu çalışma ile ilk defa bir ticari araç (belediye otobüsü) özürlü rampasının kompozit olması durumundaki davranışları incelenmektedir. Bu çalışma esnasında rampanın sağlaması gereken kriterler, 2001/85/EC Regülasyonları göz önünde bulundurularak incelenmektedir.

Bölüm 2' de özürlü rampası ve neden böyle bir çalışmaya gerek duyulduğu ile ilgili bilgi verilmektedir. Bölüm 3'de genel olarak kompozit malzemeler tanıtılmakta, rampa malzemesi olarak seçilen bal peteği kompozit malzemeler hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Bölüm 4'de rampanın CAD modellemesi yapılarak, sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmektedir. Sonlu elemanlar analizinde kompozit mekanik bilgilerini elde etmek için, JIS K 7054 Japon Standardlarına uygun olarak hazırlanan test parçası çekme testine tabii tutulmaktadır. Daha sonra Bölüm 5'te rampa için optimizasyon analizi yapılmaktadır. Son bölümde ise yapılan çalışmalar özetlenmekte ve elde edilen optimum tasarımlar irdelenmektedir.

2.TİCARİ ARAÇ ÖZÜRLÜ RAMPASI

2.1. Giriş

Şu anki mevzuata göre, “Sürücü koltuğuna ilave olarak sekizden fazla koltuğu bulunan ve yolcu taşımak amacıyla kullanılan araçlar” , 2001/85/EC Avrupa Birliği Regülasyonlarına uymak zorundadırlar. 2001/85/EC ‘e göre ticari taşıma araçları üç farklı tipe ayrılmaktadır; [European Commission, 2001]

1. Sınıf I: Yolcunun sık sık yapacağı harekete imkan sağlamak üzere ayakta duran yolcular için alanları bulunan araçlar.
2. Sınıf II: Prensip olarak, oturan yolcuları taşımak için imal edilmiş ve geçit koridorunda ve/veya iki adet ikili koltuk için ayrılan alanı geçmeyen ayakta durma alanında ayakta duran yolcuların taşınmasına imkan sağlamak üzere tasarlanmış araçlardır.
3. Sınıf III: Sadece oturan yolcuları taşımak için imal edilmiş araçlar.



Şekil 2-1 Örnek Sınıf -I Otobüs (Anadolu ISUZU CITIMARK Belediye Otobüsü)

Bu çalışmada inceleyeceğimiz “Belediye Otobüsü” tipi araçlar, yukarıdaki tanımlamaya göre Sınıf I olarak değerlendirilirler. 2001/85/EC Regülasyonları, Sınıf-I araçlar için birçok zorunlu madde içermektedir. Bunlardan bazıları;

- Acil durum çıkış kapıları,
- Acil durum çıkış penceresi,
- Kurtarma kapağı,
- Geçit koridoru,
- Hareket engelli yolcu tertibatları,
- Tekerlekli sandalye kullanıcısı tertibatları,
- Öncelikli koltuk,
- Taşıta binmeyi kolaylaştırıcı tertibatlar,
- Lift,
- Rampa,

şeklinde. [European Commission, 2001]

2.2. Özürlü Rampası Nedir

2001/85/EC Regülasyonlarına göre, güçsüzlük veya sakatlık nedeni ile hareket edebilmek için tekerlekli sandalye kullanmak zorunda olan kişiler “tekerlekli sandalye kullanıcısı” olarak tanımlanmışlardır. Gene aynı regülasyonlar gereği tekerlekli sandalye kullanıcılarının Sınıf I tipi araçlara iniş ve binişlerini kolaylaştırmak amacı ile Lift veya Rampa kullanılması zorunlu tutulmuştur. Bu regülasyona göre;

- Lift: Yolcu bölümünün zemini ile yol zemini veya kaldırım arasında yolcu geçişini sağlayacak şekilde alçalıp yükselebilen platforma sahip tertibat veya sistem,

- Rampa: Yolcu bölümünün zemini ile yol zemini veya kaldırım arasındaki boşlukta köprü oluşturan bir tertibat, [European Commission, 2001]

olarak tanımlanmaktadırlar. Genel itibari ile lift kullanımı araç maliyetine daha fazla bir yük getirdiğinden rampa kullanımı çok daha yaygındır.



Şekil 2-2 Örnek Bir Özürlü Lifti (Anadolu ISUZU CITIMARK Belediye Otobüsü)



Şekil 2-3 Örnek Bir Özürlü Rampası

2.3. Rampa ve Rampa Kullanımı ile İlgili Regülasyonlar

Sınıf I tipi ticari araçlarda kullanılacak rampalar aşağıdaki regülasyonları sağlamalıdır; [European Commission, 2001]

- Rampa sadece araç durdurulduktan sonra çalıştırılabilecek şekilde olmalıdır.
- Dış kenarlar 2.5 mm den az olmayan bir eğrilik yarıçapında yuvarlatılmalıdır. Dış kısımdaki köşeler ise 5 mm den az olmayan bir eğrilik yarıçapında yuvarlatılmalıdır.
- Kullanıma hazır duruma getirilmiş halde iken, uzunluğu 1200 mm ‘i aşan herhangi bir rampaya tekerlekli sandalyenin hareket ederek kenarlardan düşmesini engelleyecek bir tertibat takılmalıdır.
- Rampa çalıştırmak için aşırı kuvvet gerektirmeyecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Rampa genişliği en az 800 mm olmalıdır. Rampanın eğimi, uzatıldığında veya 150 mm yüksekliğindeki bir kaldırıma açıldığında %12 ‘i aşmamalıdır.
- Rampa 300 kg yük ile güvenli bir şekilde çalışabilmelidir.

Bu tez çalışması içerisinde yukarıdaki regülasyonlardan en sondan iki tanesini kullanacağız. En sondan bir önceki regülasyon, rampa CAD datası oluşturulurken, en sonuncusu ise rampanın sonlu elemanlar modelini oluştururken ve optimizasyon analizi esnasında girdi olarak kullanılmaktadır.

3.KOMPOZİT MALZEMELER

Bu çalışma içinde kullanmayı düşündüğümüz yeni rampa modelimiz sandviç yapıya sahip olacaktır. Dış tabakalar kompozit yapıda, çekirdek kısmı ise bal peteği yapıda olacaktır. Bu nedenle, bu bölümde kompozit malzemeler hakkında bazı temel bilgiler verilmekte ve bazı temel kompozit teorileri anlatılmaktadır.

3.1. Kompozit Malzemelere Giriş

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Cam elyafli poliyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, otomobil lastikleri ve seramik metal karışımı olan sermentler bunlara örnektir.

Kompozit malzemelere en tipik örnek, bugün artık gelenekselleşmeye başlayan ve “Fiberglas” olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam elyaf ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak bugün ileri kompozitler grubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım (yüksek çekme ve basma dayanımları), yüksek elastisite modülü ve yüksek tokluğa sahiptirler. Fiberglas olarak adlandırılan kompozit tipi yanında metal ve seramik matrisli kompozit malzemelerde bulunmaktadır. [Arıcasoy, 2006]

3.1.1. Polimer Kompozitler

Liflerle pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanım alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon kevlar ve boron lifleri kullanılır. Polimer kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilir. [Arıcasoy, 2006]

3.1.2. Metal Kompozitler (Metal Matrisli Birleşik Malzemeler – MMC)

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMC' ler elde edilirler. MMC 'ler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskobu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılırlar. [Arıcasoy, 2006]

3.1.3. Seramik Kompozitler (Seramik Matrisli Birleşik Malzemeler– CMC)

Yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren uygulamalarda özel tip kompozit malzemeler kullanılır. Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir yada bir kaç beraber kullanılarak CMC ler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçaların imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir. [Arıcasoy, 2006]

Tablo 3-1 Kompozit Yapısı [Arıcasoy, 2006]

Matris Malzemeleri	Takviye Elemanları	Kompozit Yapının Şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Whiskers	Film-Folya
	Pudra	Honey-Combs (Bal Peteği)
	Yonga	Filaman Sarılmış Yapılar

3.1.4. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin genel avantajları şu şekilde sıralanabilir; [Cam Elyaf,1997]

- **Hafiflik:** Polimer kompozitler genelde $1,5 - 2 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundadır. Metal kompozitler, $2,5 - 4,5 \text{ gr /cm}^3$ olmakla beraber özelliklerde artış görülebilir. Seramik kompozitler ise her ikisi arasındadır.
- **Rijitlik ve Boyut Kararlılığı:** Genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterirler.
- **Yüksek Mekanik Özellikler:** Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları ağırlıklarına oranla yüksektir (Ağırlık/Mukavemet).
- **Yüksek Kimyasal Direnç:** Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir.
- **Yüksek Isı Dayanımı:** Kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastiklere göre yüksektir.
- **Elektriksel Özellikler:** Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre ayarlanabilir. Metal Matrisli Birleşik Malzemeler (MMC)'ler iletkenidir.

Kompozit malzemelerin genel dezavantajları ise şunlardır ;

- **Yüksek Maliyet:** Kompozit hammadde maliyetleri yüksektir.
- **Malzeme Kalitesi:** Malzeme kalitesi üretim yöntemlerine bağlı olduğundan çoğu zaman aynı kalitede ürün elde etmek güçtür.

- **Raf Ömrü:** Bazı kompozitlerin raf ömürleri çok sınırlıdır. Ayrıca soğutularak saklanmaları gerekir.

3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama şekli aşağıda verilmektedir. [Cam Elyaf,1997]

1. **Elyafli Kompozitler:** Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağ bozan olumsuz bir özelliktir.
2. **Parçacıklı Kompozitler:** Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde

seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler .

3. **Tabakalı Kompozitler:** Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler. Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler.
4. **Karma (Hibrid) Kompozitler:** Aynı kompozit yapıda iki yada daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafdır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafdır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitden iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemetide kevlar elyafı kompozitden daha yüksek olmaktadır.

3.3. Kompozit Malzeme Temel Yapım Elemanları

Kompozit malzemeler genel olarak matris, takviye ve katkı elemanlarının birleşiminden oluşurlar. [Arıcasoy, 2006]

3.3.1. Matris

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünüldüğünde yük bir yada birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur. [Arıcasoy, 2006]

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf yada matriste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

Matrisler termoset ve termoplastik olmak üzere iki çeşittirler.

3.3.1.1. Termoset Matrisler

Termoset esaslı matrisler, kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlardır. Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hal alır. Dondurucu içinde olmak şartı ile raf ömürleri 6 ila 18 ay arasında değişmektedir. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmezler. Aşağıda en yoğun kullanılan termoset matrisler ve özellikleri bulunmaktadır

1. **Polyesterler:** Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Katı, sıvı termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir. Katı polyesterler (LPET gibi) darbe dayanımlıdır. Kolay kullanım ve çok düşük maliyetleri avantajları arasındadır. Bunun yanında sertleşme sırasında yüksek oranda çekme, zehirli sitiren gazı yayma, orta mekanik özellikler ve kısa raf ömürleri dezavantajları arasındadır.
2. **Epoksiler:** Epoksi reçineleri bifenol A ile epiklorhidridin reaksiyon ürünü olup sertleştirici (katalist) ile karıştırıldığında adi sıcaklıkta veya fırınlama ile (70 – 90 derece) sonucu belli bir sürede sertleşir ve bir plastik görünümü alır. Önemli özellikleri olarak sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilmeleri, elektrik, ısı, kimyasal dirençleri ile mekanik özelliklerinin yüksek olması, hava şartlarından etkilenmemeleri gösterilebilir. İyi mekanik özellikler, suya dayanım, ıslakken 140 °C , kuru iken 220 °C ‘e kadar ısı dayanımı, sertleşme sırasında düşük oranda çekme gibi özellikleri, avantajları arasındadır.

Yüksek maliyet, cilde aşırı zararlı olması ve doğru karışımın son derece önemli olması gibi özellikleri ise dezavantajlarındandır.

3. **Fenolikler:** Katı ve sıvı türleri vardır. Ateşe dayanım ihtiyacı olan yerlerde kullanılır. Kür işleminin buharlaşma özelliği hava boşluklarının oluşmasına ve yüzey kalitesinin düşmesine neden olur. Uçakların iç bölümlerinde, deniz araçlarının motorlarında kullanılır. Yüksek ateş dayanımı, düşük maliyet avantajlarıdır. Yaş halde son derece zararlı olmaları, oldukça kırılğan olmaları ve düşük yüzey kaliteleri dezavantajları olarak sayılabilir.
4. **Poliüretanlar:** Bir izosiyanatla bir polialkolün oda sıcaklığında katılma polimerizasyonu ile elde edilen üretanlar daha çok köpük lastik (esnek ve rijit) yapımında kullanılırlar. Kimyasal direnci iyidir.
5. **Vinil Esterler:** Son derece yüksek kimyasal/çevre dayanımına sahiptirler. Mekanik özellikleri polyesterden daha yüksektir. Dezavantajları pahalı olmaları ve aşırı sitiren maddesi içermeleridir.
6. **Silikon:** Yüksek ateş dayanımı ve yüksek sıcaklıklarda ürün özelliklerini koruyabilmek gibi avantajları vardır.

3.3.1.2. Termoplastik Matrisler

Termoplastik polimer çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar, ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik, soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler.

Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar, bu onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler termosetlere kıyasla hammaddesi daha pahalıdır.

Termoplastik reçineler malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarının artırılması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastiklerin üretiminde GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics / Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak ta üretilmektedir. Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüm sürecine uygunluğundan dolayı özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir.

Tablo 3-2 Belli Başlı Termoplastik Matris Malzemeleri ve İşlem Sıcaklıkları [Arıcasoy, 2006]

Malzeme	Erime Sıcaklık Aralığı (°C)	Maksimum İşlem Sıcaklığı (°C)
PP – Poli Propilen	160-190	110
PA – Poli Amid	220-270	170
PES - Poli Eter Sülfon	-	180
PEI – Poli Eter Imid	-	170
PAI – Poli Amid Imid	-	230
PPS – Poli Fenilen Sulfit	290-340	240
PEEK – Poli Eter Eter Keton	350-390	250

3.3.2. Fiber

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojide kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile, büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır. [Cam Elyaf,1997]

- Üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
- Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
- Elastisite modülünün çok yüksek olması.

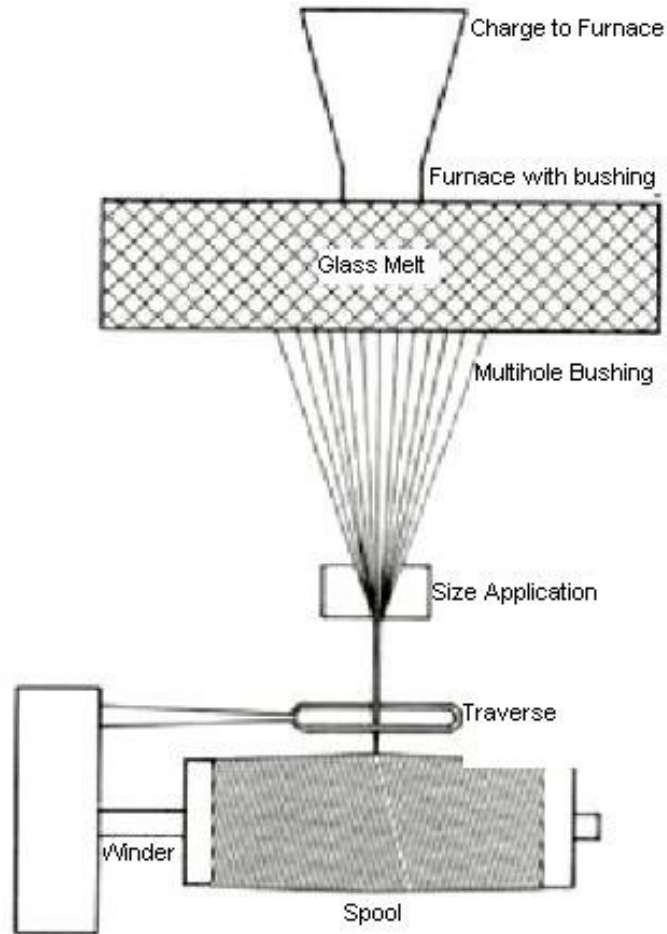
Tablo 3-3 Belli Başlı Elyaf Malzemelerinin Karşılaştırılması [Cam Elyaf,1997]

Malzeme	Yoğunluk (g/cm³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E-Cam	2.55	2000	80
S-Cam	2.49	4750	89
Alüminyum	3.28	1950	297
Karbon	2.00	2900	525
Kevlar 29	1.44	2860	64
Kevlar 49	1.44	3750	136

3.3.2.1. Cam Elyafar

Cam elyaflar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken $1260\text{ }^\circ\text{C}$ civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir. [Cam Elyaf,1997]

CAM ELYAFI ÜRETİMİ(PHILLIPS, 1989)



Şekil 3-1 Cam Elyaf Üretimi [Cam Elyaf,1997]

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir; [Cam Elyaf,1997]

- Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
- Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyaflı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyaflı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanırırlar.

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur.

1. **A (Alkali) Camı:** A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.
2. **C (Korozyon) Camı:** Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.
3. **E (Elektrik) Camı:** Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.

4. **S (Mukavemet) Camı:** Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar.

Tablo 3-4 Cam Elyafların Mekanik Özellikleri [Cam Elyaf,1997]

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.5	2.49	2.54	2.48
Elastisite Modülü (GPa)	-	69	72.4	85.5
Çekme Dayanımı (MPa)	3033	3033	3448	4585
Isıl Genleşme Katsayısı (m/m/°C*10 ⁶)	8.6	7.2	5	5.6
Yumuşama Sıcaklığı (°C)	727	749	841	970

3.3.2.2. Bor Elyaflar

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır.

Bor-Tungsten elyaflar, sıcak tungsten flamanın hidrojen ve bortriklorür (BC13) gazından geçirilmesi ile üretilirler. Böylece Tungsten flamanın dışında bor plaka oluşur. Bor elyaflar değişik çaplarda üretilebilirler (0.05mm ila 0.2mm). Tungsten çekirdek ise daima 0.01 mm çapında üretilir. Bor elyaflar yüksek çekme mukavemetine ve elastisite modüle sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa ila 3447 MPa'dır. Elastisite modülü ise 400 GPa'dır. Bu değer S camının elastisite modülünden beş kat fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Ancak, maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaflara bırakmışlardır.

Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B₄C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanımı artar. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040°C civarındadır. [Cam Elyaf,1997]

3.3.2.3. Grafit (Karbon) Elyafı

Karbon, yoğunluğu 2.268 gr/cm³ olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Hem karbon hemde grafit elyaflar aynı esaslı malzemeden üretilirler. Bu malzemeler hammadde olarak bilinirler. Karbon elyafların üretiminde üç adet hammadde mevcuttur. Bunlardan ilki rayondur (suni ipek). Bu hammadde inert bir atmosferde 1000 - 3000 °C civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon elyaflar uygun değildirler.

Elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN bazlı elyaflar 2413 ila 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen zift bazlı elyaflar ise 2069 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler. Mekanik özellikleri PAN bazlı elyaflar kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür. [Cam Elyaf,1997]

Tablo 3-5 Karbon Elyaf Sınıfları [3]

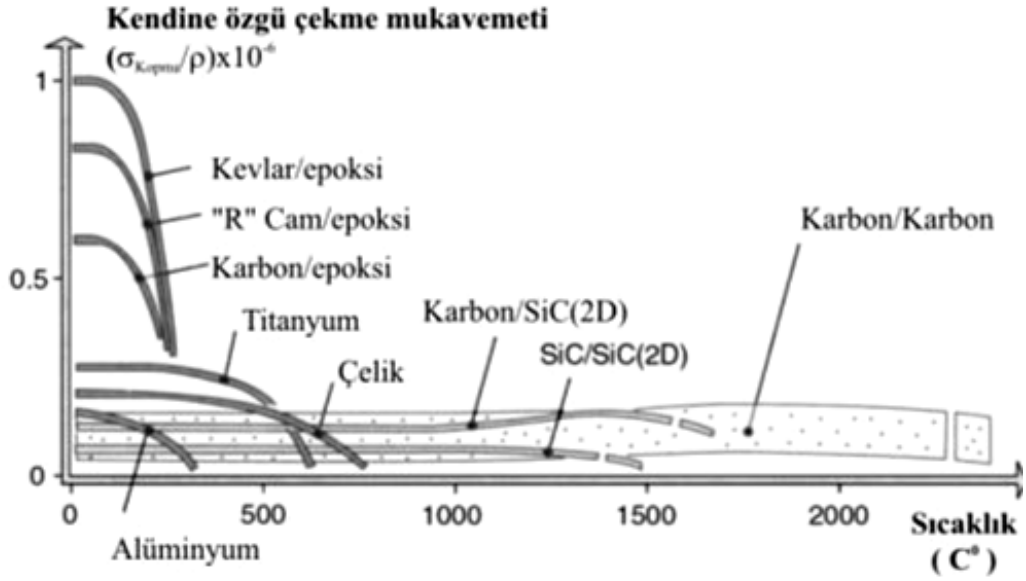
Karbon Elyafı Sınıfları				
Karbonizasyon Isısı (°C)	1000 °C'e Kadar	1000-1500	1500-2000	2000 +
Karbon Elyafı Sınıfı	Düşük Modülüs	Standard Modülüs	Orta Modülüs	Yüksek Modülüs
Elastisite Modülü (GPa)	200 GPa'a Kadar	200-250	250-325	325 +

Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar.

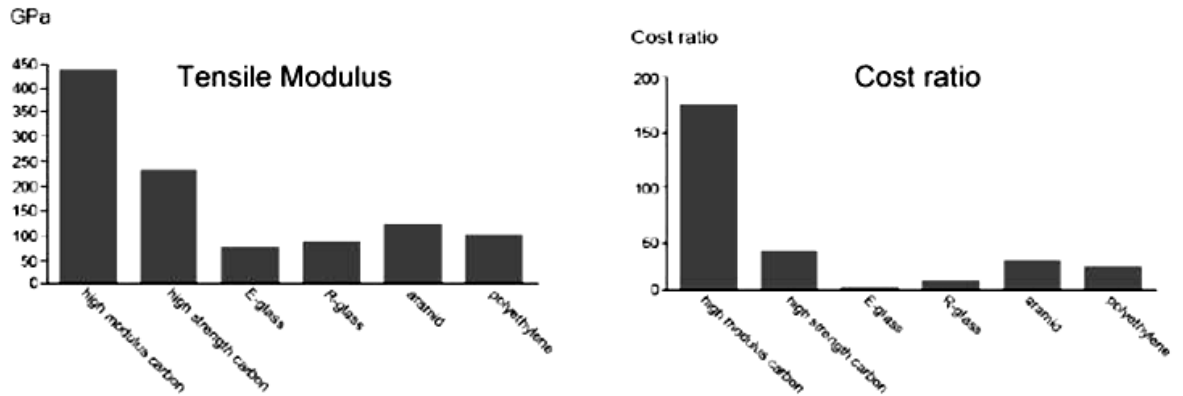
3.3.2.4. Aramid Elyaflar

Aramid "aromatik polyamid" in kısaltılmış adıdır. Polyamidler uzun zincirli polimerlerdir, aramidin moleküler yapısında altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmışlardır. İki farklı tip aramid elyaf mevcuttur. Bunlar Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Aramidin mekanik özellikleri grafit elyaflarda olduğu gibi elyaf eksenine doğrultusunda çok iyi iken elyaflara dik doğrultuda çok zayıftır. Aramid elyaflar düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir. Darbe direnci yüksektir, gevrekliği grafitin gevrekliğinin yarısı kadardır. Bu nedenle kolay şekil verilebilir. Doğal kimyasallara dirençlidir ancak asit ve alkalilerden etkilenir.[Cam Elyaf,1997]

Her iki kevlar da 2344 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptir ve kopma uzaması %1.8'dir. Kevlar 49'un elastisite modülü, kevlar 29'unkinden iki kat fazladır. Kevlar elyafın yoğunluğu cam ve grafit elyafların yoğunluklarından daha düşüktür. Kevlar49/Epoksi kompozitlerinin darbe mukavemeti grafit epoksi kompozitlere oranla yedi kat, bor/epoksi kompozitlere oranla dört kat daha iyidir. Uçak yapılarında, düşük basma mukavemetleri nedeniyle, karbon elyaflarla birlikte hibrid kompozit olarak, kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Aramid elyaflar elektriksel iletkenliğe sahip değildirler. Basma mukavemetlerinin iyi olmamasının yanı sıra kevlar epoksi kompozitlerinin nem absorbe etme özellikleri kötüdür. Şekil 3.2 de farklı elyaf malzemelerin ve epoksi matrisin gerilme-uzama diyagramı verilmiştir. Şekil 3.3 de ise farklı elyaf malzemelerin epoksi matris ile oluşturduğu yarı mamul tabaka maliyetleri, E camının maliyeti baz alınarak verilmektedir.



Şekil 3-2 Elyaf Malzemelerin ve Epoksi Matrisin Gerilme-Uzama Diyagramı



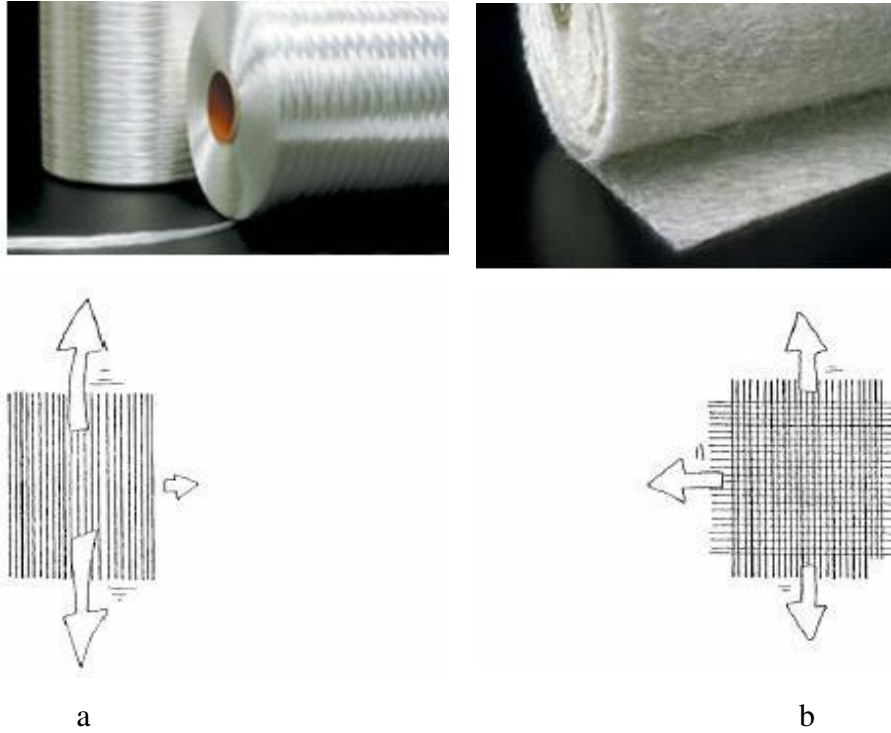
Şekil 3-3 E Camının Maliyeti [Hexcel]

3.3.2.5. Alumina Elyafı

Alumina, Alüminyum oksittir (Al_2O_3). Elyaf formundaki alumina, 0.02 mm çapındaki alumina flamanın Silisyum dioksit (SiO_2) kaplanması ile elde edilir. Alumina elyafının çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir, ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alumina epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ila 2413 MPa'dır. Ayrıca, yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadırlar. [Cam Elyaf,1997]

3.4. Kompozit Malzemelerin Elastik Davranışı

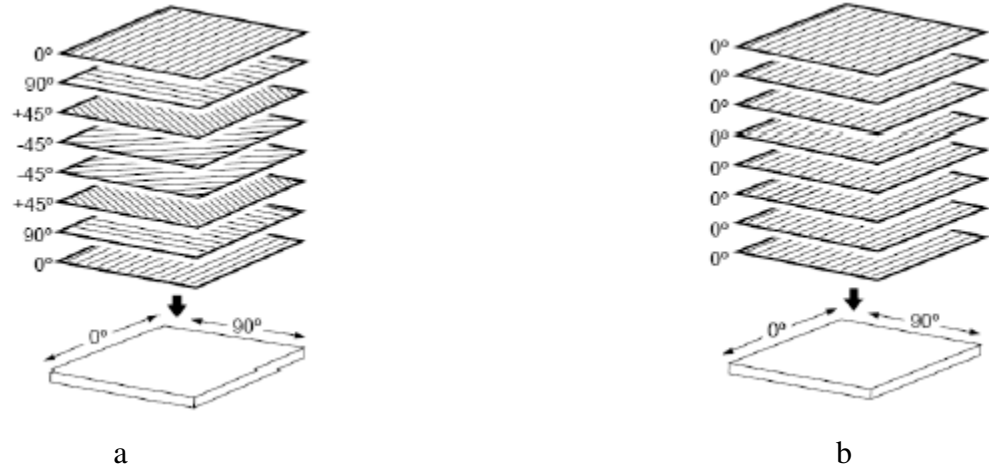
Kompozit malzemeler içerisinde en çok kullanılan tip tek yönlü kompozitlerdir (Unidirectional Composites ; UC) . Tek yönlü kompozit malzemelerde fiberler sadece bir tek yönde dizilmişlerdir ve kompozitin mekanik özellikleri bu yönde diğer yöne göre çok daha kuvvetlidir. Fiber ile desteklenen kompozit malzemeler istenilen yönlerde istenilen mekanik özellikleri elde edecek biçimde tasarımlanabilirler. Şekil 3.4 a’da bir tekyönlü kompozit görülmektedir.



Şekil 3-4 (a) Tek Yönlü Bir Elyaf & (b) Dokuma Tip Elyaf [Hexcel]

Şekil 3.4 b’ de , birbirine dik yönde fiberlerden oluşan bir kompozit malzeme görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus “Dokuma” isminin fiber birleşimi anlamına geldiğidir. Yani dokuma bir kompoziti oluşturan fiberlerin her biri ayrı ayrı tek yönlü olabileceği gibi, birbiri içinde sarmal bir halde, rastgele sarılmış olarak ta bulunabilirler. Şekil 3.5 a’da bir Quasi-Isotropic lamine kompozit, Şekil 3.5 b’de ise bir tek yönlü lamine kompozit görülmektedir. Lamine kompozitleri tarif etmek için genel bir kısaltma kullanılır. Örneğin Şekil 3.5 a’deki lamine kompozit, $[0/90/+45/-45/2/+45/90/0]$ şeklinde tarif edilir. -45 tabakasının yanındaki “2” indeksi bu tabakadan iki adet bulunduğunu belirtir. Bu gösterimi daha da

sadeleştirmek istersek; gösterimi $[0/90/+45/-45]_s$ şeklinde yazabiliriz. Burada “s” indisi, orta eksene göre kompozit malzemenin simetrik olduğunu gösterir. [Samskog, S. 2008]

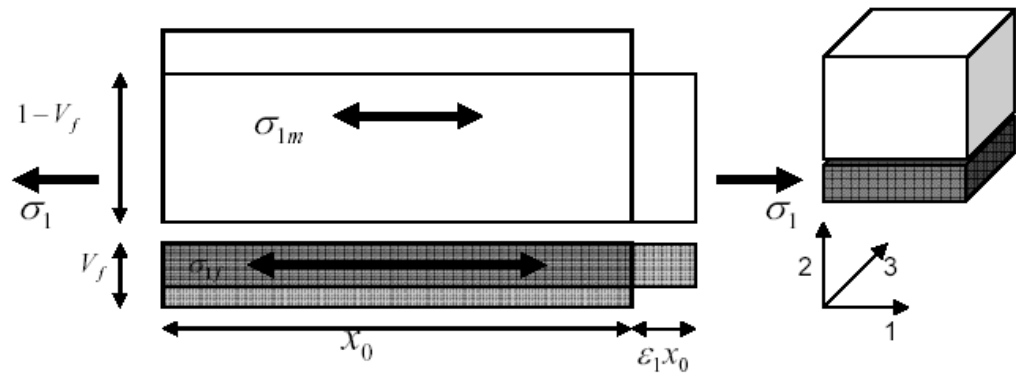


Şekil 3-5 Örnek Bir Tabakalı Kompozit Dizilimi [Hexcel]

3.4.1. Tek Yönlü Kompozit Malzemelerin Elastik Davranışı

3.4.1.1. Fiber Yönünde Elastisite Modülü E_1

Birbirine paralel, sürekli ve uzun fiberlerden oluşan bir kompozit malzemenin elastik davranışından bahsederken kullanılacak en basit model Şekil 3.6’da görülmektedir.



Şekil 3-6 E_1 İçin Model

Model üzerinde görülen “1” indisleri, gerilmenin fiberler yönünde uygulandığını göstermektedir. Model üzerinde yapılan bazı kabuller vardır. Bunlar:

- Fiberlerin mekanik ve fiziksel özellikleri eşittir, sürekli ve paraleldirler.
- Fiberlerle matris arasında bağlar mükemmeldir, yani fiberle matris ara yüzeyinde kayma yoktur. Yani fiber ve matrisin 1 yönündeki yer değiştirmeleri eşittir.
- Kompozit süreklilik kuralına tabidir, yani kompozitin her bileşeni üzerindeki gerilme eşittir. [Hull, D. And Clyne, T.W. 1996]

Bu kabullere göre;

$$\varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c \quad (3.1)$$

Kompozitin üzerindeki yükü P_c ile gösterirsek, bu yük matris ve fiberler tarafından P_m ve P_f olarak paylaşılmaktadır.

$$P_c = P_f + P_m \quad (3.2)$$

$$P_c = A_c * \sigma_c \quad (3.3)$$

$$P_f = A_f * \sigma_f \quad (3.4)$$

$$P_m = A_m * \sigma_m \quad (3.5)$$

3.3, 3.4, 3.5 eşitliklerini 3.2 eşitliğinde yerine yazarsak;

$$\sigma_c = (A_f / A_c) \sigma_f + (A_m / A_c) \sigma_m \quad (3.6)$$

Tek yönlü sürekli fiberlerle donatılmış bir kompozit için;

$$V_f = A_f / A_c \quad \text{ve} \quad V_m = A_m / A_c$$

(3.6) denkleminde yerine yazıp çıkan denklemin kompozit gerilmesine göre türevini alırsak;

$$d\sigma_c/d\varepsilon = V_f (d\sigma_f/d\varepsilon) + V_m (d\sigma_m/d\varepsilon)$$

$d\sigma/d\varepsilon$ lineer bir malzeme için elastisite modülünü verdiği için;

$$E_1 = V_f * E_f + V_m * E_m \quad (3.7)$$

denklemini bulunur.

3.7 numaralı denklem “ Karışımlar Kuralı” (Rule of mixtures) olarak bilinir.

Bu denklemi genelleştirirsek; [Hull, D. And Clyne, T.W. 1996]

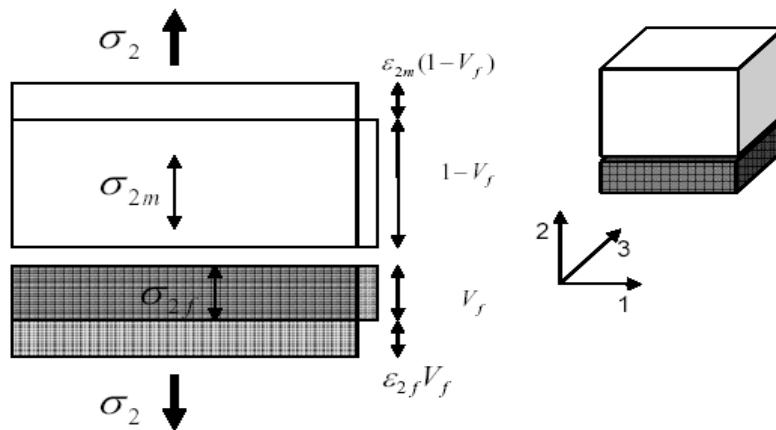
$$R_c = V_f * R_f + V_m * R_m$$

Şeklinde yazabiliriz. Burada R ilgilendiğimiz herhangi bir fiziksel özelliktir. Bu denklemi ikiden fazla bileşeni olan kompozitlere uygulamak istersek;

$$R_c = \sum V_i * R_i \quad \text{Şeklinde yazabiliriz. [Hull, D. And Clyne, T.W. 1996]}$$

3.4.1.2. Fiberlere Dik Yönde Elastisite Modülü E_2

Fiberlere dik yönde elastisite modülünü hesaplamak için yaptığımız varsayımlar, fibere paralel yönde olanlarla aynıdır. Yani fiberler eşit çapta olacak, birbirine paralel olacak, sürekli olacaktır. Fiberlere dik yönde elastisite modülünü hesaplamak için Şekil 3.7 de görülen modelden yararlanabiliriz.



Şekil 3-7 E_2 İçin Model

Fiberlere dik yönde denge koşulunun sağlanabilmesi için;

$$\sigma_c = \sigma_{2m} = \sigma_{2f} \quad (3.8)$$

Öte yandan 2 yönündeki toplam uzama, δ_c , matris ve fiberlerin uzamalarının toplamına eşit olmaktadır.

$$\delta_c = \delta_f + \delta_m \quad (3.9)$$

Kalınlık “t” olmak üzere, gerinme-uzama ilişkilerini kullanırsak;

$$\delta_c = \varepsilon_c * t_c \quad (3.10)$$

$$\delta_f = \varepsilon_f * t_f \quad (3.11)$$

$$\delta_m = \varepsilon_m * t_m \quad (3.12)$$

3.10, 3.11 ve 3.12 eşitliklerini 3.9 denkleminde yerine yazarsak;

$\varepsilon_c * t_c = \varepsilon_f * t_f + \varepsilon_m * t_m$ bulunur. Her iki tarafı t_c ile bölüp, $t_f/t_c = V_f$ ve $t_m/t_c = V_m$ eşitliklerini yerine yazarsak;

$$\varepsilon_c = V_f * \varepsilon_f + V_m * \varepsilon_m \quad (3.13) \text{ denklemi bulunur.}$$

Elastik bir malzeme için;

$\varepsilon_c = \sigma_c / E_c$, $\varepsilon_f = \sigma_f / E_f$, $\varepsilon_m = \sigma_m / E_m$ olduğu düşünülür ve en başta yazdığımız 3.8 eşitliği ile birlikte 3.13 denkleminde yazılırsa;

$$1/E_2 = V_f/E_f + V_m/E_m \quad (3.14)$$

3.14 denklemi ters karışımlar kuralı olarak bilinir. Bu yaklaşımın fiberlere dik yönde elastisite modülünü bulurken pekte iyi sonuçlar vermemesi, başka ilişkilerin araştırılması sonucunu doğurmuştur. Bunlardan en çok kullanılanı “Halphin-Tsai” olarak ta adlandırılan yarı ampririk bağlantıdır. Halphin-Tsai ilişkisi mekanik temelleri olsa da, bir de geometri faktörü içerir. Bu yönüme göre;

$$E_2 = E_m (1 + \xi \eta V_f) / (1 - \eta V_f) \quad \text{şeklinde bulunur.}$$

$$\text{Burada } \eta = [(E_f / E_m) - 1] / [(E_f / E_m) + \xi] \quad \text{şeklindedir.}$$

Bu eşitlikte ξ bir geometri faktörüdür. Değeri deneysel ve sonlu elemanlar sonuçları ile bu yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Buna göre;

$$2 = \xi \quad \text{Fiberlerin kare dizilişi için}$$

$$2 (a/b) = \xi \quad \text{Fiberlerin dikdörtgen dizilişi için (a yükleme yönündeki uzunluk)}$$

3.4.1.3. Kayma Modülü G_{12}

Kayma modülünü hesaplamak için E_2 'i hesaplamak için kullandığımız modeli kullanırız. Modelimizde öncekilere ek olarak iki önemli kabulümüz olacak;

- Model elemanımız üzerinde kayma gerilmesi sabittir.
- Yükleme sırasında model elemanımızın alt ve üst yüzeyleri paralel kalır.

Bu kabullerin yapılması ile kayma modülü;

$$G_{12} = 1 / [(V_f / G_f) + (V_m / G_m)] \quad \text{şeklinde bulunur. [Hull, D. And Clyne, T.W. 1996]}$$

3.4.1.4. Poisson Oranı ν_{12}

Fiber yönünde poisson oranı;

$$\nu_{12} = V_f * \nu_f + V_m * \nu_m \quad \text{Şeklinde bulunur.}$$

Fiberlere dik yönde poisson oranı;

$$\nu_{21} = \nu_{12} * (E_2 / E_1) \quad \text{Şeklinde bulunur.}$$

Bu tez içerisinde Kayma modülü ve Poisson oranını elde etme yolları detaylı olarak anlatılmamış, sadece genel bilgi verilmiştir. Daha detaylı bilgi için bakınız “D.Hull and T.W. Clyne, an introduction to Composite Materials, second edition, 1996” .

3.4.2. Rast Gele Dağılmış Kısa Fiberlerle Desteklenmiş Kompozit Malzemenin Elastik Davranışı

Rast gele dağılmış, kısa fiberlerle desteklenmiş kompozit tabakaların elastik davranışlarını inceleyen bir çok model bulunmaktadır. Bu modellerin bir kısmı deneysel çalışmalara, bir kısmı ise analitik çözümlemelere dayanmaktadır. Bu bölümde bu modellerden bazılarını göreceğiz. [Lee. D. 1995]

Bu modeller içinde en bilineni ve basit olanı karışımlar kuralı olarak bilinendir. **Voigt** bu modelde, kompozit malzeme içerisindeki tüm bileşenlerin eşit gerinmeye sahip olduğunu varsaymıştır. Buna göre; [Lee. D. 1995]

$$E_c = V_f * E_f + V_m * E_m \text{ dir.}$$

Bu modele alternatif olarak **Reuss**, tüm bileşenlerin aynı strese maruz kaldığı kabulünü yaptığı modeli ortaya koymuştur. Reuss modeline göre; [Lee. D. 1995]

$$E_c = (E_m * E_f) / [(E_m * V_f) + (E_f * V_m)] \quad (3.15)$$

Cox 1952 yılında, kısa fiberlerle destekli kompozit malzemelerin elastisite modülü için aşağıdaki formülü buldu; [Lee. D. 1995]

$$E_c = (1/5) E_{11} + (4/5) E_{22} \quad (3.16)$$

Burada; $E_{11} = \text{Voigt modelindeki } E_c$

$E_{22} = \text{Reuss modelindeki } E_c$

olarak kullanıldı.

Piggot 1980 yılında, rastgele dağılmış 3 boyutlu kısa fiberler için aşağıdaki formülü buldu; [Lee. D. 1995]

$$E_c = (1/5) E_f^* V_f + E_m^* V_m \quad (3.17)$$

Tsai ve Pagano 1968 yılında, rastgele dağılmış 2 boyutlu kısa fiberler için elastisite modülünün, 3.18 formülü ile yaklaşık olarak hesaplanabileceğini gösterdiler. Burada E_{11} karışımlar kuralından, E_{22} ise Chamis modelinden alınmaktadır. [Lee. D. 1995]

$$E = \frac{3}{8} E_{11}^* + \frac{5}{8} E_{22}^* \quad (3.18)$$

$$E_{11}^* = E_f V_f + E_m V_m \quad (3.19)$$

$$E_{22}^* = \frac{E_m}{1 - \sqrt{V_f} \left(1 - \frac{E_m}{E_f} \right)}$$

Tsai ve Pagano ayrıca kayma modülü ve Poisson oranı içinde aşağıdaki bağıntıları geliştirdiler; [Lee. D. 1995]

$$G = \frac{1}{8} E_{11}^* + \frac{1}{4} E_{22}^* \quad (3.20)$$

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1$$

3.5. Bal Peteği (Honey Comb) Kompozit Malzemeler

Petekli kompozit yapılar, özellikle çarpma sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği yüksek mekanik dayanım gerektiren konstrüksiyonlarda kullanılır. Oldukça hafif sistemler elde etmek için, sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasına bu petekli yapılar yerleştirilir. Tabakalar arasına petekli yapının yerleştirilmesi, yapının atalet momentinin ve eğilme dayanımının artmasını sağlar. Kıvrılmış plakaların birleştirilmesi sonucu elde edilen petek yapılı hücreler, sandviç yapıların iç (dolgu) malzemesini oluşturur. [Carbaş, M. 2007]

Genel olarak metalik hücre malzemeleri alüminyum, korozyona karşı dayanıklı çelik, titanyum ve nikel esaslı alaşımlardır. En yaygın metal dışı hücre malzemeleri ise nomex, cam elyaf, termoplastikler ve kraft kağıdıdır. Metal olmayan hücreler son yoğunluğa ulaşabilmek için sıvı fenolik, polyester veya poliamid reçineye daldırılır. İdeal olanı reçine oranının %50 civarında olmasıdır. Bu nedenle şerit kalınlıklarının çeşitli yoğunlukta hücre yapımına imkan vermesine dikkat edilmelidir.

Deneyler sonucu petek yapılı kompozitlerin, maksimum dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorbe özellikleri basma ve çarpma yükleri altında elde edilmiştir. Petek yapılı hücrelerin farklı hücre boyutu ve malzeme seçimi birlikte ele alınarak, optimum değerler bulunmuştur.

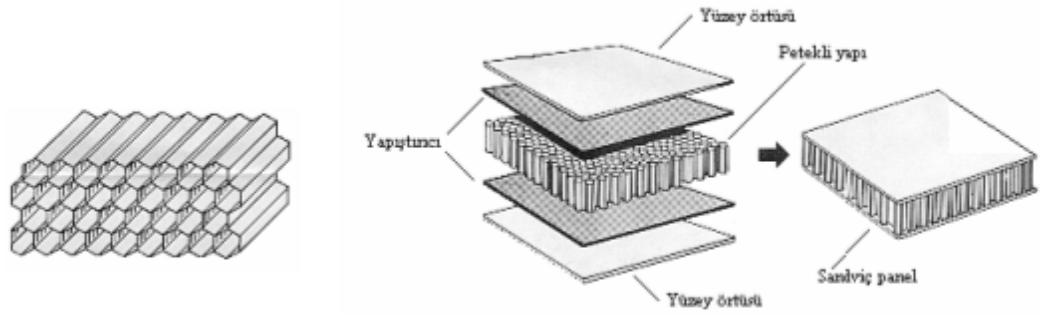
Kompozit imalatında kullanılan petekli yapı, çok ince tabakaların şekillendirilmesi sonucu elde edilen hücrelerin birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu tür yapılar bal arılarının doğal olarak yaptıkları bal petekleri ile birebir benzerlik göstermektedir.

3.5.1. Bal Peteği Geometrisi

Eksenleri her zaman yarı yatay ve açıklıkları yatay düzendedir. Yüzeyin altıgenlerden oluşması, en küçük yüzey alanda en geniş kaplamayı elde etmemizi sağlar. Bu sayede altıgen yapıyla, istenen değerlerde kafes yapımı için en az malzeme kullanımı sağlanmış olur. Bal peteği hücrelerinin kapalı kısımları da yer yer geometrik etkiyi gösterebilir. Bu kısımlar üç yüzeyli piramit şeklindedir. Bitişik

yüzeylerin 2 düzlem arası açıları istenen değer için yüzey alanını maksimumda tutar. [Carbaş, M. 2007]

Günümüzde kullanılan petekli yapıların büyük bir çoğunluğu bir yapıştırıcı sayesinde hücrelerin birbirleri ile yapıştırılması sonucu oluşturulurlar (Şekil 3.8). Petekli yapılar genellikle sandviç yapılarda dolgu elemanı olarak kullanılırlar. Buradan hareketle sandviç panellerden söz etmek yerinde olacaktır. Bir sandviç panel, petekli yapının alt ve üst yüzeylerin yapıştırıcı kullanılarak yüzey örtüleri ile yapıştırılması sonucu elde edilir . [Carbaş, M. 2007]



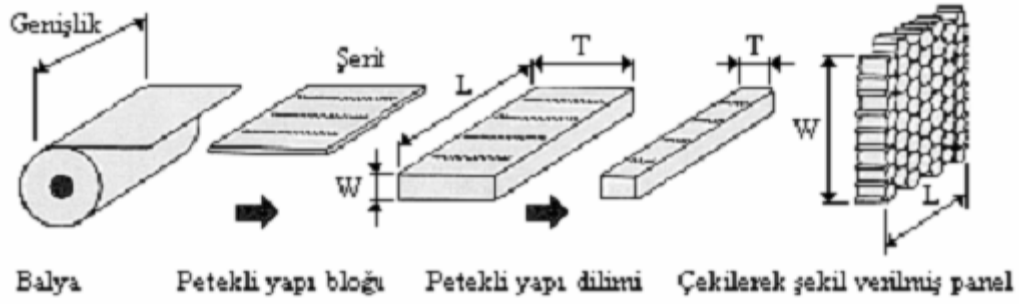
Şekil 3-8 Sandviç Kompozit Yapı

Çelik, titanyum ve nikel alaşımlı metal hücre yapılı petekli yapılar yapıştırıcı yerine daha çok kaynak ve lehimleme ile birleştirilirler. Bu tür hücreler öncelikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Yüksek rijitlik ve dayanım/ağırlık oranına sahip olan sandviç yapılar son derece hafif konstrüksiyonlardır.

Petek yapılı kompozitler, diğer sandviç konstrüksiyon ara malzemelerine oranla daha pahalıdır ve sandviç yapı haline dönüştürülmesi daha özel işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle, genellikle denizcilik, havacılık ve uzay sektöründe yüksek mekanik dayanım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

3.5.2. Bal Peteği Üretim Yöntemleri

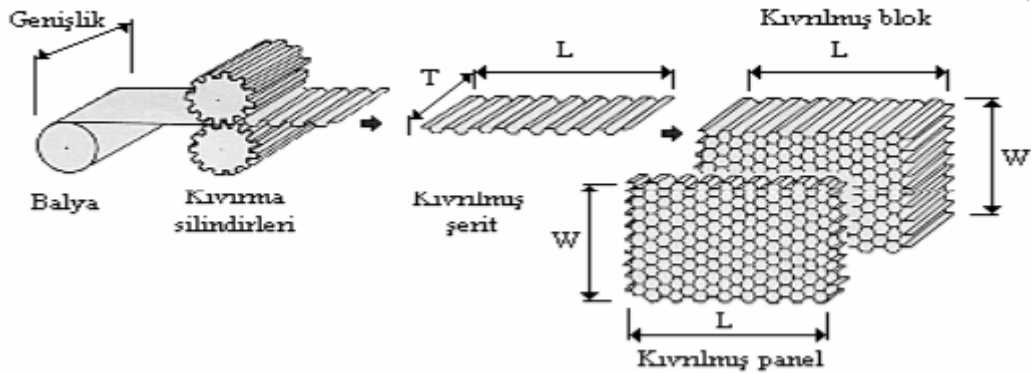
Petekli yapıların üretiminde uzatma ve kıvrılarak şekil verme olmak üzere genellikle iki temel teknik kullanılır. Uzatarak şekil verme yöntemi şematik olarak Şekil 3.9 da görülmektedir.



Şekil 3-9 Uzatarak Şekil Verme Yöntemi

Bu yöntem metal ve metal olmayan hücre imalatında kullanılır. Genel olarak; şerit halinde levhaların kesilmesi ve yapıştırıcının sürülmesi, levhaların üst üste dizilmesi ve petekli yapı bloğunun seçilen sıcaklıkta pres içerisinde işlenmesi aşamalarını içerir. [Aydıncak, I. 2007]

Petekli yapıların imalatında oldukça yaygın olarak tercih edilen diğer bir yöntem kıvrırma metodudur. Bu yöntem yüksek sıcaklık altında çalışan, et kalınlığı ve yoğunluğu oldukça fazla olan petekli yapıların imalatında tercih edilir. Bu yöntemde şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı tatbik edilir. [Aydıncak, I. 2007]



Şekil 3-10 Kıvrarak Şekil Verme Yöntemi

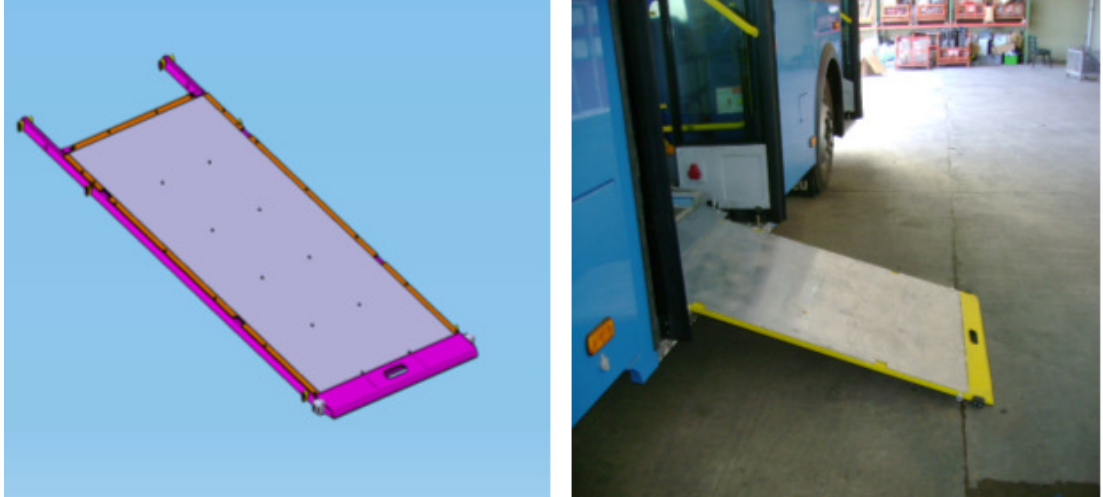
Ardından şekil verilmiş şerit levhalar üst üste konur ve kıvrılmış blok seçilen sıcaklıkta bekletilir. İstenilen kalınlıkta dilimler bloktan kesilerek elde edilir. Yukarıda verilen yöntemler kullanılarak, üretimi gerçekleştirilen petekli yapılar kullanılacak yerin özellikleri de dikkate alınarak; temizleme (kenar tıraşlama), kesme ve gerekirse şekil verme ve ekleme işlemlerine de maruz bırakılırlar. [Aydıncak, I. 2007]

4.METOD

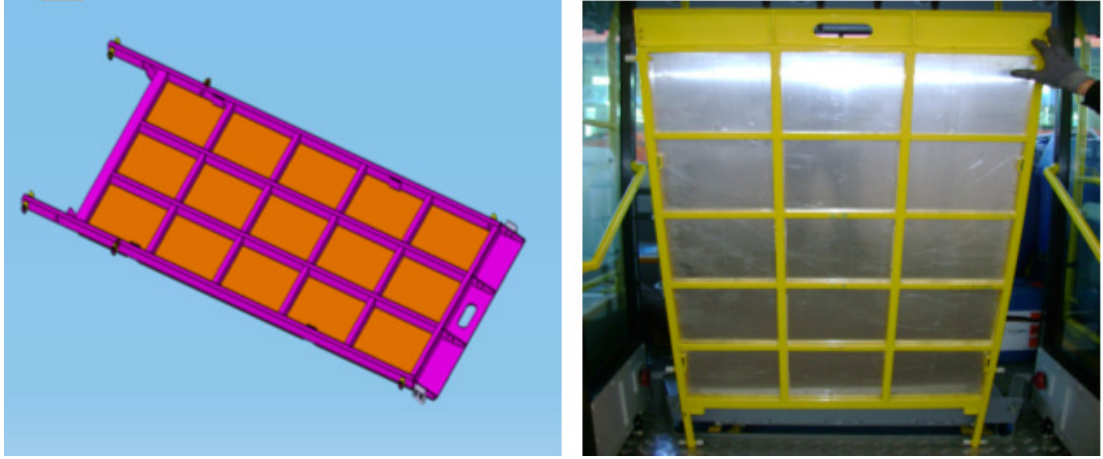
Bu bölümde sac yerine, sandviç yapılı özürlü rampası modelinin oluşturulması ve bu rampanın sonlu elemanlar modelinin oluşturulması incelenmektedir.

4.1. Mevcut Rampa Yapısı

Genel itibari ile Sınıf I tip ticari araçlarda günümüzde kullanılan rampa yapısı, çelik profillerin üzerine çelik sac uygulaması şeklindedir. Bu çalışmada inceleyeceğimiz rampa, 20*20*1.2 mm St 37 kare profiller üstüne kaynaklanmış 3 mm Erdemir A kalite galvanizli sacdan oluşmaktadır (Şekil 4.2). Bu uygulama, tez çalışmamızın nedenlerinden birini doğurmaktadır. Resimde görülmekte olan rampanın ağırlığı 25 kg dır. Bu ağırlık hem aracın toplam ağırlığını arttırmakta hem de el ile çalıştırılan bu düzeneği ergonomik olmaktan uzaklaştırmaktadır. Bundan sonraki bölümlerde rampada çelik yerine kompozit malzeme kullanarak, elde edilebilecek ağırlık kazancı incelenmekte ve yeni malzeme ile regülasyon değerlerini karşılayıp karşılamadığı araştırılmaktadır.



Şekil 4-1 Rampanın CAD Modeli ve Araç Üstünde Uygulaması



Şekil 4-2 Mevcut Rampa Yapısı

4.2. Sandviç Yapılı Kompozit Rampanın Modellenmesi

Bölüm 4.1 de yapısı anlatılan mevcut özürlü rampası yerine düşünülen rampa, sandviç yapılı kompozitten imal edilmektedir. Bu kompozitte çekirdek kısmı, malzemesi daha sonra belirlenecek olan bal peteği yapıdan oluşmaktadır. Bal peteğinin dışındaki levhalar ise, rast gele dağılmış kısa cam elyafı fiberlerle desteklenmiş kompozit levhalar olacaktır. Bu levhaların kalınlıkları, 5. Bölüm’de uygulanan optimizasyon analizinde girdi olarak girilmekte ve değiştirilmektedir .

4.2.1. I-Kiriş Modeli

Bal peteği yapılı malzemeler, kompozit malzemelerin özel bir türünü oluşturmaktadır. Bu türde, iki sert ve ince levhayı birbirinden ayıran hafif bir çekirdek yapı bulunmaktadır. Bu çekirdek yapı, I – Kiriş prensibine uyduğundan; malzemenin atalet momentini, dolayısıyla da bükülme direncini artırır. Bu tip bir kompozit malzemedde, dış plakalar eğilmeden kaynaklanan çekme ve basma gerilmelerine karşı koyarlar. [Aydıncak, I. 2007]

İki ucu tam ankastre kirişlerde sadece eğilme momentinin etki etmesi eğilme momenti hali olarak bilinir. Bu tip kirişlerde eğilme momenti etkisi ile eğilme gerilmeleri meydana gelir ve,

$$\sigma_x = (M / I_x) * y \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir. 4.1 denkleminde;

σ_x = Eğilme gerilmesi

M = Söz konusu kesitteki eğilme momenti

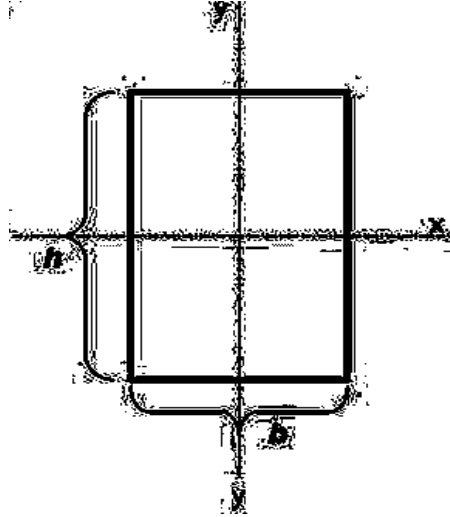
Y = Söz konusu noktanın tarafsız eksenden olan uzaklığı

I_x = Kesitin tarafsız eksene göre atalet momenti dir.

Atalet momentleri gerilme, eğim ve sehim hesaplarında devreye giren bir büyüklüktür. İkincil alan momenti de denen bu atalet momentleri, söz konusu alanın verilen bir eksene göre dağılımı olup birimi (uzunluk)⁴ dır. SI birim sisteminde birimi m⁴ veya mm⁴ ile verilir. Atalet momenti adı, dinamikte cisimlerin dönmesini incelerken kullanılan benzer entegrallerden gelmektedir. Ancak dinamikte kütleler yerine burada alanlar söz konusudur. Atalet momentleri hesaplarda kullanılan ve ilgili alanın bir matematiksel özelliğidir. Ancak kendi başına bir fiziksel anlamı yoktur. Atalet momentleri üç şekilde incelenir; [Yayla, P. 2001]

- Eksene göre atalet momenti.
- Çarpım biçiminde atalet momenti.
- Polar atalet momenti.

Bizim için burada önemli olan eksene göre atalet momentidir ve dikdörtgen kesitli bir kiriş için;



Şekil 4-3 Dikdörtgen Kesitli Kiriş

$$I_x = [b * (h^3)] / 12 \quad (4.2)$$

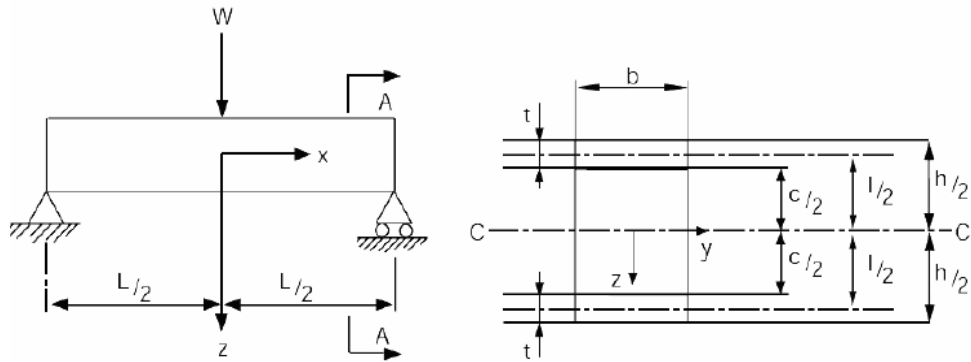
şeklinde gösterilir.

4.2.1.1. Sandviç Yapılarda I-Kiriş Modeli

Şekil değiştirmiş bir kirişte eğilme momenti ve eğrilik yarıçapı arasındaki ilişki;

$$M/EI = -1/R \quad (4.3)$$

şeklinde gösterilir. Burada EI ifadesi eğilme rijitliği olarak anılır ve “E” elastisite modülü, I atalet momentidir. Fakat bir sandviç kiriş için eğilme rijitliği, hem çekirdeğin hemde dış plakaların eğilme rijitliklerinin toplamına eşit olmalıdır.



Şekil 4-4 Sandviç Kiriş Modeli

Y eksenı boyunca eğilme rijitliğini D ile gösterirsek, Şekil 4.4 deki sandviç kiriş için eğilme rijitliği; [Aydıncak, I. 2007]

$$D = (1/6).b.t^3.E_f + (1/2). b.t.l^2.E_f + (1/12). b.c^3.E_c \quad (4.4)$$

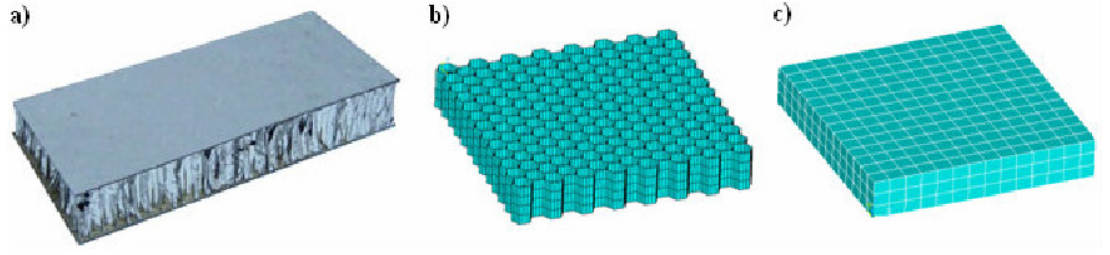
Şeklinde ifade edilir. Bu eşitlikte E_f ve E_c sırası ile dış tabaka ve çekirdeğin elastisite modülleridir. Pratikte, sandviç yapılarda “t” ve E_c değerleri, “l” ve E_f değerleri yanında görece düşük kaldığından, eşitliğin birinci ve üçüncü terimleri göz ardı edilerek eğilme rijitliği;

$$D = (1/2). b.t.l^2.E_f \quad (4.5)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada $l/t > 5.77$ değeri sağlanırsa, birinci terimi göz ardı etmenin yaratacağı hata %1 in altında kalır. Aynı şekilde $E_f/E_c > 55$ değeri sağlanırsa, üçüncü terimi göz ardı etmenin yaratacağı hata %1 in altında kalmaktadır. [Aydıncak, I. 2007]

4.2.2. Bal Peteği 3D Modellenmesinde Kullanılan Farklı Yaklaşımlar

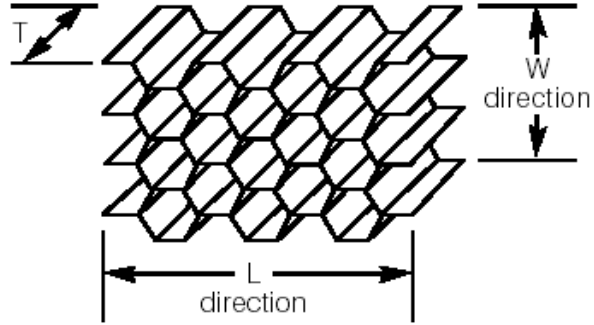
Bal peteği yapılı malzemelerin, sonlu elemanlar analizlerinde kullanılabilmesi için, modellenmeleri gerekmektedir. Bunun için birkaç farklı modelleme yöntemi mevcuttur. Modelleme yöntemlerindeki bu farklılıklar, sonlu elemanlar analiz hesaplama süresi ve çıkan sonuçların doğruluğu biçiminde bize geri dönüş yapar. Şekil 4.5 b de görülen, bal peteği yapısının yüzey elemanları ile detaylı modellenmesi, analiz sonucunda oluşan hücre deformasyonunu doğru biçimde elde etmemize yardımcı olur. Fakat hesaplama süresi diğer modellere göre daha uzun olduğundan, büyük modellerde tercih edilmesi fizibil olmamaktadır. Şekil 4.5 c de görülen model, Şekil 4.5 b deki modele göre basitleştirilmiş bir modeldir. Burada malzemenin geometrik özellikleri hesaba katılmayarak, sadece kompozit malzemenin orthotropik malzeme özellikleri göz önünde bulundurulur. [Boria, S. And Prof. Forasassi, G. 2007]



Şekil 4-5 Bal Peteği Modelleme Yöntemleri [Boria, S. And Prof. Forasassi, G. 2007]

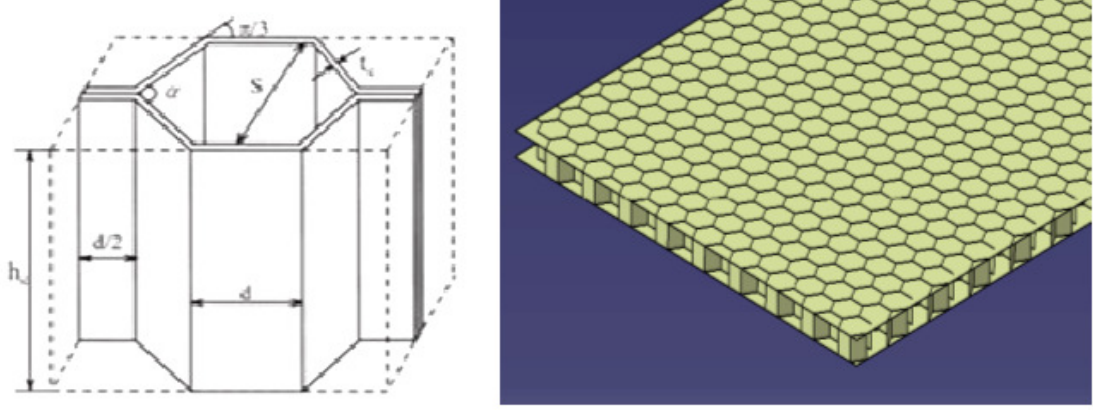
4.2.3. Sandviç Yapılı Kompozit Rampanın 3D Modellenmesi

Bal peteği hücreli, sandviç yapılı kompozit özürlü rampasının modellemesi CATIA V5 R19 programı kullanılarak yapılmıştır. Doğru sonuçlar elde etmek için, Bölüm 4.2.2 'de bahsedilen modelleme yöntemlerinden detaylı olan seçilmiştir. Bal peteği yapılı malzemeler için ana ölçüler Şekil 4.6 daki gibi gösterilir.



Şekil 4-6 Bal Peteği Ana Ölçüleri [Boria, S. And Prof. Forasassi, G. 2007]

Burada sırasıyla T, L ve W genişlikleri kalınlık, uzunluk ve genişlik ölçülerini gösterir. Modellemesini yapacağımız özürlü rampası için bu değerler sırasıyla 30, 2000 ve 800 mm şeklindedir. Buradaki kalınlık değeri başlangıç değeri olarak yaklaşık bir değer alınmıştır. Kalınlık değeri, 5. Bölüm'de uygulanan optimizasyon analizinde girdi olarak verilmekte ve değiştirilmektedir. Sonlu elemanlar analizinde sınır ve yükleme koşulları parça boyunca simetrik olduğundan, parça modelinin orta eksene göre yarısı modellenmiştir. Böylece sonlu elemanlar analizinde oluşacak eleman ve düğüm noktası sayıları azaltılarak, hesaplama süresi kısaltılmıştır.



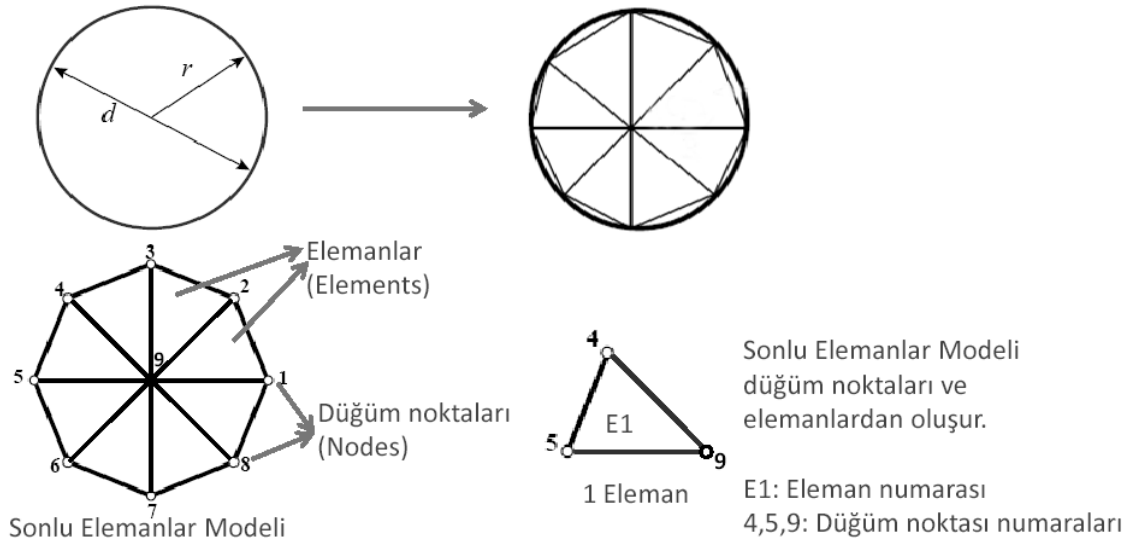
Şekil 4-7 Bal Peteği Parametreleri ve CATIA Modeli

Modelimizde, Şekil 4.7 de gösterilen ve bal peteği hücre yapısını oluşturan parametreler, Hexcel firmasının, HRH-86 isimli bal peteği hücresi referans alınarak oluşturulmuştur.

4.3. Sonlu Elemanlar Modeli

Sonlu elemanlar metodu, mühendislik problemlerinin büyük bir bölümünün sayısal olarak çözümlerinin bulunmasında yararlanılan güçlü bir araçtır. Sonlu elemanlar metodundan otomobil, uçak, bina ve köprü tasarımları sırasında deformasyon ve gerilme hesaplarından, ısı transferi ve akışkan problemleri ile manyetik alan hesabı gibi bir çok karmaşık problemlerin çözümüne kadar faydalanılabilir. [Dursun, T. 2006]

Bilgisayar teknolojisi ve CAD sistemlerindeki hızlı ilerlemeler sayesinde karmaşık mühendislik problemleri artık eskisine göre daha kolay modellenebilmektedirler. İlk prototipin üretiminden önce birkaç farklı alternatif bilgisayar ortamında test edilebilmektedir. Bu sayılan ilerlemeler sayesinde, temel teorileri, modelleme tekniklerini ve sonlu elemanlar metodunu kullanan bilgisayar programlarını kullanarak problemleri çok daha hızlı çözmek mümkün olabilmektedir. Bu şekilde yapılan bir analizde çok karmaşık ve büyük bir geometrik şekil, sonlu elemanlar olarak adlandırılan çok basit ve ufak elemanlara bölünmektedir (Şekil 4.8). Bu sonlu elemanların malzeme özellikleri ve davranışsal özellikleri tanımlanır ve eleman köşelerinde bu özellikler bilinmeyen değerler gibi ifade edilir. [Dursun, T. 2006]



Şekil 4-8 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodu uygulama prosedürü:

- Yapıyı sonlu sayıda parçaya bölmek (elemanlar ve düğüm noktaları ile).
- Her elemandaki fiziksel değerleri tanımlamak.
- Düğüm noktalarını kullanarak elemanları birleştirmek ve sistemin direngenlik matrisini elde etmek.
- Bilinmeyen değerler (deplasman) için denklem takımını çözmek.
- Elemanlardaki gerilme ve gerinim değerlerini hesaplamak.

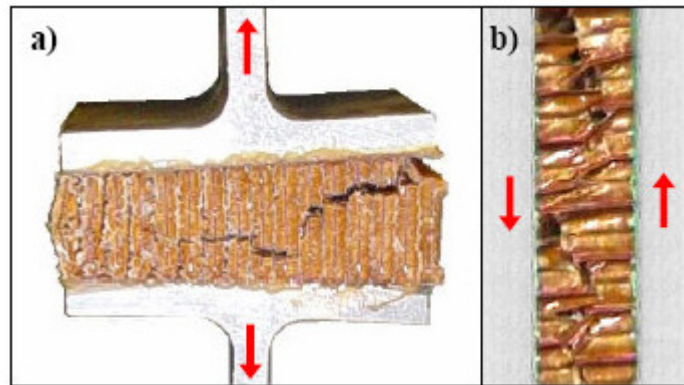
Bu bölümde sandviç yapılı olarak modellenen özürlü rampasının sonlu elemanlar analizleri yapılmaktadır. Bu çalışmadaki tüm SEA (Sonlu Elemanlar Analizi) lar, ANSYS 12.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu kısmında, sandviç yapılı kompozit özürlü rampasının, Bölüm 2.3 'de anlatılan 2001/85/EC Regülasyonlarının ilgili şartlarını sağlayıp sağlamadığı incelenmektedir.

4.3.1. Sandviç Yapılı Kompozit Rampanın Sonlu Elemanlar Modellemesi

Bu kısımda CATIA dan yüzey olarak ANSYS’ e , shell eleman olarak import edilen bal peteği ve dış levha malzemelerinin kalınlıkları girilir. Burada girilen değerler, analiz için başlangıç değerleri olmaktadır.

Rast gele dağılmış kısa cam fiberlerle desteklenmiş kompozit levha kalınlıkları 4 er mm, çekirdeği oluşturan bal peteği malzeme et kalınlığı ise 1 mm olarak alınmıştır.

Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, levhalar ile çekirdeğin yapışmasının SEA ‘da nasıl modelleneceğidir. Normal durumda, Bölüm 3.3.1 de anlatılan reçinelerden biri ile yapıştırılan bu katmanlar, ANSYS 12.0 da “Contact” elemanları ile birleştirilmektedir. Kullanacağımız kontak tipi “Bonded” olacaktır. Bu kontak tipini kullanarak, levhalar ve çekirdek birleşim yüzeylerinde herhangi bir ayrılma veya hasar olmayacağı kabulünü yapmış oluyoruz. Bu kabulü yaparken bu konu ile ilgili daha önceden yapılmış çekme ve kayma testlerinin sonuçlarından yararlanılır (Şekil 4.9 a ve b). Bu testlere göre, çekme veya kayma testinde, katmanların birleşim noktasından önce, bal peteği çekirdek veyahut dış kompozit levhalar zarar görmektedir.

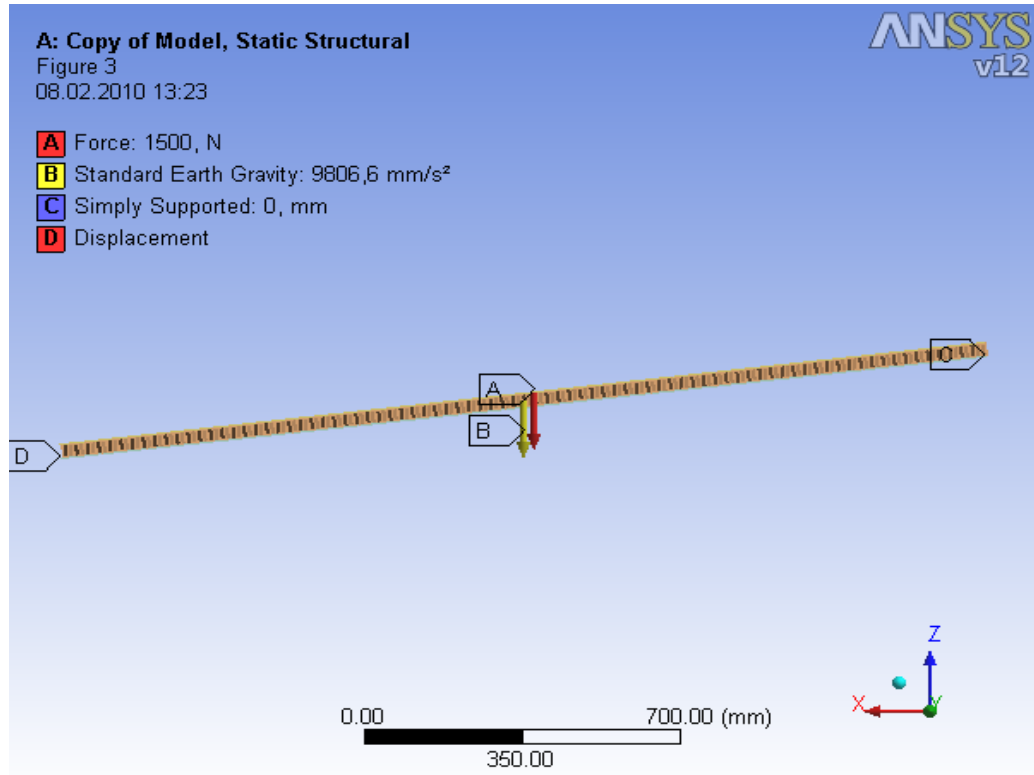


Şekil 4-9 Bal Peteği Çekme ve Kayma Testi

4.3.2. Yük ve Sınır Koşulları

Özürlü rampası, Bölüm 4.1 Şekil 4.1 'de görüldüğü gibi bir ucundan otobüs basamağına döner mesnet ile bağlanmakta diğer ucundan da kaldırıma dayanarak kullanılmaktadır. Bu yüzden SEA modelinde parça bir tarafından basit mesnetle tutturulmuştur. Diğer ucundan ise, bastığı yüzeyde düzlemsel olarak hareket edebilmesine izin verecek şekilde mesnetlenmiştir.

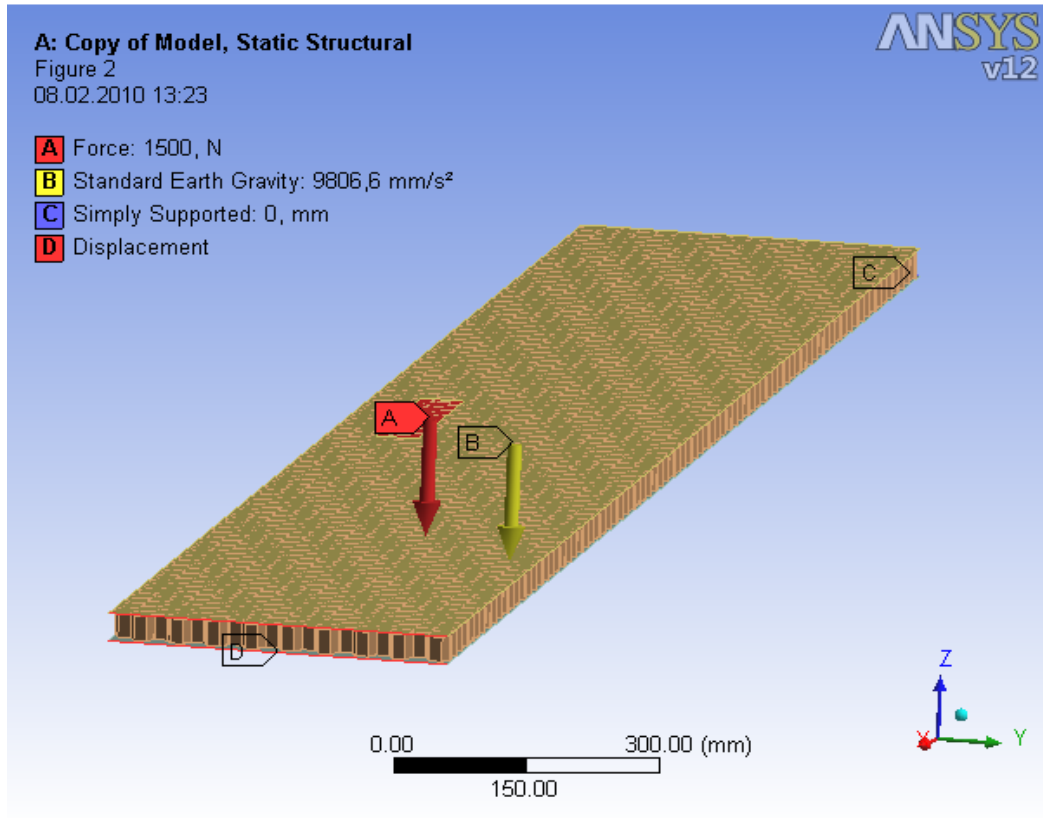
Özürlü rampasına yük açılı olarak geldiğinden, Şekil 4.10 da görüldüğü gibi, SEA modelinde de yük açılı uygulanmıştır.



Şekil 4-10 Özürlü Rampası Üzerine Yük Uygulanması

Uygulanan yük en kötü durumu ortaya koymak açısından regülasyonlar da belirtilen maksimum yük olan 150 kg (Simetri koşulu uygulandığından dolayı toplam yükün yarısı alınmıştır) olarak alınmıştır. Gene en kötü durumu ortaya koymak açısından yük, dış levhanın tüm yüzeyine değil, sadece tekerlekli sandalyenin tekerleklerinin bastığı yüzeylere lokal olarak uygulanmıştır .

Şekil 4.11'den de görüleceği gibi, yük ve sınır koşulları parça boyunca simetrik olduğundan dolayı, ZX eksenine boyunca simetri koşulları uygulanmıştır. Yani parçanın ZX eksenine göre yarısı, ANSYS içine import edilerek hesaplama süresi kısaltılmıştır. Bal peteği çekirdek ve dış kompozit levhaların kendi ağırlıklarını da hesaba katmak için parçalara yer çekimi kuvveti uygulanmıştır.

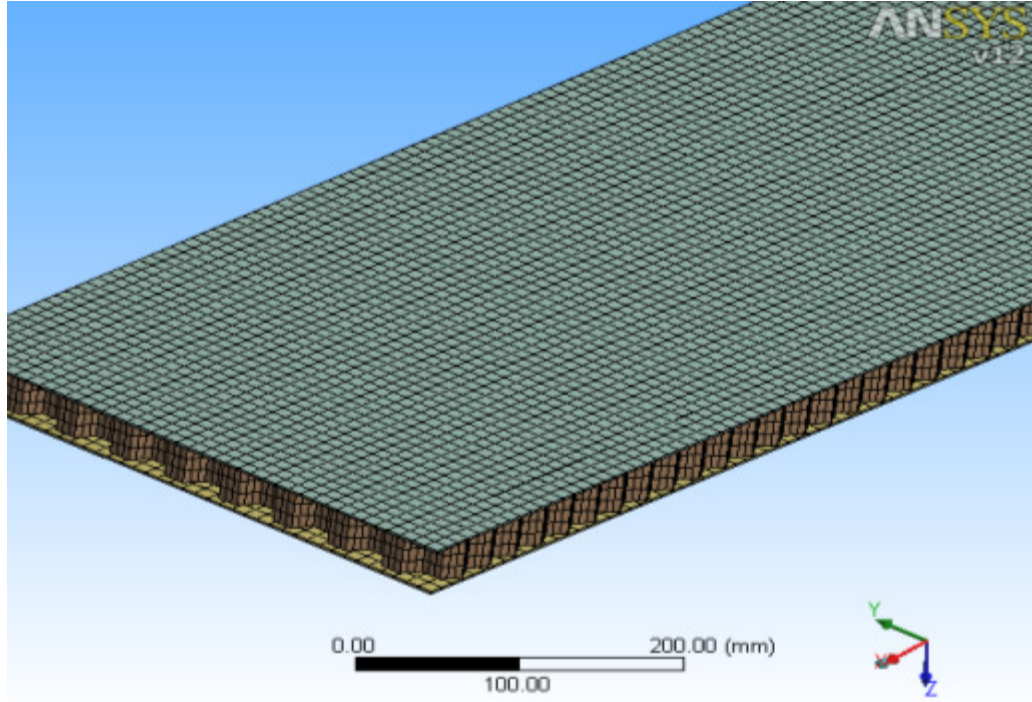


Şekil 4-11 Özürlü Rampası Sınır Koşulları

4.3.3. Sonlu Elemanlar Ağı

Sonlu elemanlar analizlerinde sonuçlar; kullanılan sonlu eleman ağı kalitesi, uygunluğu ve yoğunluğu ile yakından alakalıdır. Model üzerinde ne kadar çok eleman ve düğüm noktası oluşturursak, sonuçlar doğruya o kadar yakın çıkacaktır. Modelde yüksek stres yığılmaları olabilecek bölgeler, diğer bölgelere göre daha sık mesh'lenmelidir. Bizim modelimizde yük uygulanan bölge bu tarz bir bölge olmadığından, modelde her noktada eşit sıklıkta sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Burada kısıt, malzemenin her yerinde yüksek yoğunlukta sonlu eleman ağı kullanılırsa hesaplama süresi bu derecede uzayacaktır.

Bu çalışmada en iyi sonucu almak üzere model, dörtkenarlı elemanlara ayrılmıştır (Eleman tipi Quadrilaterals). Sonlu eleman ağı oluşturma metodu olarak, ANSYS'te süpürme (Sweep) yöntemi seçilmiştir. Sonuç olarak Şekil 4.12 de görülen model, 128356 düğüm noktası ve 66378 elemandan oluşmuştur.



Şekil 4-12 Sonlu Eleman Ağı Oluşturulmuş Rampa Modeli

4.3.4. Malzeme Özellikleri

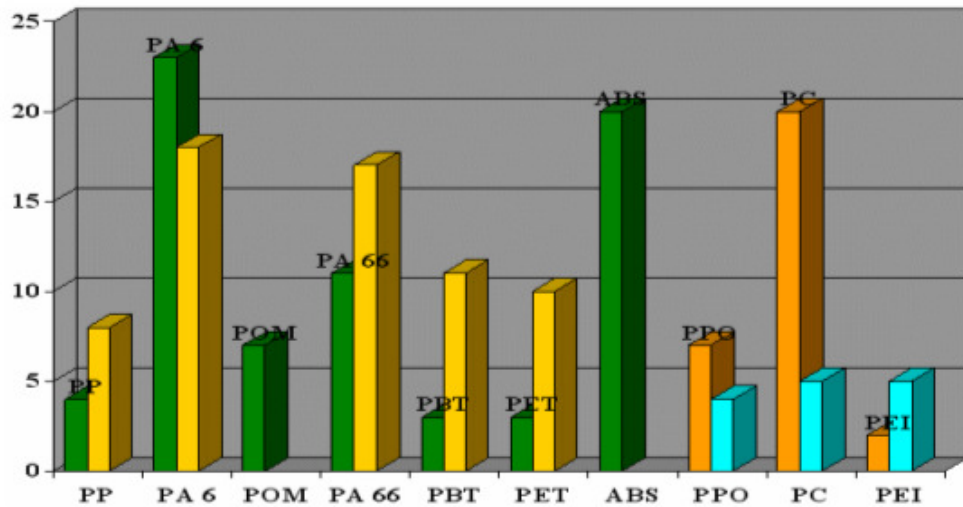
Bu çalışmada ele aldığımız modelimiz, genel olarak 3 ayrı parçanın birleşmesinden oluşmaktadır. Bunların ikisi, iç-dış kompozit levha. Diğeri ise bal peteği çekirdektir. Bu parçalardan bal peteği yapı malzemesi olarak çok çeşitli seçenekler kullanılabilir (Al., PP, HDPE, LDPE ,PA,PVC vs.). Bal peteği malzemesi olarak kullanılan bazı plastiklerin özellikleri Tablo 4.1 de görülmektedir.

Tablo 4-1 Bazı Plastiklerin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Malzeme Özgöl Ağırlığı (gr/cm ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
PP – Poli Propilen	0.9	1120-3000	50-70
PA – Poli Amid	1.06	2000-3500	60-100
PE - Poli Etilen	0.92	105-1260	7-37
PVC – Poli Vinil Klorür	1.5	2800-4200	40-60
PS – Poli Stiren	1.08	2660-3150	35-68
ABS – Akrilonitri Bütadien Stiren	1.05	-	42-50
Selülozikler	1.2	-	20-50
PMMA – Poli Metil Meta Kürilat	1.11	2450-3150	50-90

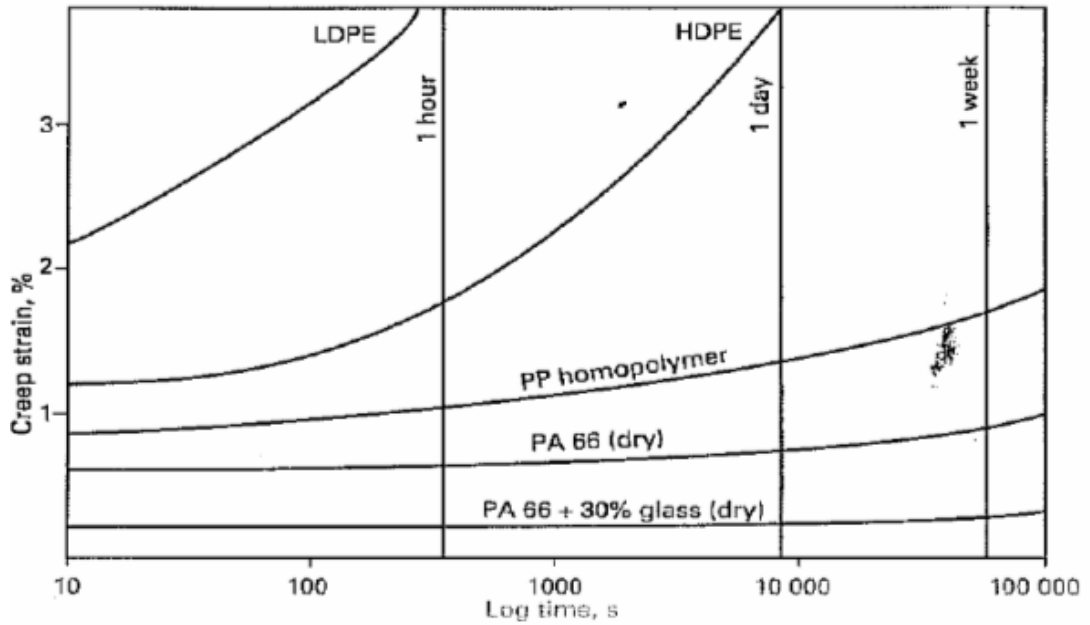
Bu çalışmada başlangıçta kullanacağımız bal peteği malzemesini hafif olması ve fiyat açısından uygun olması için Termo plastikler arasından seçilmiştir. Seçim yaparken şu kriterler göz önüne alınmıştır;

- **Darbe Dayanımı:** Termoplastik katkılı malzemeler de darbe dayanımını etkileyen faktörler sıcaklık ve polimer zincirlerlerinin uzunluğudur. Molekül ağırlığı arttıkça malzemenin darbe dayanımı da artmaktadır. [Maxwell, J. 1994]



Şekil 4-13 Bazı Termoplastik Malzemelerin Darbe Dayanımları

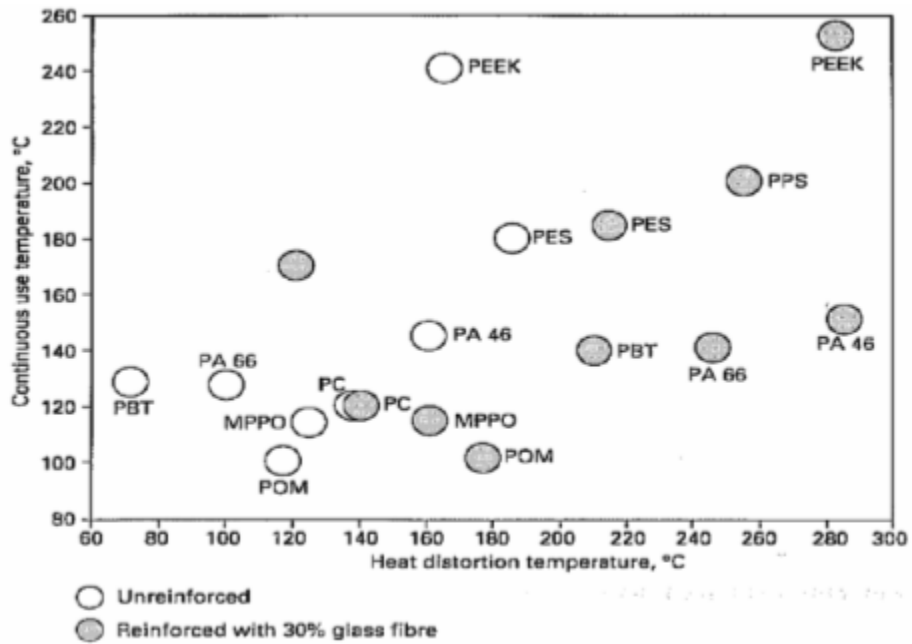
- **Yanma Davranışı:** Termoplastikler için; aromatik içerik arttıkça yanma direnci de artmaktadır. Tamamı ile aromatik olan termo plastikler (PPS,PES,PEEK vs.) tüm testlerde ilave katkı maddesi kullanmaksızın iyi sonuçlar vermişlerdir. Bu plastiklerden sonra yarı-aromatik termo plastikler olan PC,PBT ve PET gelir. Termo plastikler içinde en kötü yanma davranışına sahip olanlar ise PA 6, PA 66 ve PA 46 dır. [Maxwell, J. 1994]
- **Sürünme (Creep):** Sürünme olayı termo plastikler için en önemli faktörlerden biridir. Plastiklerde sürünme sonucu kırılma meydana gelmesi olayı metallere göre çok daha fazladır. [Maxwell, J. 1994]



Şekil 4-14 Bazı Termoplastik Malzemelerin Sürünme Eğrileri

- **Kimyasal direnç:** Yarı-kristal yapılı termo plastiklerin kimyasal direnci, amorf yapılı olanlara göre daha fazladır. Kimyasal direnç sıcaklık ile değişmektedir.
- **Sürtünme ve Aşınma:** PTFE, termo plastikler içinde en düşük sürtünme katsayısına sahiptir. [Maxwell, J. 1994]

- **UV ışınlarına dayanım**
- **Boyutsal Stabilité:** Termoset malzemeler en fazla boyutsal stabiliteye sahiptir. Bunu amorf ve kristal yapılı termo plastikler takip eder. Tüm bu kategoriler için geçerli olan, fiber ile takviye edildiklerinde bu özelliklerinin artmasıdır.
- **Şeffaflık:** Cam görünümlü malzemeler, amorf yapılı termo plastikler kullanarak elde edilir. Bunlar PC, PMMA, SAN VE PS dir.
- **Sıcaklık Dayanımı (Kısa süreli):** Plastik malzemeler için kısa süreli olarak dayanabileceği maksimum sıcaklık “Heat Distortion Temperature (HDT)” olarak bilinir.
- **Sıcaklık Dayanımı (Sürekli):** Plastik malzemeler için uzun süreli sıcaklık dayanım stabilitesi “thermal ageing” olarak bilinir. Termo plastik malzemeler oksijen içeren ortamlarda ısıya maruz bırakılırlarsa yüzey üzerinde zamanla bozulmalar olur. Bu bozulmalar geri çevrilemez sonuçlardır. Uzun fiberler veya keçe ile güçlendirilmiş plastikler bu etkiye çok daha fazla dirençlidirler . [Maxwell, J. 1994]



Şekil 4-15 Bazı Termoplastiklerin Sıcaklık Dayanımları

Şekil 4.15 de çeşitli termo plastiklerin uzun ve kısa süreli sıcaklık dayanım değerleri tek bir grafik halinde görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi tüm güçlendirilmiş termo plastikler HDT değer bölgesine girebilirken, sürekli sıcaklık bölgesinde kullanımları daha seyrek.

Tüm bu seçim kriterleri ve özüllü rampasının çalışma koşulları göz önünde bulundurularak, bal peteği çekirdek malzemesi olarak PP malzeme seçilmiştir. PP, mukavemeti ve yumuşama sıcaklığı oldukça yüksek olup sudan hafiftir. Kimyasal yönden inerttir ve su emmesi çok azdır. PP bal peteği malzeme için elastisite modülü, poisson oranı, yoğunluk ve akma mukavemeti değerleri sırası ile;

$$E = 2.9 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$\rho = 0.9 \text{ gr/cm}^3$$

$$\sigma_a = 22 \text{ MPa}$$

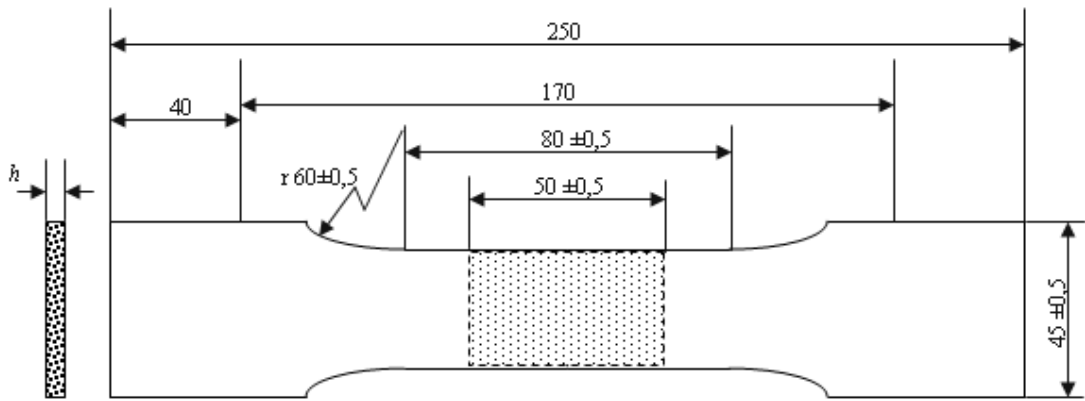
Şeklindedir. Bu özellikler ANSYS programında, ilgili modellerin malzeme kısımlarına yazılır.

Modelimizde bulunan bir diğler parça da, bal peteği çekirdek yapıyı örten levhalardır. Bu levhalar, rast gele dağılmış kısa fiberlerle desteklenmiş kompozit malzeme şeklindedir. İlk deneme için levhalarda kullanılacak olan takviye elemanı cam fiber olarak seçilmiştir. Bu levhaların mekanik özelliklerini doğru biçimde tespit etmek için, malzeme ile aynı özelliklere sahip numune parçalar çekme testine tabii tutulmuştur.

4.3.4.1. Cam Elyaf Takviyeli Tabaka Çekme Testi

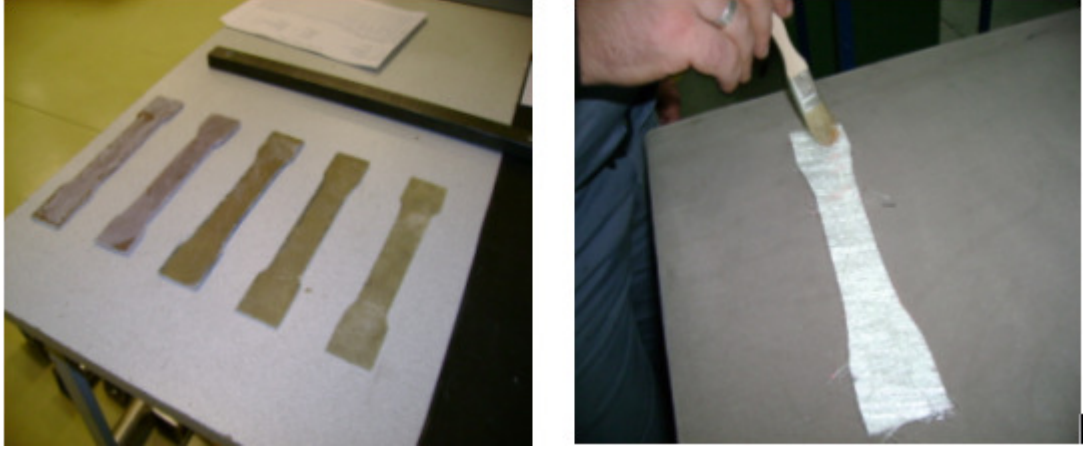
Bu çalışma da, çekme testi için kullanılan Standard, JIS K 7054 “Testing method for tensile properties of glass fiber reinforced plastics” standardıdır. Bu test sonunda malzemenin Elastisite Modülü, Çekme Dayanımı ve Poisson Oranı gibi mekanik özellikleri belirlenmektedir.

Test için Standard da belirtilen ve Şekil 4.16 da görülen çekme testi numune parçasından 5 adet, el yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu 5 numune parçada çekme testine tabii tutulmuş ve sonuç olarak bu parçaların ortalaması alınmıştır. Parçalar AİOS (Anadolu ISUZU Otomotiv Sanayi) prototip atölyesinde hazırlanmıştır.



Şekil 4-16 Çekme Testi Numune Parçası [14]

El ile yatırma yönteminde dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları kalıp üzerine elle yatırılır ve üzerine sıvı reçine dökülerek elyaf katmanlarına emdirilir. Bu işlem kompozit levhalar için başlangıç kalınlık değeri olarak düşündüğümüz 4 mm değerine erişinceye kadar uygulanır. Elyaf yatırılmadan önce kalıp temizlenerek jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. Bu çalışmada elyaf olarak, CAM ELYAF A.Ş. ine ait MAT8-225 kodlu cam elyaf kullanılmıştır. Reçine olarak ise ERCO firmasına ait E-11 kodlu polyester reçine kullanılmıştır. Yeterli kürlenme için numuneler 2 gün bekletilmiştir. Sonuçta Şekil 4.17 de görülen 5 adet numune elde edilmiştir.



Şekil 4-17 İmal Edilen Cam Elyaf Takviyeli Çekme Testi Numune Parçaları

Çekme testi AIOS Kalite Kontrol Müdürlüğü bünyesinde bulunan, kalite kontrol laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülü ve poisson oranını elde etmek üzere, 5 adet test numunesi sırası ile Şekil 4.18 de görülen, Shimadzu AG - 250-kNG markalı hidrolik test cihazına bağlanmıştır. Bu cihaz her türlü metal ve metal dışı malzemenin çekme testinde kullanılmaktadır. Toplam 25 tonluk bir çekme kuvveti uygulayabilmektedir.



Şekil 4-18 Çekme Testi Cihazı

Çekme cihazı çeneleri arası 170 mm' ye ayarlandıktan sonra, çekme test makinesinde iki yönde hareket imkanı veren çeneler arasına yerleştirilen numuneler $10 \pm 2 \text{ mm/dak.}$ lık bir çekme hızı ile çekildiler. Tüm numunelere kopma anına kadar çekme yükü uygulanarak maksimum çekme gerilmeleri ve herhangi bir akmanın olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bilgisayar sistemine bağlı elektronik veri kaydedici aracılığı ile saniyede bir okumaya tekabül eden yük ve birim deformasyonlar kaydedilmiştir. Test numunelerini çeneler arasında tutmak için, çeneler tarafından 60 kg/cm² lik bir basınç uygulanmıştır.



Şekil 4-19 Çekme Testi Cihazı -2

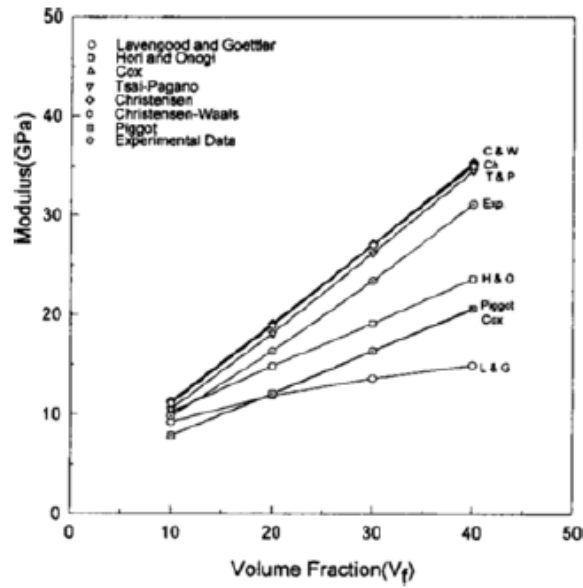


Şekil 4-20 Çekme Testi Uygulaması



Şekil 4-21 Gevrek Kırılmaya Uğramış Cam Elyaf Katkılı Test Numuneleri

Malzeme özelliklerinin belirlenmesinde çekme testi yerine, Bölüm 3.4.2 de gösterilen metotlardan herhangi biride kullanılabilir. Şekil 4.22 de tüm bu yöntemler sonucu elde edilen elastisite modüllerinin, deneysel yollarla elde edilen elastisite modülleri ile karşılaştırılmaları görülmektedir. Şekil incelendiğinde, bu metotların içinde, elastisite modülünü hesaplamada en başarılı sonuç verenlerden birinin Pigot yöntemi olduğu görülmektedir. Bu yöntemle göre elastisite modülü hesaplanırsa;



Şekil 4-22 Elastisite Modülünü Bulmakta Kullanılan Çeşitli Modellerin Karşılaştırılması

$$E_c = (1/5) E_f * V_f + E_m * V_m$$

Eşitliğinde, E_f değeri Tablo 3.3 den 80 GPa olarak, E_m değeri Tablo 4.2 den 2.76 GPa olarak alınır. “ V_f ” kullanılan fiber oranı 0.4 alınır (%40);

$$E_c = (1/5) * 80 * 0.4 + 2.76 * 0.6$$

$$E_c = 8.056 \text{ GPa}$$

Şeklinde bulunur.

Tablo 4-2 Polyester Reçine Özellikleri

Yoğunluk	gr/cm ³	1.17
Elastisite Modülü	GPa	2.76
Eğilme Direnci	GPa	0.126
Sıkıştırma Direnci	GPa	0.111
Gerilme Direnci	GPa	0.076

Çekme testinden elde edilen sonuçlara bakıldığında, malzemelerde herhangi bir akma olmadığı ve gevrek kırılma olduğu gözlemlenmiştir. Çekme testinden direkt olarak alınan sonuçlar (Şekil 4.23 ve Şekil 4.24) ile analitik yöntemle elde edilen E değeri için, mekanik özelliklerin aritmetik ortalaması tablo 4.3 de verilmiştir (ortalama aritmetik değerler yuvarlatılmıştır).

Tablo 4-3 Cam Elyaf Takviyeli Numune Çekme Testi Sonuçları

Test Numune No	Young Modülü ,E (GPa)	Akma Sınırı , σ_a (MPa)	Ortalama E (GPa)	Ortalama σ_a (MPa)
1	6.0352	60.89	7	60
2	6.2150	62.39		
3	6.8690	60.77		
4	6.7681	59.69		
5	6.8158	63.88		

ANADOLU ISUZU OTOM. SAN. TIC. AS.

Laboratuvar Çekme Test Raporu

Parça Adı ÇEKME NUMUNESİ

Parça No *

İmalatçı *

Malzeme FRP

SIRA NO: *

Shape: Plate

Width: 33.00

Thickness: 4.00

Gauge Length: 170.00

Name: 1

Remark:

Çekme Num. (mm) *

Test Standartı JIS K 7054

Ölçüm Yapan Ahmet KORUBEYİ

Tarih 13.11.2009

Calc.	Elastic	YS1-Stress	Max-Stress	Max-Strain	Max-Disp.
CP1, CP2	4000.000, 8000.000	0.200			
CP Unit	[N]	[%]			
Pass-Fail	Pass, Fail	Pass, Fail	Pass, Fail	Pass, Fail	Pass, Fail
Unit	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]	[%]	[mm]
1	6036.31	.	60.9041	1.01118	1.90800

[N]

10000

8000

6000

4000

2000

0

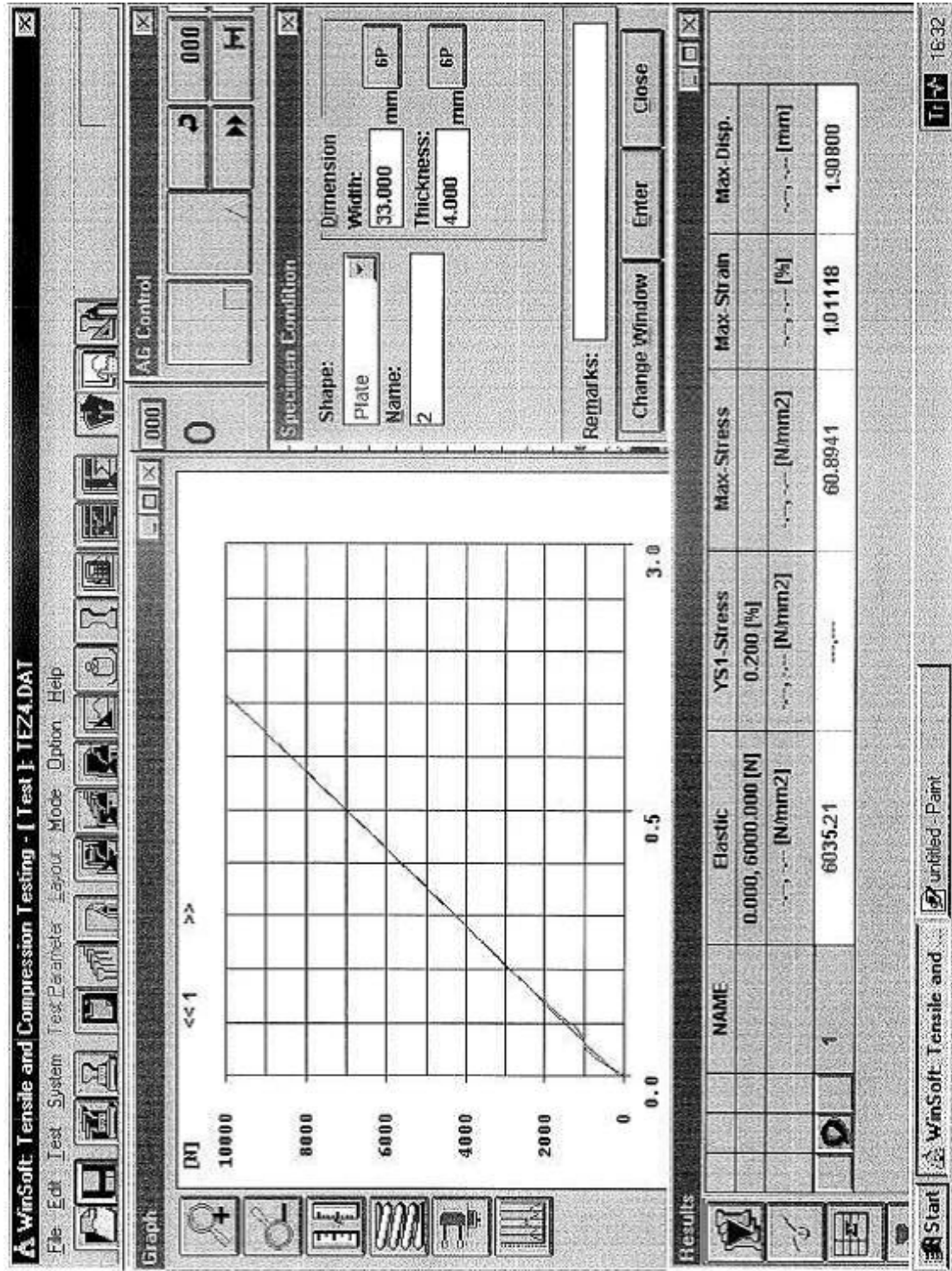
0.0

0.5

3.0

[mm]

Şekil 4-23 Cam Elyaf Takviyeli Numune AİOS Çekme Testi Raporu



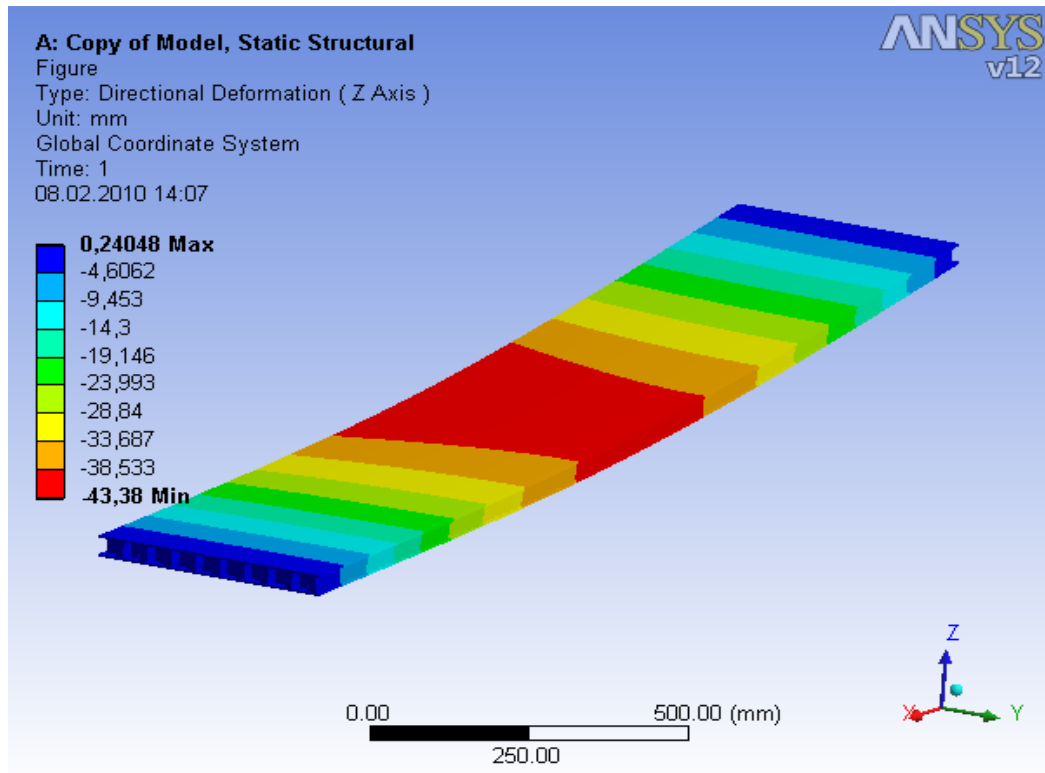
Şekil 4-24 Cam Elyaf Takviyeli Numune AIOS Çekme Testi Bilgisayar Çıktısı

4.3.5. Cam Elyaf Takviyeli Tabaka & PP Bal Peteği Hücre Analiz

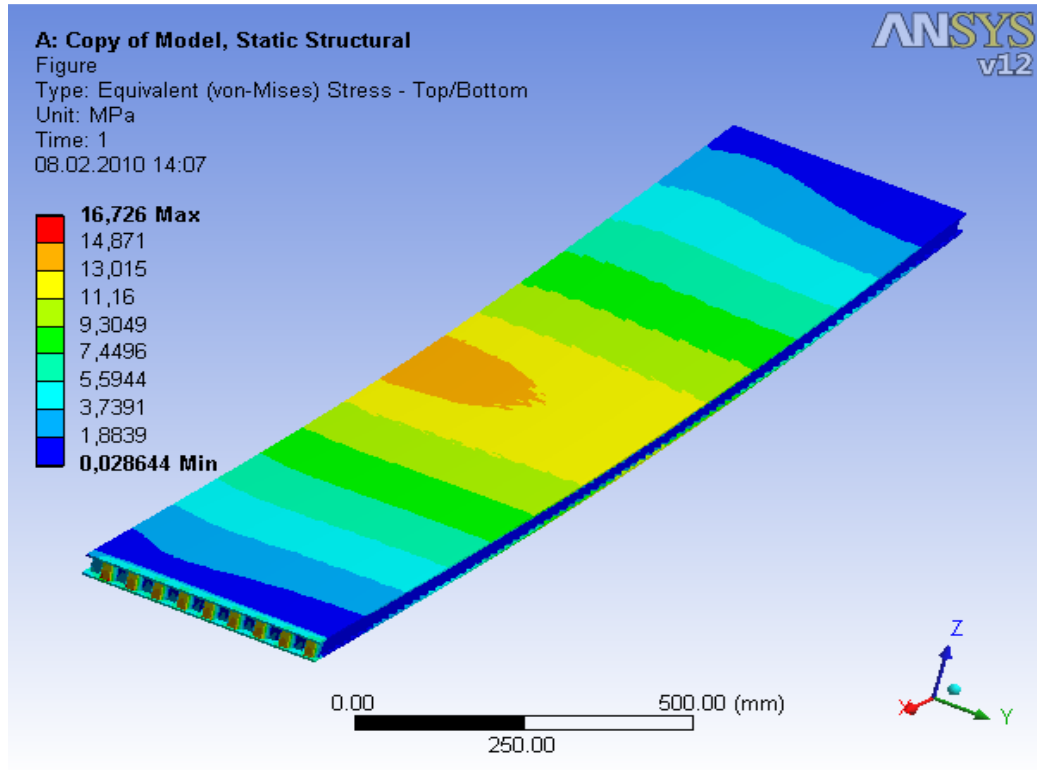
Sonuçları

Önceki bölümlerde belirtilen yük, sınır koşulları ve malzeme bilgileri modele uygulandıktan sonra analiz çözülür. Çözüm için ANSYS 12 de bulunan çözüm metotlarından Sparce Direct yöntemi uygulanmıştır. Bu metot da, her eleman ve düğüm noktası için oluşturulan sonlu eleman matrisleri sırası ile çözülür. Bu matrisler bir takım lineer denklem takımından oluşurlar. Bu metot da, diğer yöntemlere göre çözüm süresi çok daha kısadır. [15]

Modelin 2001/85/EC Regülasyonlarındaki ilgili maddeleri sağlayıp sağlamadığını görmek için, çıktı olarak her bir malzemenin (kompozit dış kabuklar, PP bal peteği çekirdek ve komple model) ayrı ayrı “Z” yönündeki yer değiştirmelerine ve Equivalent Stress (Von-Mises) değerlerine bakılır.



Şekil 4-25 Cam Elyaf Takviyeli Komple Modelin "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



Şekil 4-26 Cam Elyaf Takviyeli Komple Modelde Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

Şekil 4.25 den görüldüğü gibi modeldeki maksimum yer değiştirme, beklendiği gibi tekerlekli sandalyenin ayaklarının bastığı bölgede oluşmuştur ve değeri “Z” yönünde 43.38 mm dir. Modeldeki maksimum gerilme ise, Şekil 4.26 dan görülebileceği gibi, rampanın kaldırılma ve araç içine dayandığı bölgelerde oluşmuş ve değeri 16.726 MPa dır.

Modelde oluşan 43.38 mm değerindeki sehîm değeri kabul edilebilir bir değeri değildir. Bu yüzden rampada oluşan maksimum gerilme değeri incelemeden önce, analizimizi dış levha malzemesini değiştirerek tekrarlayacağız.

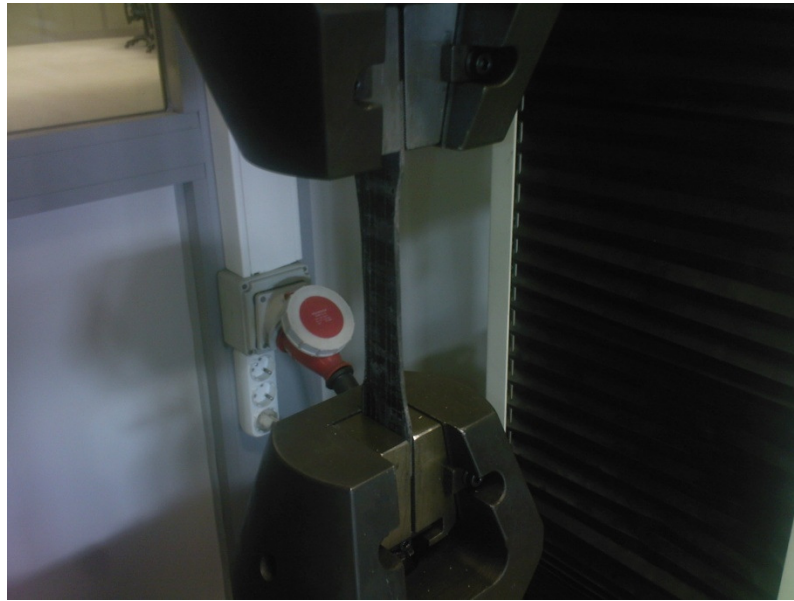
4.3.6. Karbon Elyaf Takviyeli Tabaka & PP Bal Peteği Hücre Analiz Sonuçları

Cam elyaf katkılı dış levhalardan oluşan rampa modelimiz Bölüm 4.3.5 de görüldüğü gibi olması gerekenden fazla sehîm vermiştir. Bu yüzden analizi çok daha yüksek mekanik özelliklere sahip olan karbon elyaf katkılı dış levhalardan oluşan bir rampa modeli kullanarak tekrarlayacağız.

Test numuneleri hazırlanırken, karbon elyaf olarak POLIYA POLIESTER firmasından temin edilen Çapraz Desen 3K, 2 x 2 orta modülüs elyaf kullanılmıştır. Reçine olarak ise ERCO firmasına ait E-11 kodlu polyester reçine kullanılmıştır. Malzeme özelliklerini elde etmek üzere, Bölüm 4.3.4.1 de anlatıldığı şekilde imal edilen çekme testi numuneleri, gene aynı bölümde anlatıldığı gibi çekme testine tabii tutuldular.



Şekil 4-27 Karbon Elyaf Takviyeli Çekme Testi Numunesi



Şekil 4-28 Karbon Elyaf Takviyeli Numunenin Çekilmesi

Karbon elyaf ile takviye edilmiş numune parçanın Pigot yöntemi ile elastisite modülü bulunmak istenirse; [Lee. D. 1995]

$$E_c = (1/5) E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m$$

Eşitliğinde, E_f değeri Tablo 3.5 den 290 Gpa (Orta modülüs) olarak, E_m değeri Tablo 4.2 den 2.76 GPa olarak alınır. “ V_f “ kullanılan fiber oranı 0.4 alınırsa (%40);

$$E_c = (1/5)*300*0.4 + 2.76 *0.6$$

$$E_c = 25.6 \text{ GPa}$$

Şeklinde bulunur.

Çekme testinden elde edilen sonuçlar ile birlikte bu değerin ortalama değeri alınırsa, karbon fiber takviyeli çekme test numunesi için mekanik özellikler Tablo 4.4 deki gibi bulunur.

Tablo 4-4 Karbon Elyaf Takviyeli Numune Çekme Testi Sonuçları

Test Numune No	Young Modülü ,E (GPa)	Akma Sınırı , σ_a (MPa)	Ortalama E (GPa)	Ortalama σ_a (MPa)
1	24.227	279.372	25	280
2	23.215	280.391		
3	26.869	283.773		
4	25.768	269.692		
5	28.815	283.881		

ANADOLU ISUZU OTOM.SAN.TIC.AS. Laboratuvar Çekme Test Raporu

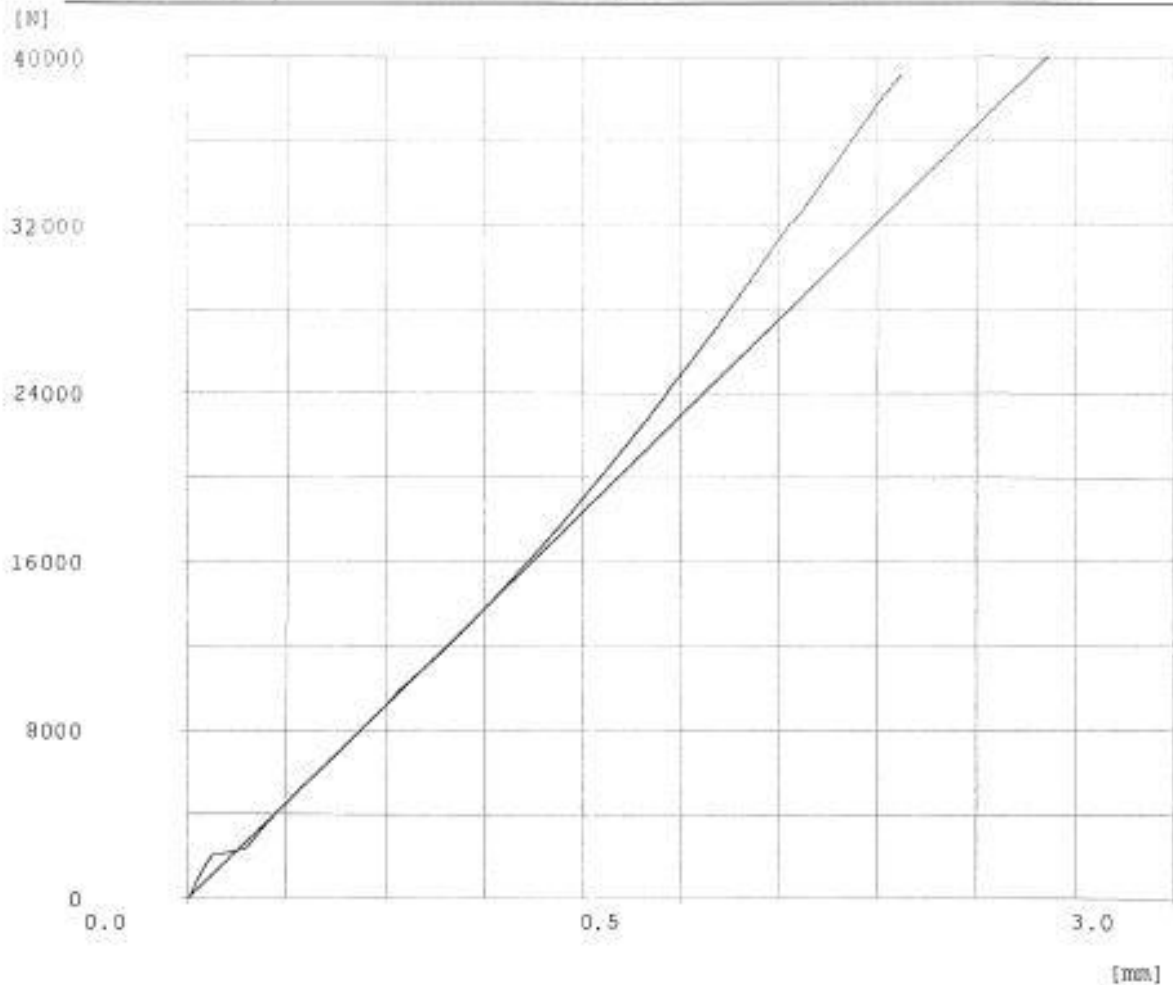
Parça Adı CARBON FIBER NU MUNE
Parça No *
İmalatçı *
Malzeme FRP
SIRA NO:

Çekme Num. (mm) 3.5 mm
Test Standartı JIS K 7054
Ölçüm Yapan Ahmet KORUBEYİ
Tarih 25.11.2009

Shape: Plate
Width: 33.00
Thickness: 4.00
Gauge Length: 170.00
Name: 1

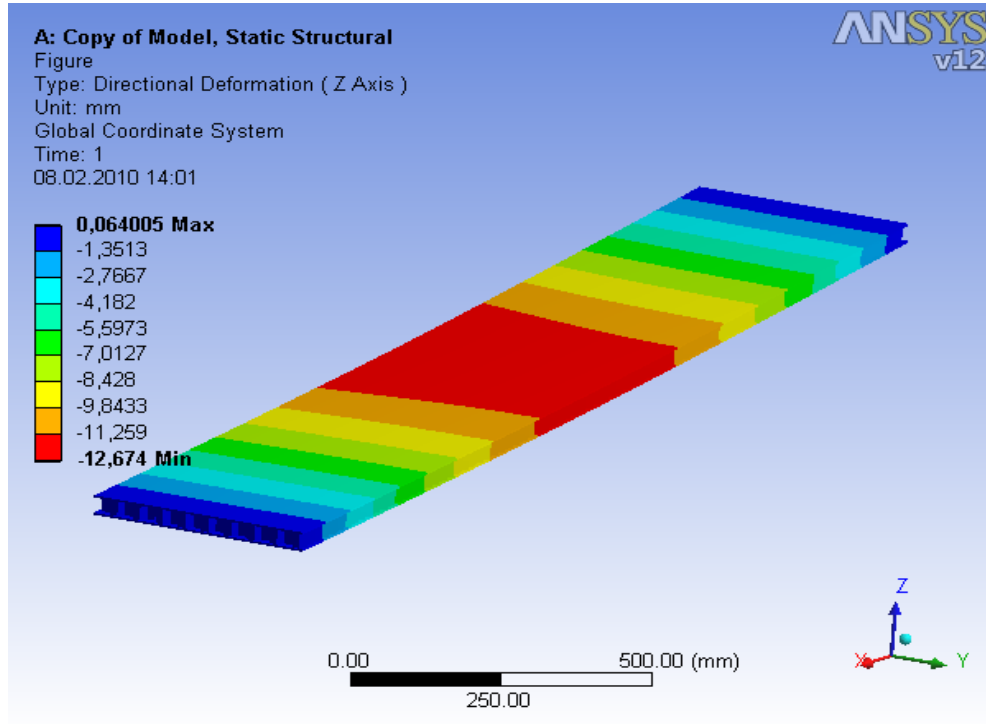
Remarks:

Calc.	Elastic	YS1-Stress	Max-Stress	Max-Strain	Max-Disp.
CP1, CP2	120000.0 26000.000	0.200			
CP Unit	[N]	[%]			
Pass-Fail	Pass, Fail	Pass, Fail	Pass, Fail	Pass, Fail	Pass, Fail
Unit	[N/mm2]	[N/mm2]	[N/mm2]	[%]	[mm]
1	24227.60	---	279.372	1.19706	2.09200

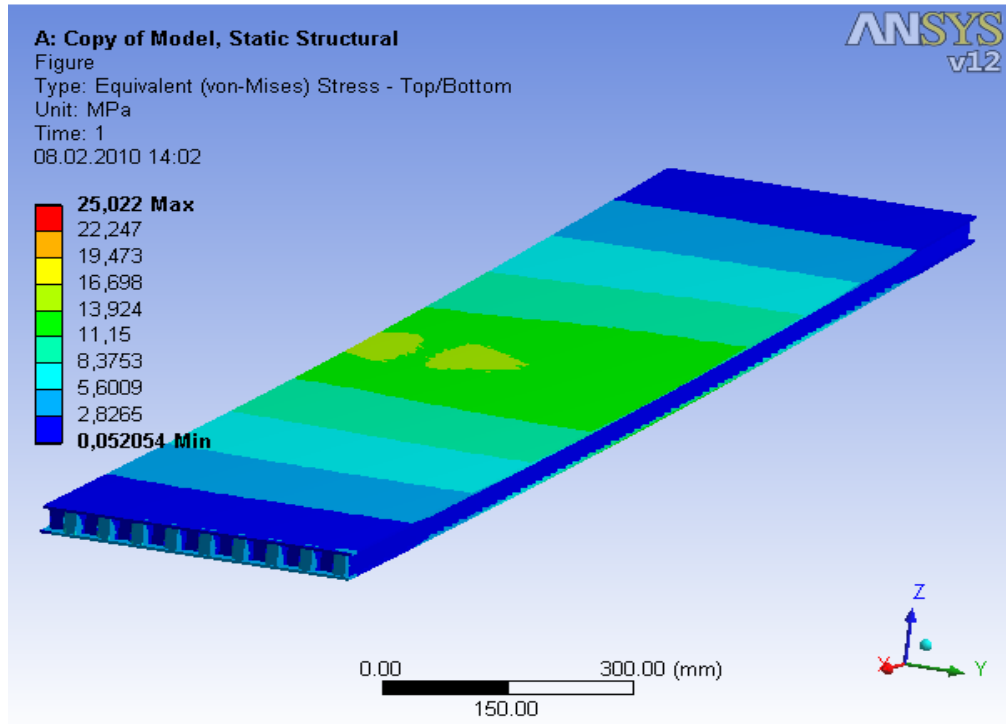


Şekil 4-29 Karbon Elyaf Takviyeli Numune AİOS Çekme Testi Raporu

Analizimizi bu mekanik özelliklere göre yeniden çalıştırdığımızda oluşan yeni yer değiştirme ve gerilme değerleri, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32 deki gibi bulunmaktadır.



Şekil 4-31 Karbon Elyaf Takviyeli Komple Modelin "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



Şekil 4-32 Karbon Elyaf Takviyeli Komple Modelde Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

Şekil 4.31 den görüldüğü gibi modeldeki maksimum yer değiştirme, bir önceki analizde olduğu gibi gene tekerlekli sandalyenin ayaklarının bastığı bölgede oluşmuştur ve değeri “Z” yönünde 12.674 mm dir. Modeldeki maksimum gerilme ise, Şekil 4.32 den görülebileceği gibi, rampanın kaldırırma ve araç içine dayandığı bölgelerde oluşmuş ve değeri 25.022 MPa dır.

Modelde oluşan 12.674 mm değerindeki sehim değeri bu defa kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Fakat bu sehim değerine ulaşırken, modeldeki hiçbir parçanın hasar görmemesi gerekir. Bunun için modeldeki tüm parçalar “Von-Mises “ hasar teorisine göre ayrı ayrı incelenmelidir. Huber tarafından 1904’te ortaya atılmasına rağmen Von Misses Teorisi olarak bilinen bu teoriye göre şekil değiştirme enerjisinin belli bir değeri aşması ile cisimde hasar başlar. Yani malzeme içerisinde oluşan maksimum stres değeri, malzemenin akma gerilmesi değerine ulaştığı anda malzeme hasar görmeye başlar. Bu teori;

$$\sigma_e = \left(\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] \right)^{\frac{1}{2}}$$

şeklinde ifade edilir. Burada σ_e malzemenin akma gerilmesidir. [Yayla, P. 2001]

Bu bilgiler ışığında Tablo 4.5 de modeldeki tüm parçalar için ayrı ayrı yer değiştirmeler, akma sınırları ve Equivalent Stress ler görülebilir. Tablo 4.5 den de görülebileceği gibi kullanılan tüm parçalarda oluşan maksimum gerilme değerleri, akma sınırlarının altında oluşmuştur. Bu da rampa modelinin uygulanan yük altında hasar görmeden çalışabileceğini göstermektedir.

Tablo 4-5 Analiz Sonucu Oluşan Değerler

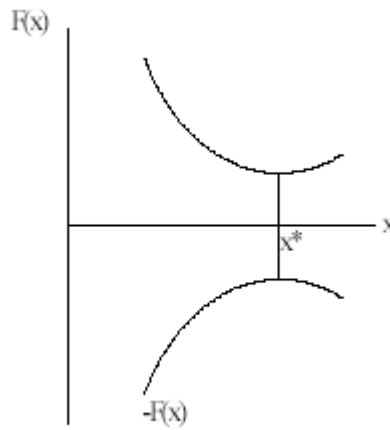
Parça	Akma Sınırı (MPa)	Von Misses Stres (MPa)	“Z” Yönünde Yer Değiştirme (mm)
Üst Kompozit Levha (C Fiber Takviyeli)	280	14.652	12.674
Alt Kompozit Levha (C Fiber Takviyeli)	280	14.594	12.674
PP bal peteği çekirdek	22	6.3763	12.673

5.RAMPA OPTİMİZASYONU

Yapılan özürlü rampası analizinden sonra sonuçlara bakıldığında gövde üzerinde oluşan maksimum gerilme değerleri malzemenin akma değerinin altındadır. Maksimum yer değiştirme değerleri ise, rampanın güvenilir bir biçimde çalışmasını engellemeyecek kadar küçüktür. Rampa geometrisinin tanımlanan çalışma şartları altında uyumlu olarak ve deformasyon sınırlarının altında çalışabileceği yapılan analiz sonucu görülmektedir. Fakat rampanın yeni hali ile düzenli çalışmasının yanında maliyet ve ergonomi yönünden de uygunluk sağlaması kullanıcılar ve üreticiler açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı olan rampanın daha hafif, dolayısı ile ergonomik olması amacına ulaşmak üzere; bu bölümde rampanın optimizasyon çalışması, Ansys Workbench içerisindeki Designxplorer optimizasyon modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. [Çelik, H.K. ve Ark. Uçar, M. Cengiz, A. 2007]

5.1. Optimizasyon Nedir

“Optimizasyonun matematiksel anlamı, bir fonksiyonun maksimum veya minimum değerini veren durumların bulunması işlemidir. “



Şekil 5-1 Optimizasyon Eğrisi

“Optimizasyonun mühendislik anlamı ise, verilen koşullar altında en iyi sonucu elde etme işidir. “

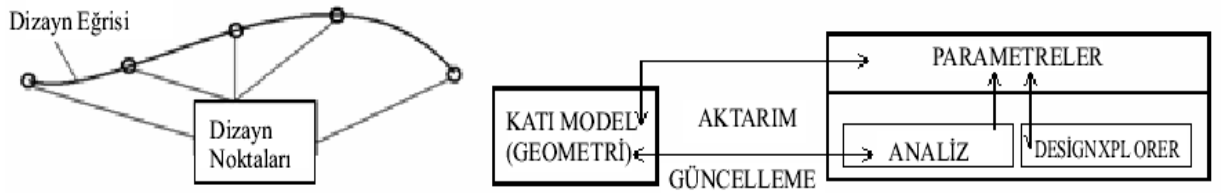
5.1.1. Optimizasyon Adımları

Bir optimizasyon probleminin matematiksel olarak formüle edilebilmesi için 3 adım vardır;

- **Dizayn Değişkenlerinin Tanımlanması:** Herhangi bir mühendislik sistemi bazı nicelikler ile tanımlanır. Bu niceliklerden bazıları başlangıçta sabit kabul edilir. Diğerleri dizayn işlemi boyunca değişken olarak davranır. Bunlara dizayn değişkenleri denir.
- **Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması ve Dizayn Değişkenleri Cinsinden İfade Edilmesi:** Klasik bir dizayn, problemin sadece fonksiyonel ve diğer bazı gereksinimlerini karşılandığı kabul edilen dizaynın bulunmasıdır. Genelde birden fazla kabul edilebilir dizayn vardır. Optimizasyonun amacı bunlar arasında “en iyi” olanını seçmektir. En iyiyi seçebilmek içinde bir kriter olmalıdır. Bu kriter dizayn değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiğinde amaç fonksiyonu adını alır.
- **Kısıtların Tanımlanması ve Dizayn Değişkenleri Cinsinden İfade Edilmesi:** Tüm mühendislik sistemleri verilen kaynaklara ve işleyiş gereksinimlerine göre tasarlanıp üretilirler. Bu kaynaklar ve gereksinimler çeşitli sınırlamalar doğurur. Uygun tasarımı elde etmek için sağlanması gereken bu sınırlamalar dizayn kısıtları olarak adlandırılır.

5.2. Özürlü Rampası Optimizasyonu

Optimizasyon çalışması, Ansys 12.0 içerisindeki Designxplorer modülü içindeki “Design of Experiment” (DOE) metodu temel alınarak gerçekleştirilmiştir. DOE metodu, optimizasyon için analiz sonrası sonuçları temel alarak örnek dizayn noktalarının yerini belirlemede kullanılan bir tekniktir. Bu örnek dizayn noktaları , belirli sayıda oluşturulan giriş parametrelerine (Dizayn değişkenlerine) bağlı analiz sonuç değerleridir. Oluşturulan dizayn noktaları ile bir dizayn eğrisi (Yüzeyi – Responce Surface) oluşturulur (Şekil 5.2) . [17]



Şekil 5-2 Dizayn Noktaları, Eğrisi ve Uygulama Akış Şeması

Sonlu elemanlar metodu analiz sonuçları; malzeme özellikleri, katı model parametreleri, kabuk kalınlığı gibi birçok giriş parametrelerine bağlıdır. DOE optimizasyon metodunda değişen her girdi parametresinde yeni bir sonlu eleman çözümü yapılır. Yukarıda bahsi geçen dizayn eğrisi, girdi parametrelerinin belirlenen alt ve üst limit değerlerine de bağlı olarak bu şekilde belirlenir. Aşağıdaki adımlar sırası ile izlenerek optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. [Çelik, H.K. ve Ark. Uçar, M. Cengiz, A. 2007]

1. Girdi ve cevap parametreleri tanımlanmış çalışmanın Designxplorer penceresine aktarılması
2. Dizayn eğrisi ve aday dizayn setlerinin yaratılması
3. Hedefler doğrultusunda en iyi dizaynın belirlenmesi

Bu çalışmada rampa modellemesi için kullanılan birçok parametre olmasına rağmen bunların hepsi optimizasyon çalışmasında tanımlanmamıştır. Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak rampanın toplam kütleinin minimum değerinin elde edilmesi seçilmiştir. Bu amaca ulaşırken sağlamamız gereken kısıtlar Şekil 5.3 de görülmektedir.

	I	J	K	L	M
1	P16- Equivalent(von-Mises)Stress(CAM ELYAFI TABAKA) (MPa)	P18- Equivalent(von-Mises)Stress(PP HÜCRE) (MPa)	P19- Z Axis (CAM ELYAFI TABAKA) (mm)	P20- Z Axis (CAM ELYAFI TABAKA) (mm)	P21- Z Axis (PP HÜCRE) (mm)
2					
3	Values <= Target ▼	Values <= Target ▼	Values >= Target ▼	Values >= Target ▼	Values >= Target ▼
4	350	25	-15	-15	-15
5	Default ▼	Default ▼	Default ▼	Default ▼	Default ▼

Şekil 5-3 Dizayn Kısıtları

Şekil 5.3 de görüldüğü gibi tüm parçaların (2 adet kompozit levha ve PP bal peteği çekirdek) yer değiştirme değerlerinin 15 mm altında olması istenmiştir. Ayrıca gene her bir malzeme için oluşan maksimum gerilmelerin, akma değerlerinin altında kalma şartı konmuştur. Dikkat edilirse burada kompozit levha için bu değer 350 MPa, PP bal peteği çekirdek yapı için ise 25 MPa alınmıştır. Bu değerler emniyet katsayısı içeren değerlerdir.

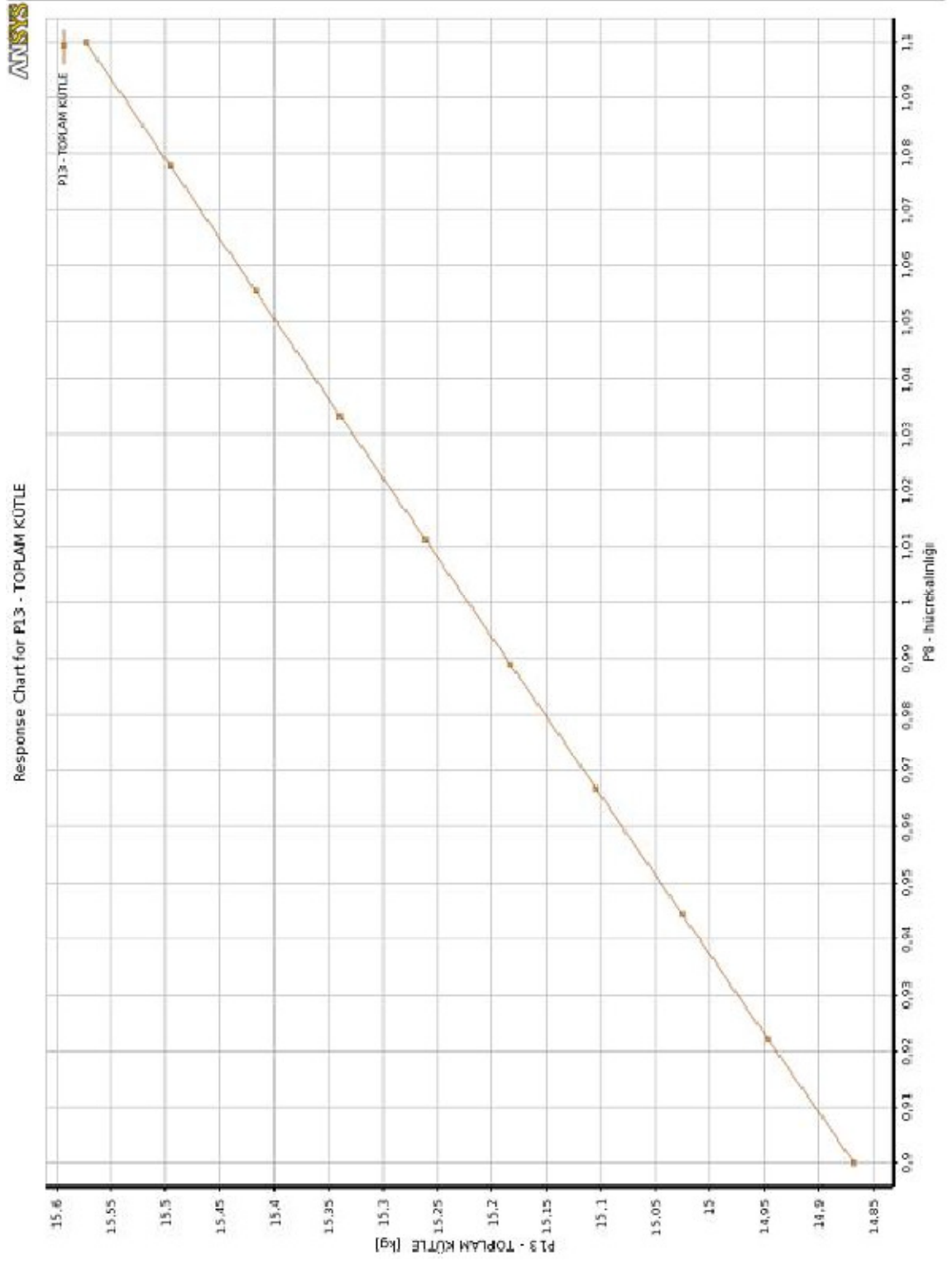
Optimizasyon analizi için seçilmesi gereken değerlerden bir diğeri de dizayn değişkenleridir. Bu çalışmada dizayn değişkenleri olarak; PP hücre yüksekliği, PP hücre kalınlığı, kompozit levha kalınlıkları ve hücre malzemesi young modülü belirlenmiştir.

Seçilen dizayn girdilerinin, dizayn kısıtları ve amaç fonksiyonu üzerindeki ağırlıklı etkileri Şekil 5.4 de görülmektedir. Görüldüğü gibi dış kompozit tabaka kalınlıkları, dizayn kısıtları ve amaç fonksiyonu üzerindeki en baskın girdidir.

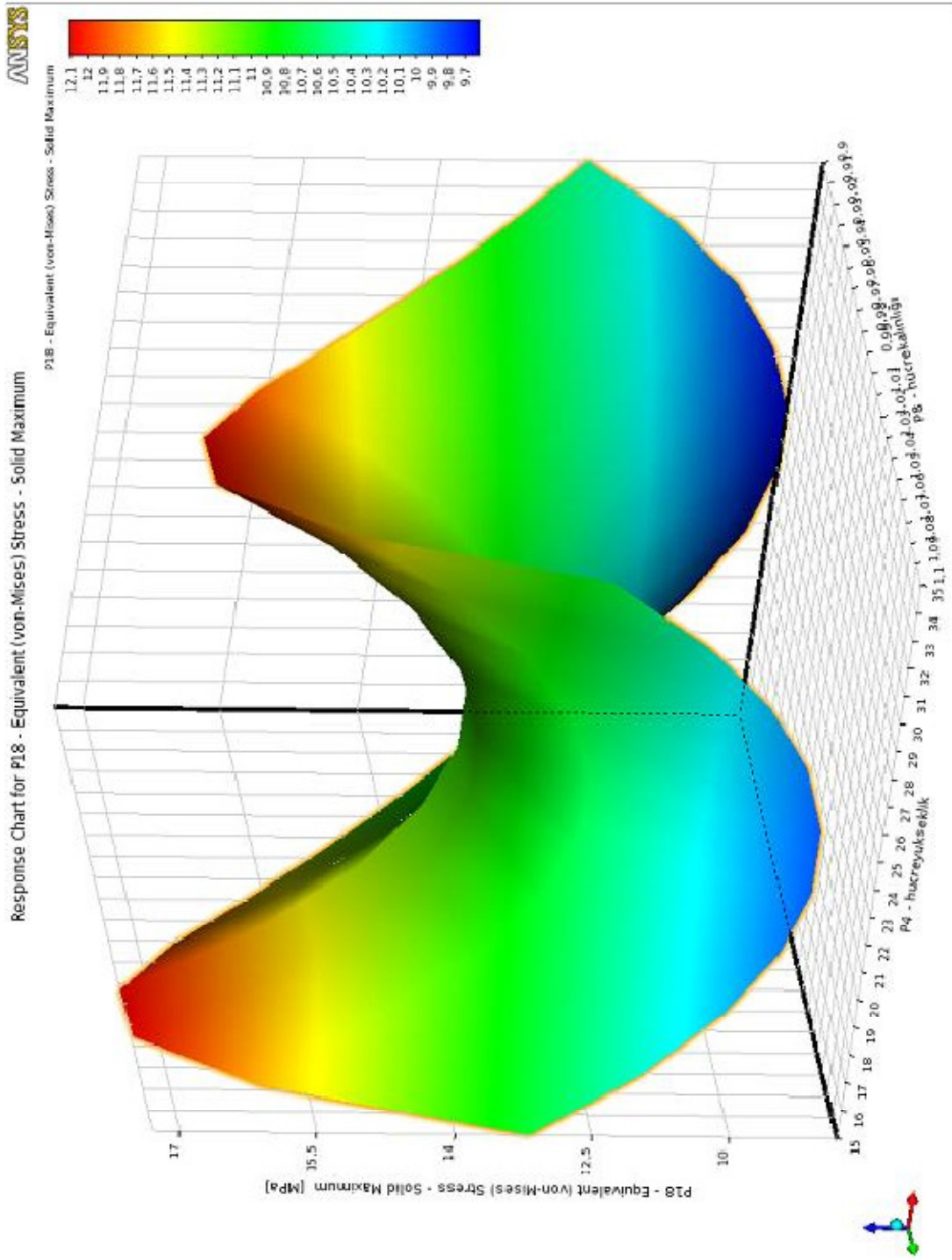


Şekil 5-4 Dizayn Değişkenlerinin Amaç Fonksiyonuna Etkileri

Amaç fonksiyonunun, bazı dizayn değişkenlerinden nasıl etkilendiği Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 da verilen grafiklerde görülmektedir. Dizayn değişkenlerinin değişimi ile amaç fonksiyonunun nasıl değiştiği bu grafikler yardımı ile açıkça görülebilmektedir. Ayrıca Şekil 5.7 de bazı dizayn değişkenleri değişimlerinin, optimizasyon kısıtlarını nasıl etkilediği görülmektedir.



Şekil 5-6 Amaç Fonksiyonu & Dizayn Değişkenleri -2

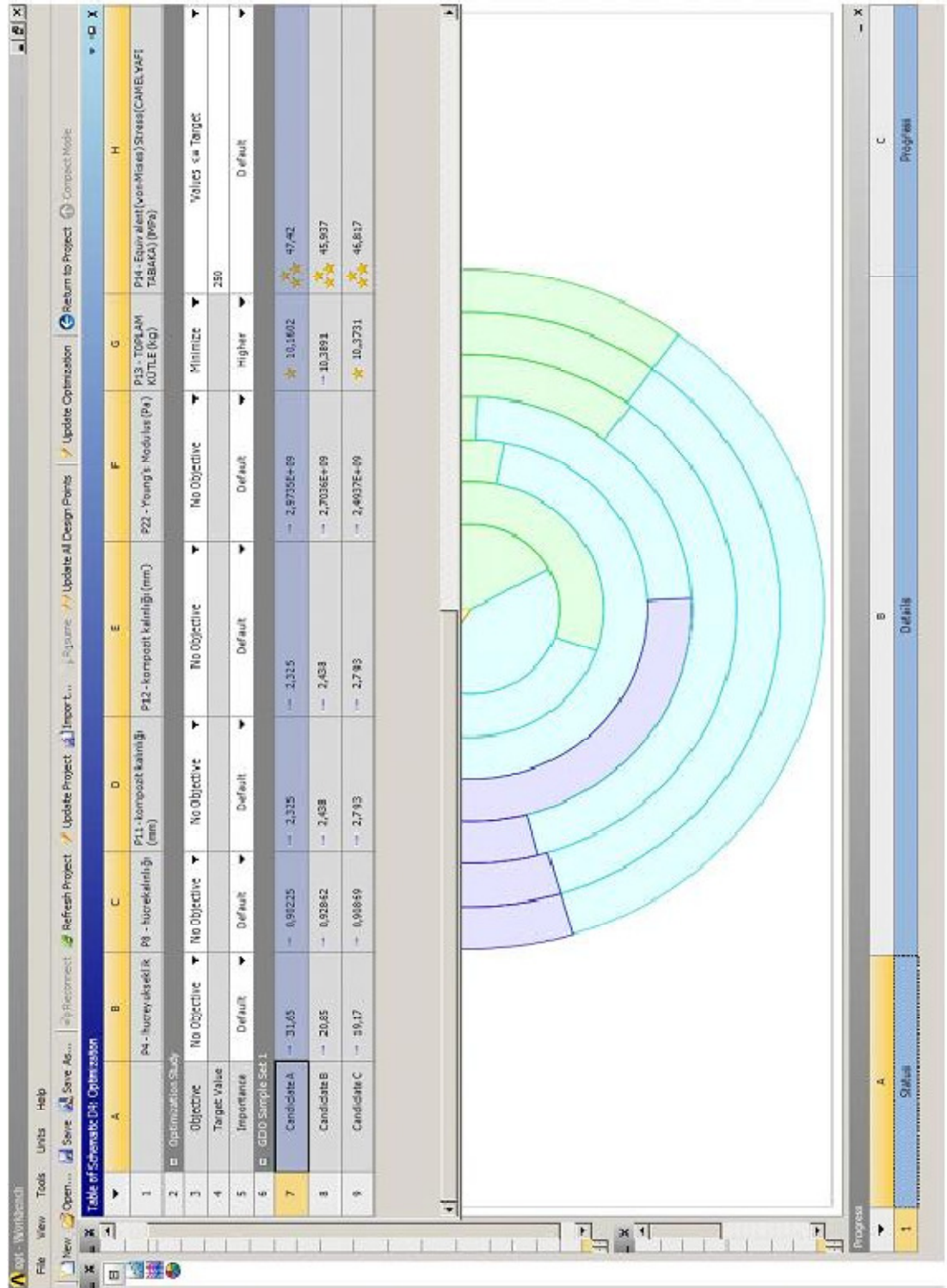


Şekil 5-7 Dizayn Değişkenleri & Optimizasyon Kısıtları Değişimi

Şekil 5.5 den açıkça görülebileceği gibi, bal peteği çekirdek malzemesinin young modülü değişimi, amaç fonksiyonu olan toplam kütle üzerinde etkili değildir. Fakat bal peteği hücre malzemesi kalınlığının artması toplam kütleyi arttırmaktadır. Gene aynı şekilde, Şekil 5.6 incelendiğinde, hücre kalınlığı ve kompozit levha kalınlığının artmasının toplam kütleyi nasıl arttırdığı görülmektedir.

Sonraki adımda hedeflenen çalışmaya uygun olarak aynı modül içerisinde yer alan “Goal Driven Optimization” (GDO) yaklaşımı ile dizayn için belirlenen sınırlamalar ve hedef fonksiyon doğrultusunda dizayn değişkenlerinin hangi değerleri alacağı değerlendirilmiştir. GDO yaklaşımı, kurulan parametreler doğrultusunda en iyi dizayn değerlerini belirlemek için kullanılan bir yaklaşımdır. Dizayn setlerinin oluşturulmasından sonra hedef fonksiyon doğrultusunda ulaşılmak istenen değerler, sınırlamalar ve öncelikleri tanımlanır. Özürlü rampası için amaç fonksiyon minimum ağırlıktır. Bunun yanında dizayn değişkenleri olan PP hücre yüksekliği, PP hücre kalınlığı, kompozit levha kalınlıkları ve hücre malzemesi young modülü, cevap parametreleri (kısıtlamalar); Equivalent Stres ler ve yer değiştirme değerlerinin de hangi değerler arasında istendiği tanımlanmalıdır. Bunun için program içerisinde verilen istekler doğrultusunda 3 aday dizayn için tanımlamalar yapılmıştır (Şekil 5.8). Bu dizaynlar arasından en uygun dizayn seçilir. Bu sonuçlar aday dizaynların yaratılması sırasında verilen hedef tanımlamaları ve sınırlamalarına göre ortaya çıkan sonuçlardır. [Çelik, H.K. ve Ark. Uçar, M. Cengiz, A. 2007]

Bu çalışmada 1 numaralı aday dizayn için, tanımlanan hedefler ve sınırlamalar doğrultusunda ortaya çıkan sonuçlar diğer sonuçlar ile karşılaştırıldığında minimum ağırlık, minimum yer değiştirmeye göre daha uygun olduğu, gerilme değerinin ise malzemenin akma sınırının altında kaldığı görülmektedir. Bu değerler altında programın verdiği uygunluk derecesi de göz önüne alınarak özürlü rampa tasarımı dizayn değişkenleri için en uygun adayın “A” adayı olduğu görülmektedir.



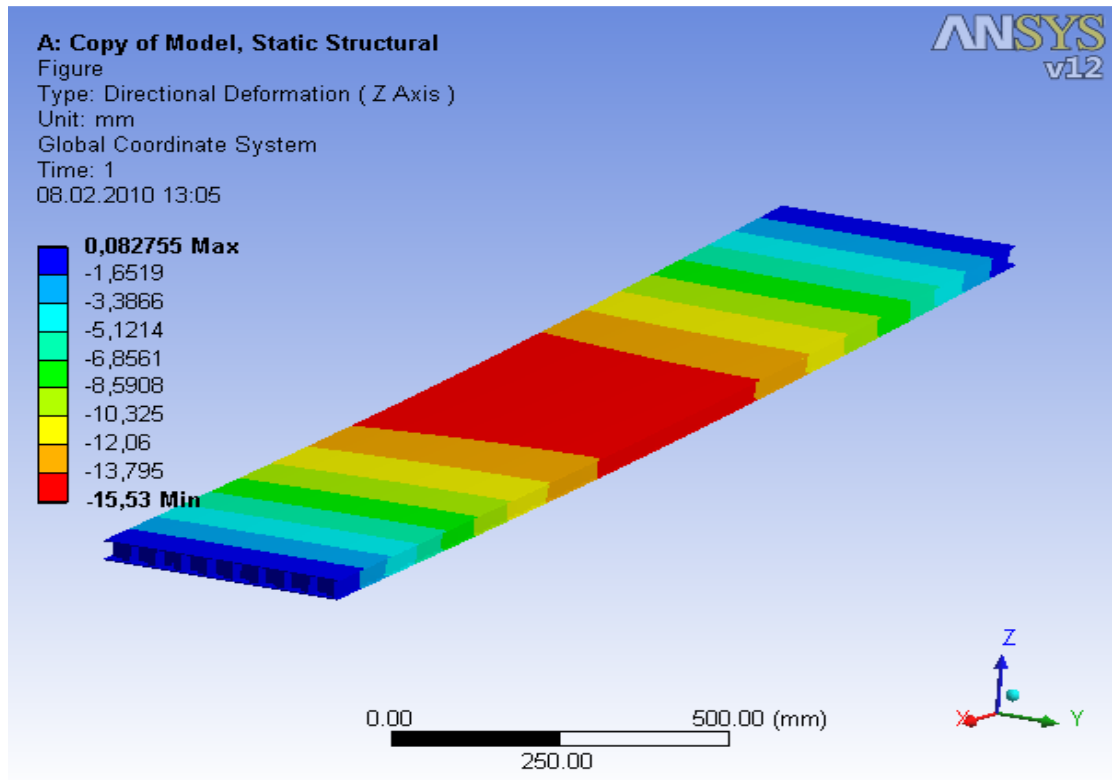
Şekil 5-8 Program Tarafından Belirlenen Aday Dizaynlar

Optimizasyon da son aşama, seçilen dizayn değerlerinin katı model geometrisine uygulanması ve tekrar analizde doğrulanmasıdır. Bu işlem sonrasında, optimizasyon öncesi ve sonrası değerler Tablo 5.1 deki gibi oluşmuştur.

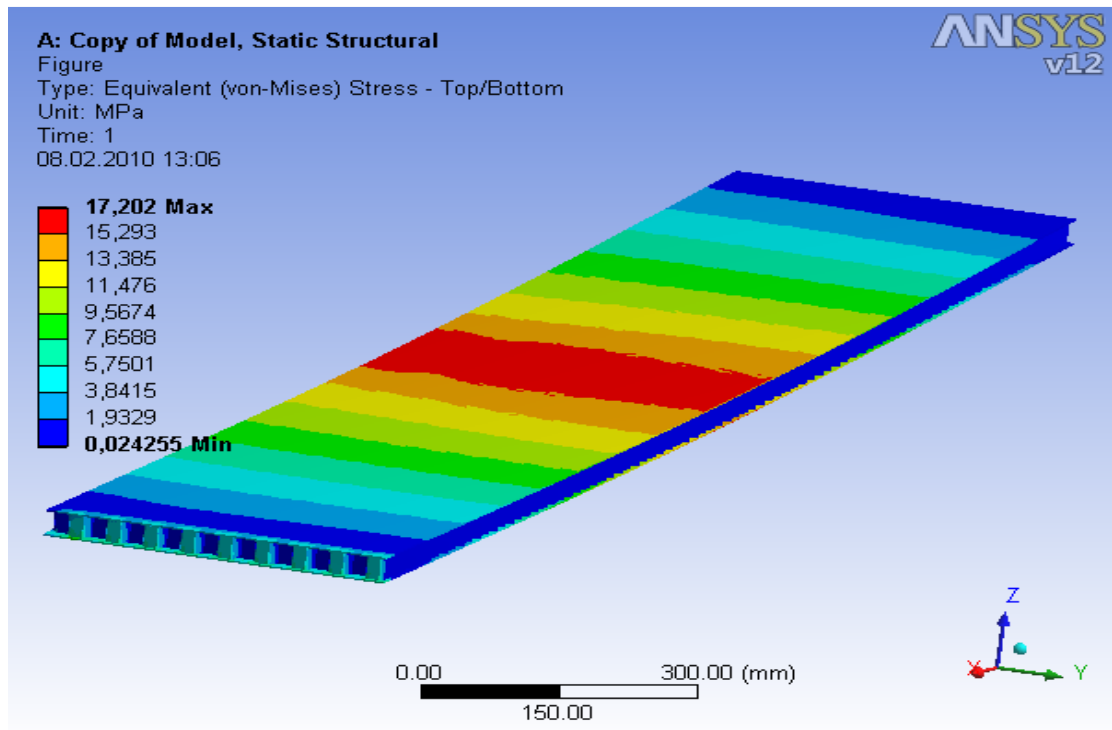
Tablo 5-1 Optimizasyon Öncesi ve Sonrası Değerler

	OPTİMİZASYON ÖNCESİ DEĞERLER	OPTİMİZASYON SONRASI DEĞERLER
AĞIRLIK (Kg)	15.79	10.6
KOMPOZİT DIŞ LEVHA KALINLIĞI (mm)	4	2.3
HÜCRE KALINLIĞI (mm)	1	0.9
TOPLAM YER DEĞİŞTİRME (mm)	12.674	15.53
BAL PETEĞİ HÜCRE ELASTİSİTE MODÜLÜ (GPa))	2.9	2
TÜM MODELDE OLUŞAN MAX. VON- MİSSES (MPa)	25.022	17.202
BAL PETEĞİ HÜCREDE OLUŞAN MAX. VON-MİSSES (MPa)	6.3763	7.7394
KOMPOZİT DIŞ LEVHADA OLUŞAN MAX. VON-MİSSES (MPa)	14.652	17.202

Optimizasyon sonrası oluşan maksimum yer değiştirme ve maksimum gerilme değerleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 da görülmektedir.



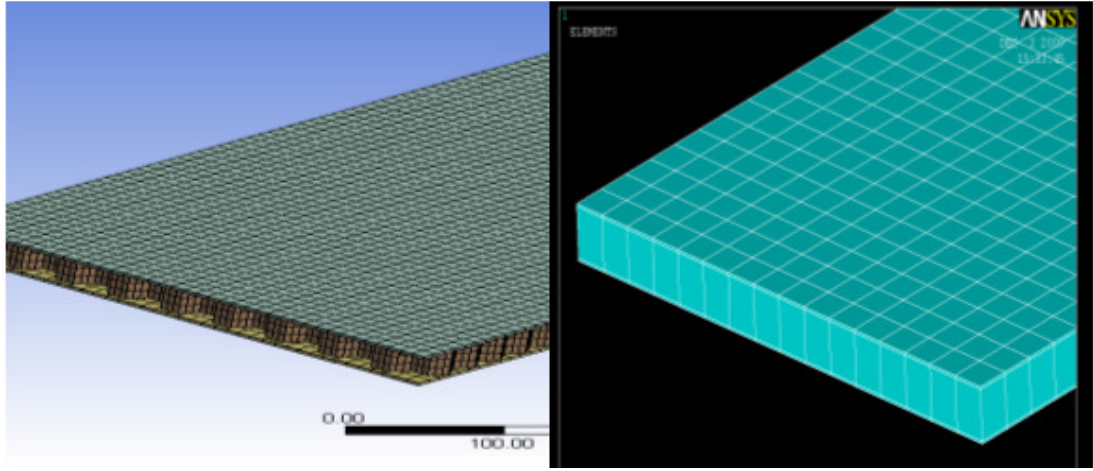
Şekil 5-9 Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Komple Modelin "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



Şekil 5-10 Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Komple Modelde Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

5.3. Optimizasyon Sonuçlarının Eşdeğer Model Analizi İle Karşılaştırılması

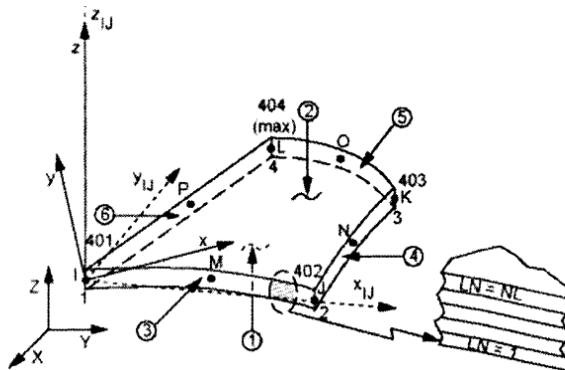
Eşdeğer modellemede amaç, bal peteği geometrisini, bu geometriyi temsil edecek bir model ile yer değiştirmektir. Eşdeğer modellemede, bal peteğini tüm detayları ile modellemek yerine, orthotropik bir model kullanılır. [Aydıncak, I.2007]



Şekil 5-11 Bal Peteği Model ve Eşdeğer Modeli

5.3.1. Eşdeğer Model Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizlerinde özel sandviç opsiyonunu kullanmak için ANSYS yazılımı kullanılmıştır. Analizde ANSYS yazılımı kütüphanesinde bulunan SHELL91 tipi yapısal eleman kullanılmıştır.



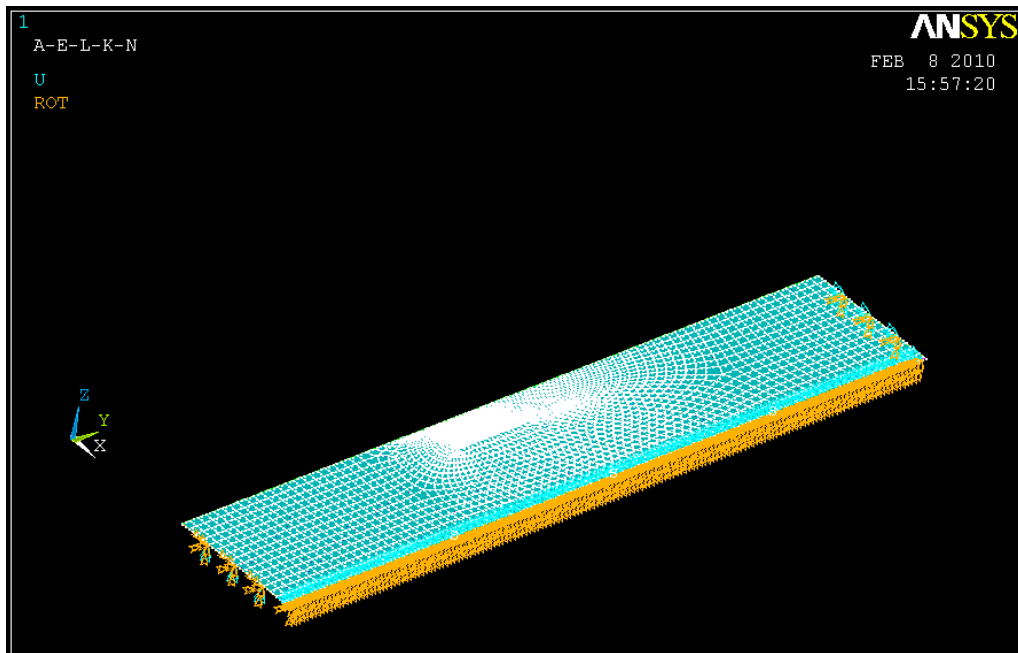
Şekil 5-12 SHELL91 Yüzey Elemanı [15]

SHELL 91 elemanı, köşelerde ve kenar orta noktalarda olmak üzere 8 düğüm noktasına sahiptir. Ayrıca x,y,z eksenleri boyunca öteleme ve x,y,z eksenleri etrafında dönme olmak üzere 6 serbestlik derecesine sahiptir. 100 tabakaya kadar modellenebilir ve her tabaka için farklı bir malzeme özelliği atanabilir. [15]

5.3.1.1. Yük ve Sınır Koşulları

Özürlü rampası, Bölüm 4.1 de görüldüğü gibi bir ucundan otobüs basamağına döner mesnet ile bağlanmakta diğer ucundan da kaldırırma dayanarak kullanılmaktadır. Bu yüzden SEA modelinde parça bir tarafından basit mesnetle tutturulmuştur. Diğer ucundan ise, bastığı yüzeyde düzlemsel olarak hareket edebilmesine izin verecek şekilde mesnetlenmiştir.

Özürlü rampasına yük, Şekil 5.13 de görüldüğü gibi, tekerlekli sandalyenin ayaklarının bastığı bölgedeki yüzeye basınç uygulamak sureti ile uygulanmıştır. Şekil 5.13 den de görüleceği gibi, yük ve sınır koşulları parça boyunca simetrik olduğundan dolayı, ZX eksenini boyunca simetri koşulları uygulanmıştır. Yani parçanın ZX eksenine göre yarısı, ANSYS içine import edilerek hesaplama süresi kısaltılmıştır.



Şekil 5-13 Eşdeğer Model Yük ve Sınır Koşulları

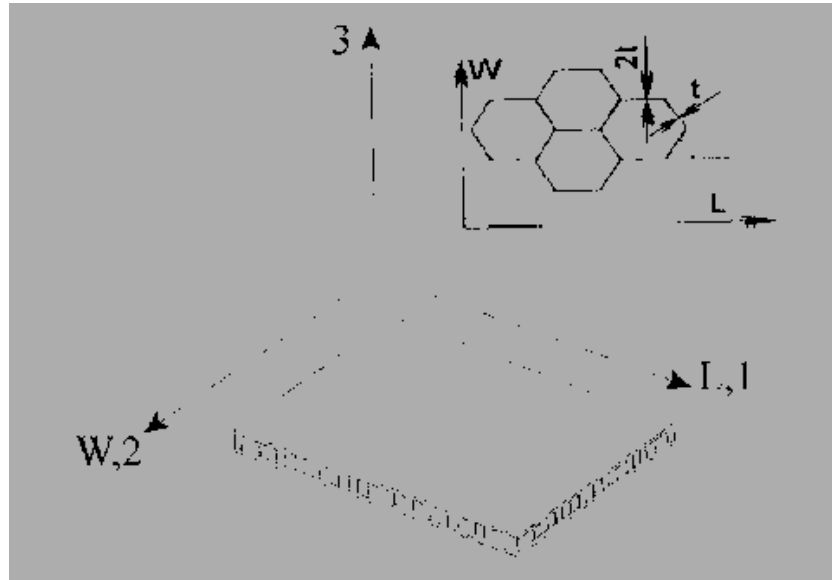
5.3.1.2. Malzeme Özellikleri

Eşdeğer model analizinde iki ayrı malzeme tanımlanmakta ve bu malzemeler, eşdeğer modelin her bir tabakasına atanmaktadır. Model alt tabaka, üst tabaka ve çekirdek kısımlarından oluşmaktadır. Malzemelerden ilki, alt ve üst tabakalara atanacak olan izotropik malzemedir. İzotropik malzeme özellikleri için Bölüm 4.3.6 da elde edilen özellikler kullanılmaktadır.

İkinci malzeme modeli orthotropik malzemedir. Orthotropik bir malzemenin eğilmezlik matrisini oluşturmak için 9 adet sabit belirlenmelidir. Eşdeğer modellemede, çekirdek bal peteği yapı orthotropik olarak tanımlanacağı için bu 9 adet sabitin bulunması çok önemlidir. Bu 9 mühendislik sabiti:

- E_1, E_2, E_3
- $\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$
- G_{12}, G_{13}, G_{23}

şeklinde. Bu sabitlerin önündeki sayılar, bu çalışmada kullanılan eksen sistemini temsil etmektedir. [Aydıncak, I. 2007]



Şekil 5-14 Bal Peteği Eksen Takımı [Aydıncak, I. 2007]

Bu katsayılardan bir veya birkaçını bulmak için yapılan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Fakat bu 9 sabitin hepsini birden verecek bir çalışma bulmak zordur. Tablo 5.2 – Tablo 5.10, bal peteği yapılı bir çekirdeğin orthotropik özelliklerini bulmak için kullanılan modelleri göstermektedir. [Aydıncak, I. 2007]

Tablo 5-2 E_1 İçin Modeller

Model İsmi	E1
Masters & Evans [9]	$E_1 = \frac{E}{\frac{\cos \varphi}{(1 + \sin \varphi)} \left[\frac{\cos^2 \varphi . a^3}{t^3} + \frac{(2 + \sin^2 \varphi) t}{a} \right]}$
E. Nast [9]	$E_1 = \frac{t^3 . (1 + \sin(\varphi))}{12 . a^3 . \cos^2(\varphi) \left(\frac{1 - \cos(\varphi)}{8} - \frac{\cos(\varphi)}{12} \right)} \cdot \frac{E}{(1 - \nu^2)}$
Abd El-Sayed [9]	$E_1 = \frac{6 . \cos(\varphi) . \tan^2(\varphi)}{\left[\frac{a^2}{4 . \tan^2(\varphi) . h^2} + \sin(\varphi) + a . \frac{\cos(\varphi)}{2} \right]} \cdot \frac{t}{a} . E$

Tablo 5-3 E_2 İçin Modeller

Model İsmi	E2
Masters & Evans [9]	$E_2 = \frac{E}{\frac{(1 + \sin \varphi)}{\cos \varphi} \left[\frac{\sin^2 \varphi . a^3}{t^3} + \frac{\cos^2 \varphi . t}{a} \right]}$
E. Nast [9]	$E_2 = \frac{t^3 . \cos \varphi}{(1 + \sin \varphi) . a^3 \sin^2 \varphi . (1 - \nu^2)} E$
Abd El-Sayed [9]	$E_2 = \frac{2}{3} \frac{\cos(\varphi)}{\left[\frac{a^2}{4 . \tan^2(\varphi) . h^2} + \cos^2(\varphi) \right]} \cdot \frac{t}{a} . E$

Tablo 5-4 E_3 İçin Modeller

Model İsmi	E_3
E. Nast [9]	$E_3 = \frac{2.E}{(\cos \varphi.(1 + \sin \varphi))} \cdot \frac{t}{a}$
Qunli Liu [9]	$E_3 = \frac{2.E}{(\cos \varphi.(1 + \sin \varphi))} \cdot \frac{t}{a}$
Ashby [9]	$E_3 = \frac{2.E}{(\cos \varphi.(1 + \sin \varphi))} \cdot \frac{t}{a}$

Tablo 5-5 v_{12} İçin Modeller

Model İsmi	v_{12}
Masters & Evans [9]	$v_{12} = \frac{\sin(\varphi).(1 + \sin(\varphi))}{\cos^2(\varphi)}$
E. Nast [9]	$v_{12} = \frac{(1 + \sin(\varphi)) \sin^2(\varphi)}{12 \cdot \cos^2(\varphi) \cdot \left[\frac{\cos(\varphi)}{3} - \frac{1 + \cos(\varphi)}{8} \right]}$
Abd El-Sayed [9]	$v_{12} = 3 \cdot \tan^2(\varphi)$

Tablo 5-6 v_{23} İçin Modeller

Model İsmi	v_{23}
E. Nast [9]	$v_{23} = \frac{t^2 \cos^2 \varphi}{2 \cdot a^2 \sin^2 \varphi \cdot (1 - v^2)} v$
Ashby [9]	0

Tablo 5-7 v_{13} İçin Modeller

Model İsmi	v_{13}
E. Nast [9]	$v_{13} = \frac{t^2 (\sin \varphi + 1)^2}{24.a^2 \cos \varphi \cdot \left[\frac{\cos \varphi}{3} - \frac{1 + \cos \varphi}{8} \right]} \cdot \frac{\nu}{(1 - \nu^2)}$
Ashby [9]	0

Tablo 5-8 G_{12} İçin Modeller

Model İsmi	G_{12}
Masters & Evans [9]	$G_{12} = \frac{E}{\frac{3 \cdot \cos \varphi}{(1 + \sin \varphi)} \cdot \frac{a^3}{t^3} + [\cos \varphi + a \cdot \tan \varphi \cdot (1 + \sin \varphi)] \cdot \frac{a}{t}}$
E. Nast [9]	$G_{12} = \frac{t^3 \cdot (\sin \varphi + 1)}{a^3 \cdot (1 - \nu^2) \cos \varphi (6.25 - 6 \cdot \sin \varphi)} E$

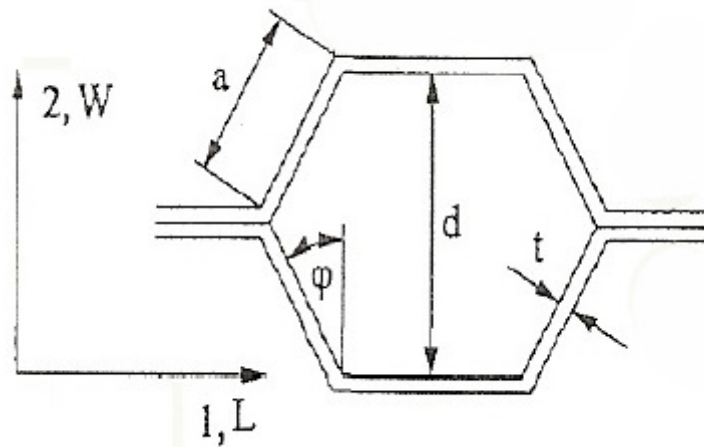
Tablo 5-9 G_{23} İçin Modeller

Model İsmi	G_{23}
E. Nast [9]	$G_{23} = \frac{10.t}{9.a \cdot \cos^3 \varphi \cdot (1 + \sin \varphi)} G$
Qunli Liu [9]	$G_{23} = \frac{\cos \varphi \cdot G}{1 + \sin \varphi} \cdot \frac{t}{a}$
Grediac [9]	$G_{23} = \frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \frac{t}{a} \cdot G$
Shi [9]	$G_{23} = \frac{t \cdot \tan \varphi}{a} \cdot G$
Ashby [9]	$G_{23} = \frac{\cos \varphi}{(1 + \sin \varphi)} \frac{t}{a} G$

Tablo 5-10 G_{13} İçin Modeller

Model İsmi	G_{13}
E. Nast [9]	$G_{13} = \frac{2.t}{a.\cos\varphi(1+\sin\varphi)}G$
Qunli Liu [9]	$G_{13} = \frac{(1+\sin\varphi)G}{2.\cos\varphi} \cdot \frac{t}{a}$
Grediac [9]	$\frac{1+\sin\varphi}{2.\cos\varphi} \cdot \frac{t}{a} \cdot G \leq G_{13} \leq \frac{1+\sin^2\varphi}{(1+\sin\varphi)\cos\varphi} \cdot \frac{t}{a} \cdot G$
Shi [9]	$G_{23} = \frac{t.\tan\varphi}{a} \cdot G$
Ashby [9]	$\frac{1+\sin\varphi}{2.\cos\varphi} \cdot \frac{t}{a} \cdot G \leq G_{13} \leq \frac{1+\sin^2\varphi}{(1+\sin\varphi)\cos\varphi} \cdot \frac{t}{a} \cdot G$

Bu modellerde kullanılan a, φ, d ve t değerleri Şekil 5.15 deki değerlerdir.



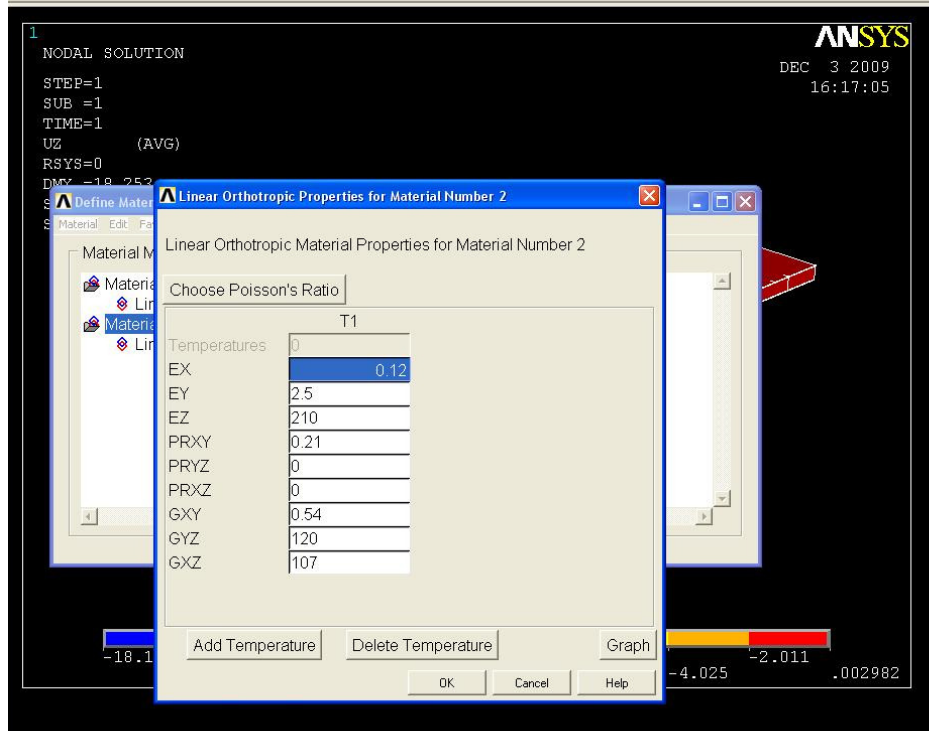
Şekil 5-15 Bal Peteği Detay [Aydıncak, I. 2007]

Bu çalışmada, orthotropic malzeme sabitleri olan E_1 , E_2 , E_3 , ν_{12} , ν_{23} , ν_{13} , G_{12} , G_{23} , G_{13} sabitlerini bulmak üzere E. Nast modelleri kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.11 de görülmektedir.

Tablo 5-11 Eşdeğer Model Orthotropik Malzeme Özellikleri

Malzeme Sabitleri	
E_1 (GPa)	0.00012
E_2 (GPa)	0.0025
E_3 (GPa)	0.21
ν_{12}	0.2
ν_{23}	0
ν_{13}	0
G_{12} (GPa)	0.00054
G_{23} (GPa)	0.12
G_{13} (GPa)	0.107

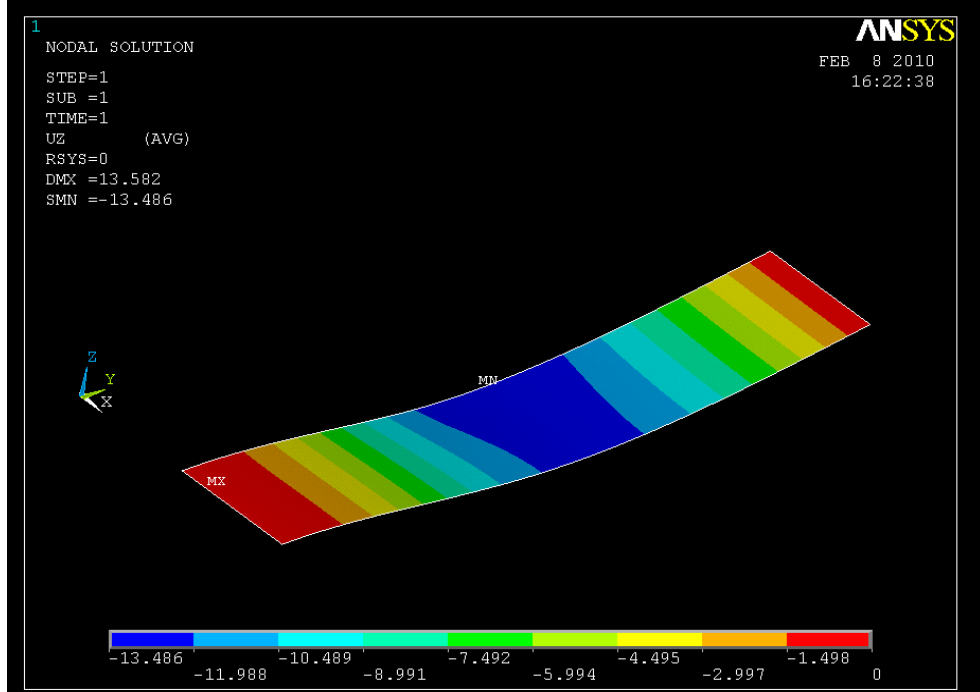
Bulunan bu değerler Şekil 5.16 da görülen ANSYS penceresinde yerine yazılarak (MPa cinsinden), orthotropik malzeme modeli oluşturulur.



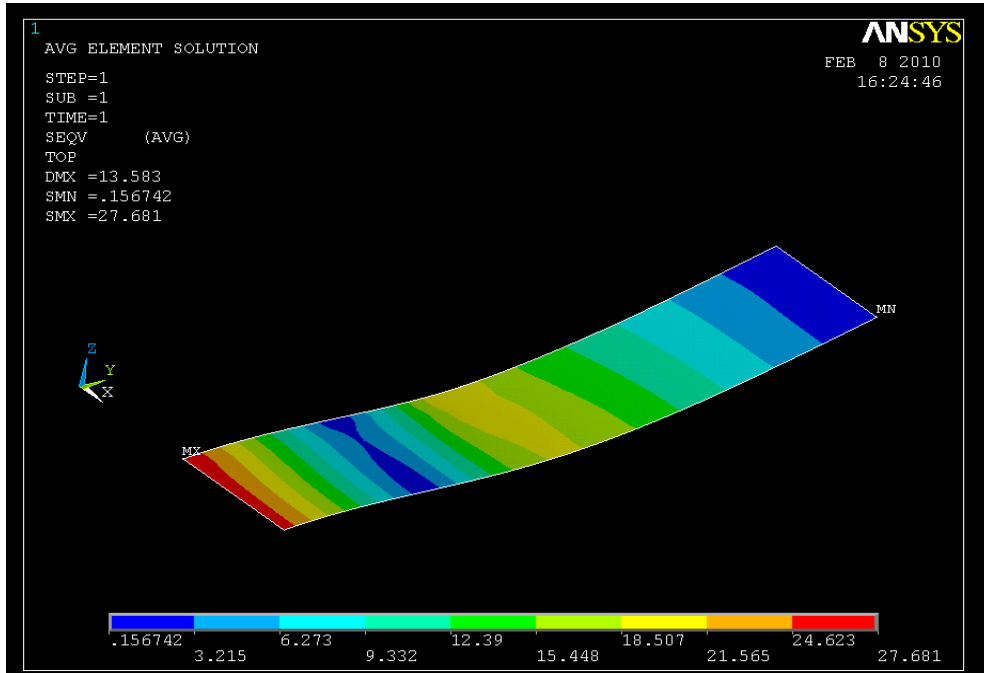
Şekil 5-16 ANSYS de Orthotropik Malzeme Özelliklerinin Girilmesi

5.3.1.3. Eşdeğer Model Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Önceki bölümlerde belirtilen yük, sınır koşulları ve malzeme bilgileri modele uygulandıktan sonra analiz çözülür.



Şekil 5-17 Karbon Elyaf Takviyeli Eşdeğer Modelin "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



Şekil 5-18 Karbon Elyaf Takviyeli Eşdeğer Modelde Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 de modelde oluşan maksimum yer değiştirme ve Equivalent Stress (Von-Mises) değerleri görülmektedir.

Eşdeğer model ile yapılan sonlu elemanlar analizinde, modelde oluşan maksimum yer değiştirme değeri 13.486 mm, Equivalent Stress (Von-Mises) değeri ise 27.681 MPa bulunmuştur. Bu değerler optimizasyon sonucu oluşan değerler ile sırası ile %13 ve %37 fark göstermektedir. Sonuç olarak ise, eşdeğer model ile yapılan analiz sonucunda rampa modeli, belirtilen şartlar altında güvenli bir şekilde çalışmaktadır.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında amaçlanan; ticari bir araç özürlü rampasının sac malzeme yerine kompozit malzemeden yapılarak hafifletilmesi ve bu durumda gerekli şartları sağlayıp sağlamadığını incelemektir. Bunun için oluşturulan modeller, sonlu elemanlar analizine tabii tutulmuştur.

Bunun için sac özürlü rampası yerine, bal peteği çekirdekli sandviç yapılı kompozit malzeme kullanılmıştır. İlk denemede PP bal çekirdeği malzeme ve Cam elyafı takviyeli dış tabakalar kullanılmıştır. Yapılan analizlerde, çalışma şartlarında bu modelin istenilen sonuçları vermediği görülmüştür. İkinci model olarak, çekirdek malzemesi olarak gene PP seçilmiştir. Dış tabaka olarak ise Cam elyafına oranla çok daha yüksek mekanik değerlere sahip, Karbon elyafı takviyeli dış tabakalar kullanılmıştır. Yenilenen analizlerde, yeni modelin istenilen sonuçları sağladığı görülmüştür. Yani çekirdek malzemesini değiştirmeden, tabaka malzemesini değiştirerek sonuçların iyileşmesi sağlanmıştır. Bu da sandviç yapılı kompozitlerde, basma ve çekme gerilmelerinin büyük kısmının dış tabakalar tarafından karşılandığı savını doğrulamaktadır.

Bundan sonraki kısımda; çalışma şartlarında istenilen sonuçları veren 2. model üzerinde optimizasyon analizi yapılmıştır. Burada amaçlanan modelin toplam ağırlığını azaltmaktır. Optimizasyon sonucunda, toplam ağırlığa en çok etki eden parametre dış tabaka kalınlığı olmuştur. Optimizasyon sonucunda dış tabaka kalınlığı 2 de 1 oranında azalmıştır. Toplam ağırlık ta 25 Kg dan, 10.6 Kg'a düşerek, yaklaşık olarak 2 de 1 oranında azalmıştır. Ayrıca bal peteği çekirdek tabaka kalınlığının da, amaç fonksiyonu üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür.

Son bölümde, rampa analizi eşdeğer modelleme yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde rampa birebir modellenmek yerine, orthotropik özellikleri tanımlanmış bir eşdeğer model ile yer değiştirilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen sonuçların, önceki analiz sonuçlarına olan yakınlığı; eşdeğer modelleme yönteminin kompleks geometriler için kullanılmasının avantaj sağlayacağını göstermektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda, bulunan analiz sonuçları deneysel yöntemler ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir. Ayrıca çekirdek malzemesi olarak bal peteği geometri yerine başka geometriler kullanmanın sonuçlara etkileri araştırılabilir. Bu geometriler optimizasyon analizi ile elde edilebilir. Ayrıca analizlerde yükleme koşulları statik yerine, dinamik olarak alınarak gerçeğe daha yakın modellemeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. European Commission , Directive 2001/85/EC of the European Parliament and of the Council of 20 November 2001 relating to special provisions for vehicles used for the carriage of passengers comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and amending Directives .
2. Arıcasoy, O. (2006) İstanbul Ticaret Odası Kompozit Sektör Raporu.
3. Cam Elyaf , CTP Teknolojisi, (2000) Bülten Sayı 6 ,Cam Elyaf Sanayi A.Ş.
4. Hull, D. And Clyne, T.W. (1996) Introduction to Composite Materials, second edition.
5. Hexcel , <http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/230A6C2A-FDFA-4EC7-B048-E4EB28E3BC8C/0/PrepregTechnology2.pdf>, (Erişim Tarihi 01.10.2009) .
6. Samskog, S. (2008) Weight Reduction of a Unison Ring, Master Thesis , Lulea University of Technology .
7. Lee, D. (1995) On Studies of Tensile Properties in Injection Molded Short Carbon Fiber Reinforced PEEK Composite, KSME Journal, Vol. 10 .
8. Carbaş, M. (2007) Farklı Sınır Şartlarına Sahip Sandviç Plakların Statik Davranışlarının Dneysel ve Sayısal İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, ITU .
9. Aydınçak, I. (2007) Investigation of Design and Analyses Principles of Honeycomb Structures, Master Thesis, Middle East Technical University .
10. Doç. Dr. Yayla, P. (2001) Cisimlerin Mukavemeti (Teori ve Çözümlü Problemler), İkinci Baskı.

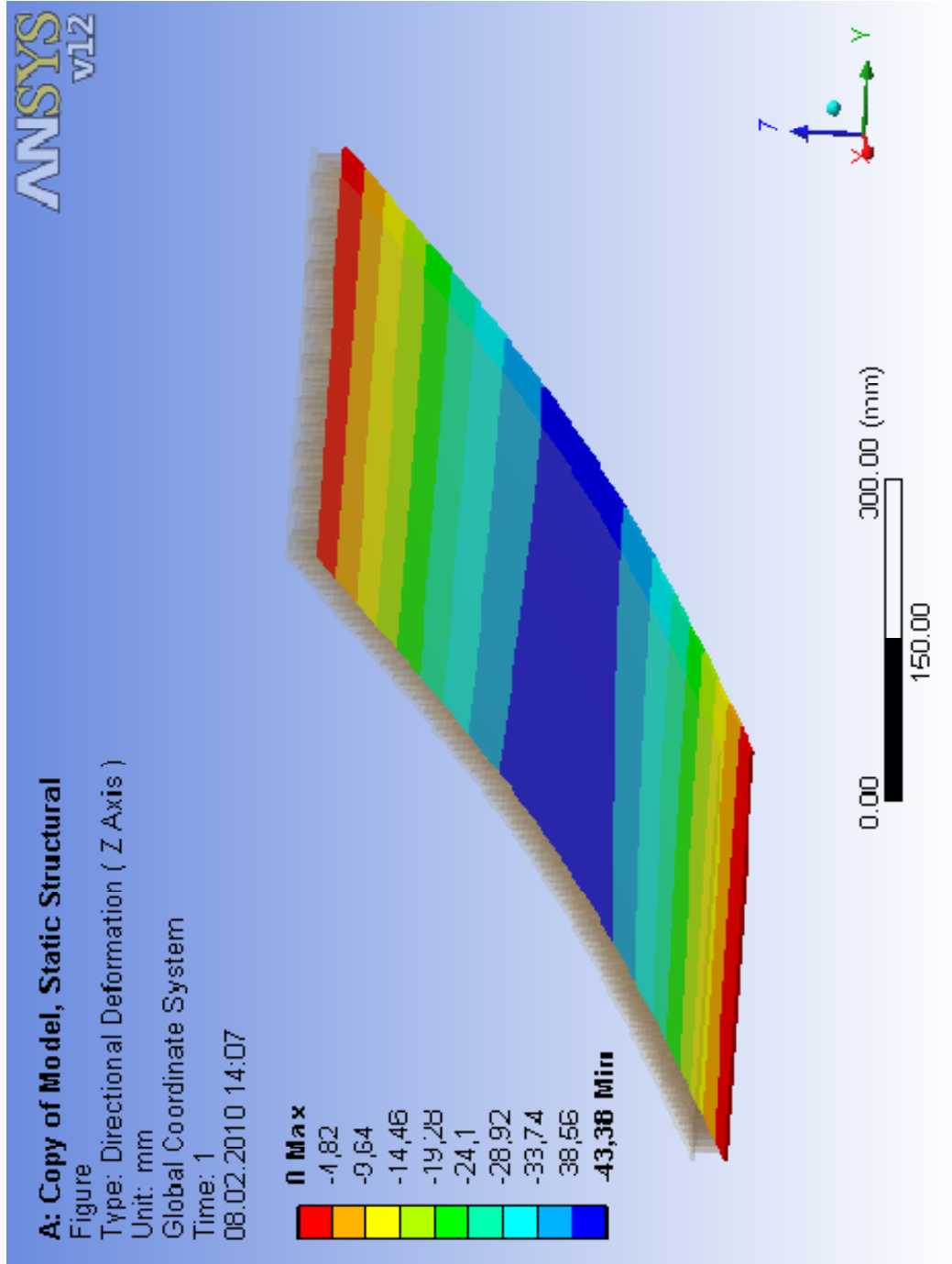
11. Boria, S. And Prof. Forasassi, G. (2007) Year 2007 Activity Report, University of Pisa.
12. Dursun, T. (2006) Cıvata Bağlantılı Tabakalı Kompozit Levhalarda Hasar Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.
13. Maxwell, J. (1994) Plastics In The Automotive Industry, SAE International .
14. JIS K 7054 “Testing method for tensile properties of glass fiber reinforced plastics” .
15. Release 12.00 Documentation for ANSYS, Chapter 17. Analysis Procedures.
16. Arş. Gör. Çelik, H.K. ve Ark. Doç. Dr. Uçar, M. Arş. Gör. Cengiz, A. (2007) Yüksek Basıncılı Dişli Pompalarda Gövdenin Parametrik Tasarımı, Gerilme Analizi ve Optimizasyonu, Mühendis ve Makine, Cilt :49 Sayı:576 .
17. Design Exploration with ANSYS 12.00 : The Responce Surface Method (2009) .
18. Marsden, W. And Irving, D. (2002) How To Analyse Composites, NAFEMS Ltd.

ÖZGEÇMİŞ

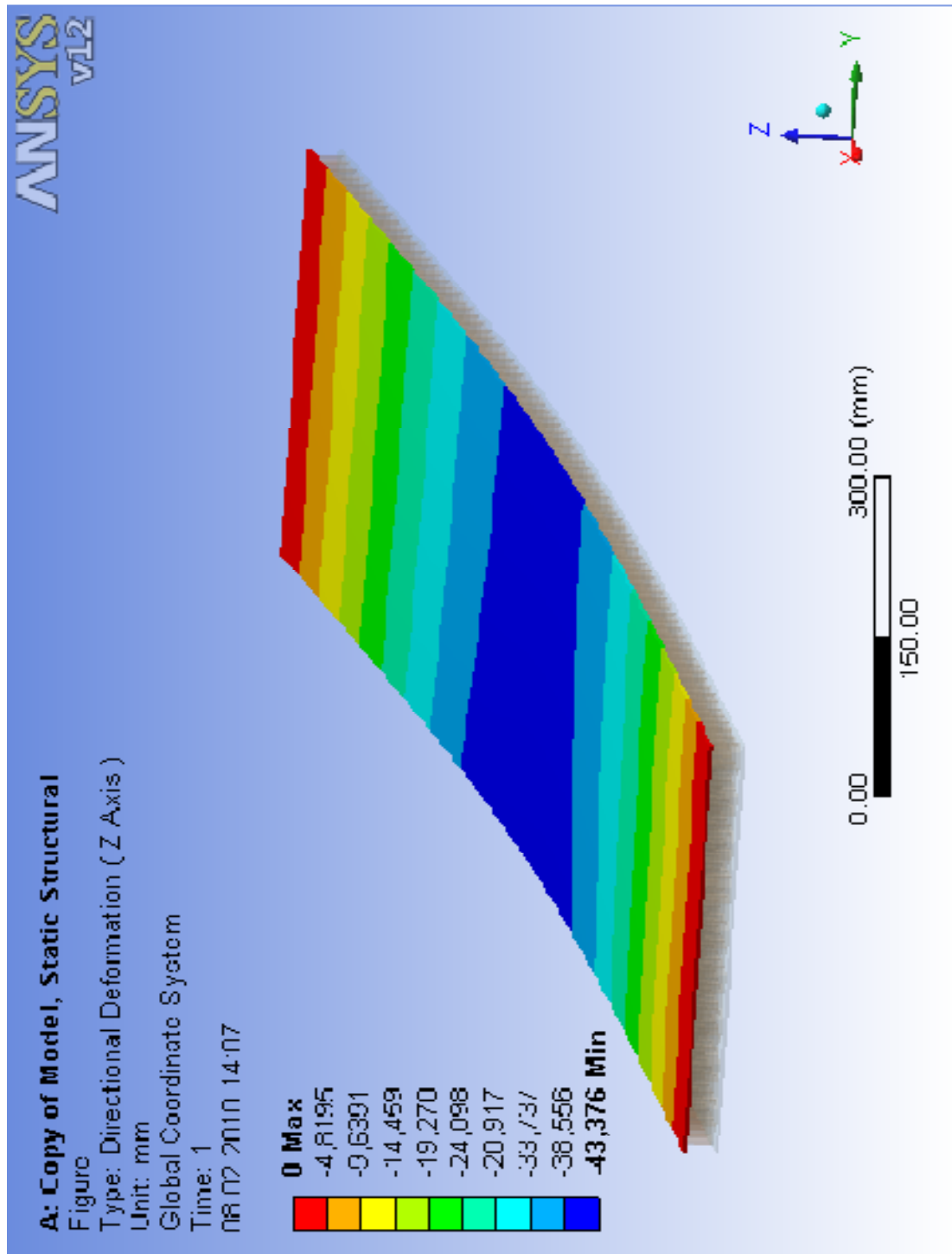
21 Temmuz 1980’de İstanbul’da doğdu. Eğitim hayatına Nazmi Duhani ilkokulu, Bostancı Ortaokulu ve Hayrullah Kefeoğlu Lisesi’nde devam etti. 1998 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne başladı. 2003 yılında mezun olduktan sonra, 2007 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başladı. Mayıs 2007 tarihinden itibaren Anadolu ISUZU Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.’de Ar-Ge Mühendisi unvanı ile çalışmaktadır.

EKLER

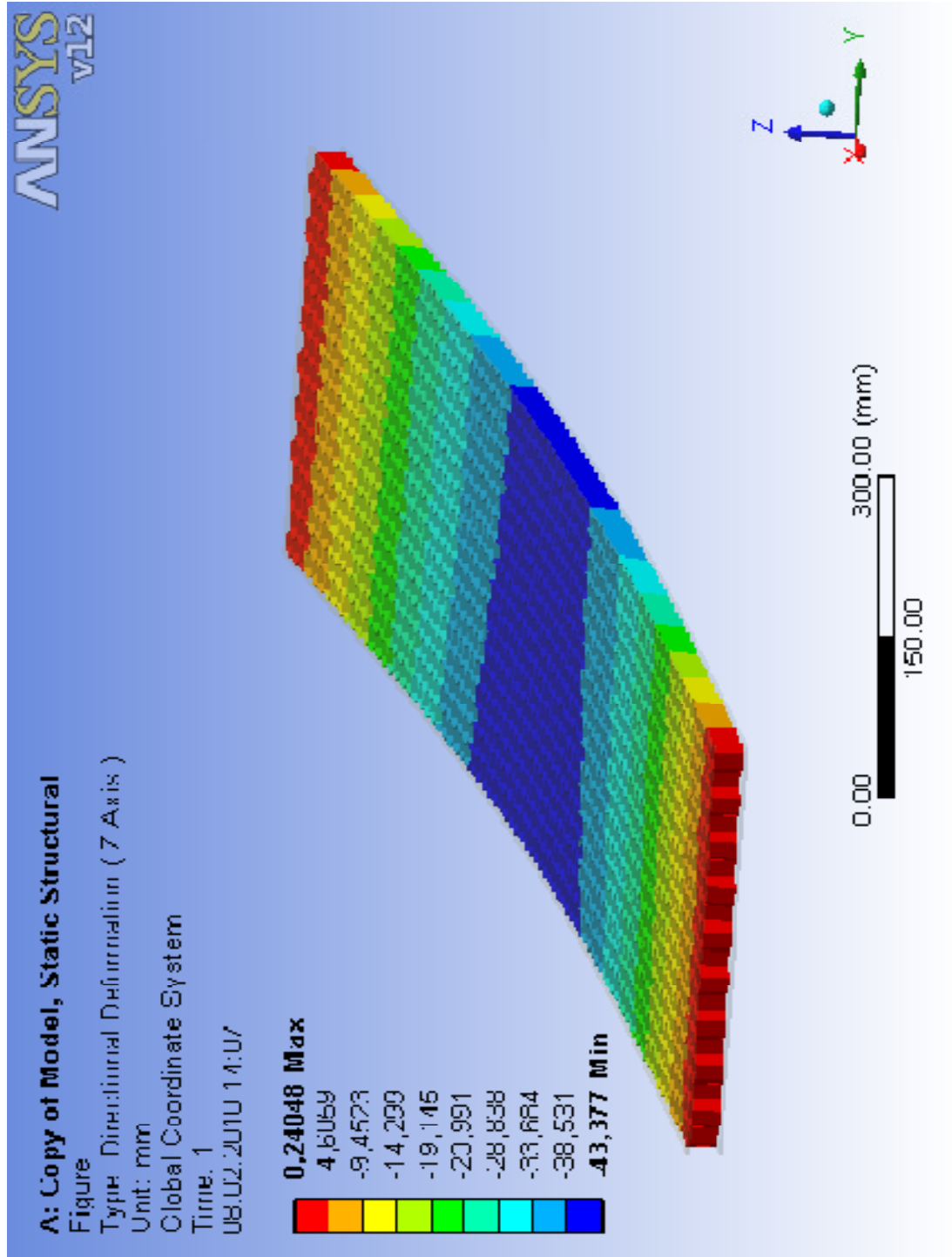
Ek 1- Cam Elyaf Takviyeli Modelde Alt Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



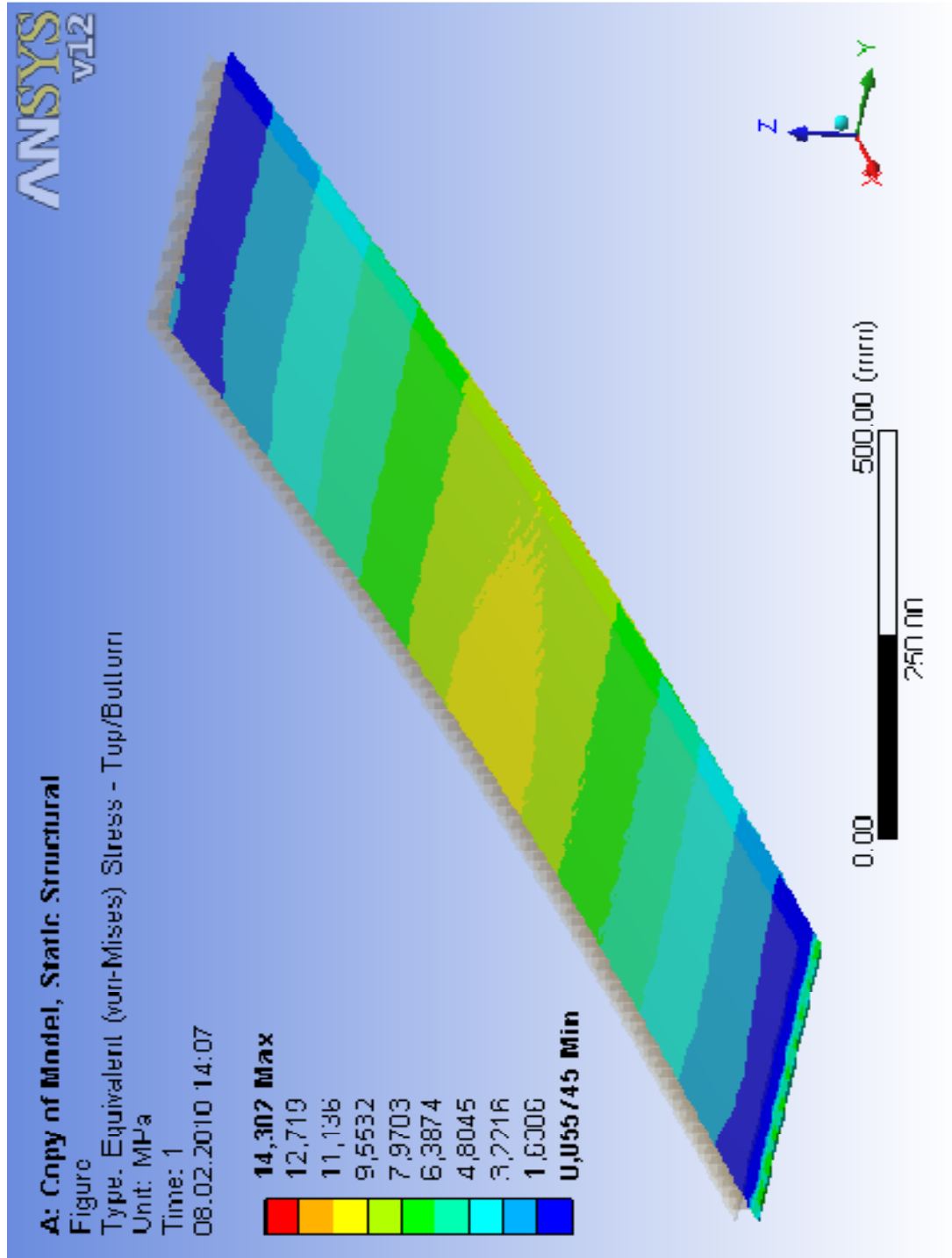
Ek 2- Cam Elyaf Takviyeli Modelde Üst Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



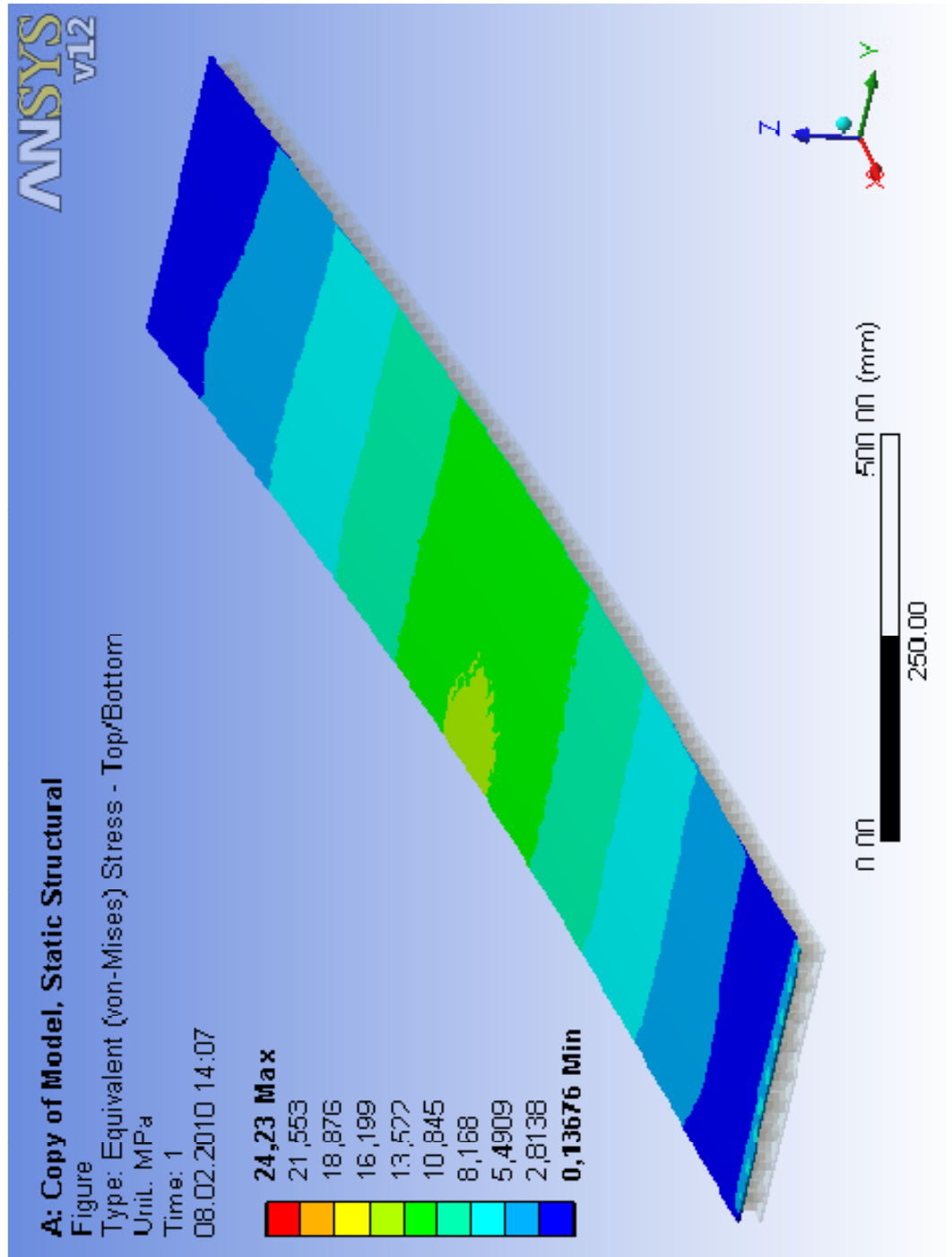
Ek 3- Cam Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdek Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



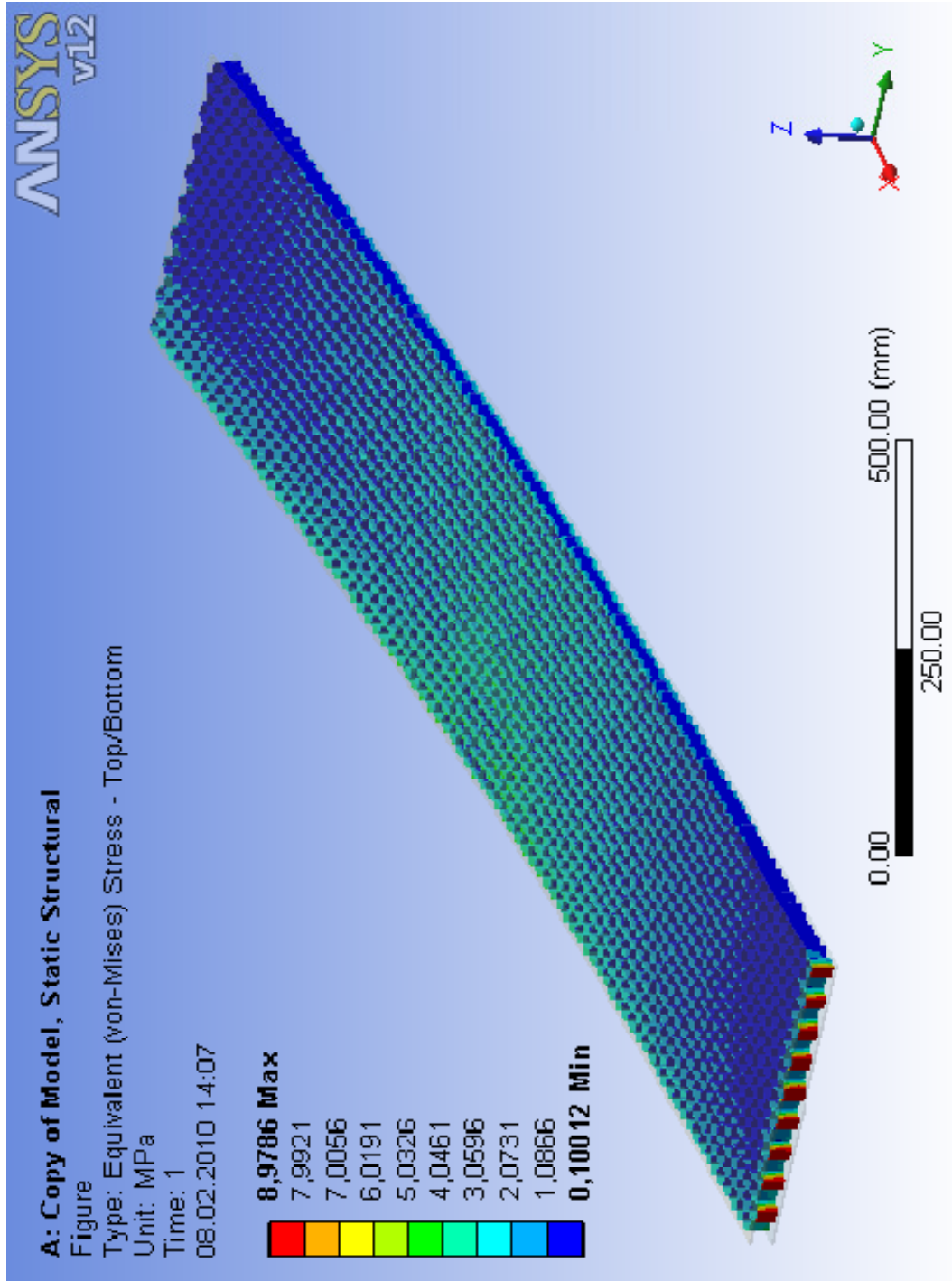
Ek 4- Cam Elyaf Takviyeli Alt Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri



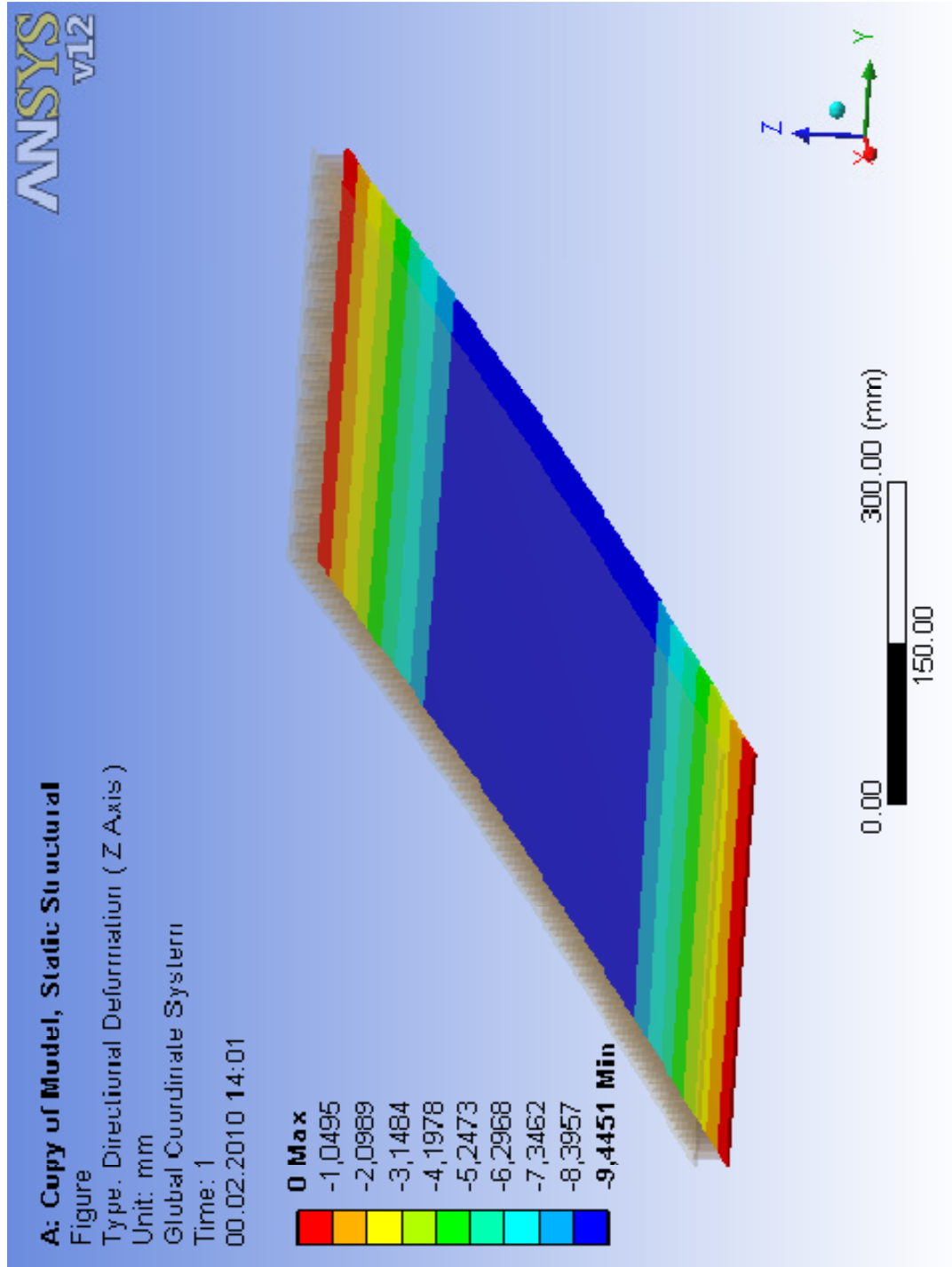
Ek 5- Cam Elyaf Takviyeli Üst Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri



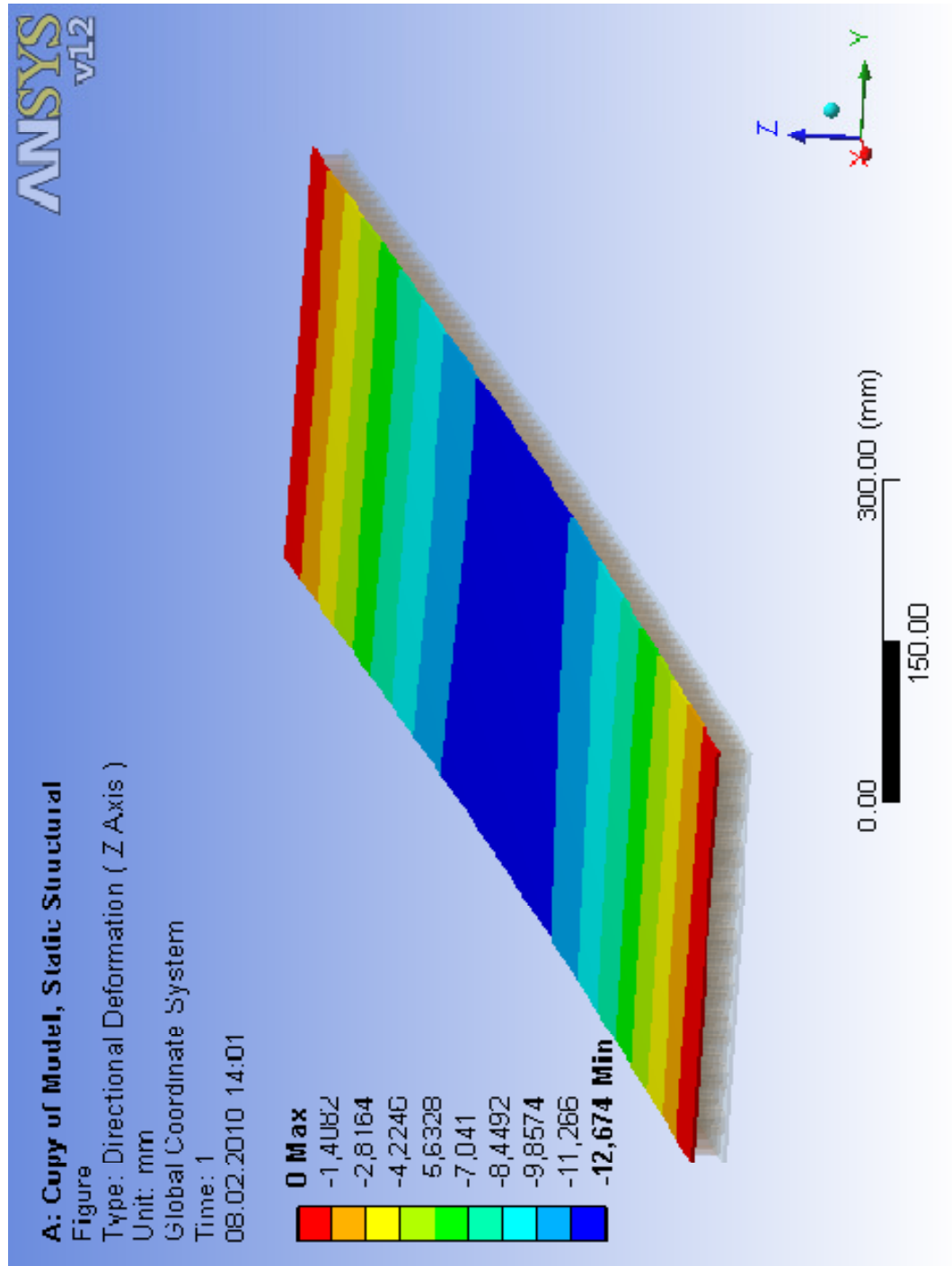
Ek 6- Cam Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdekte Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri



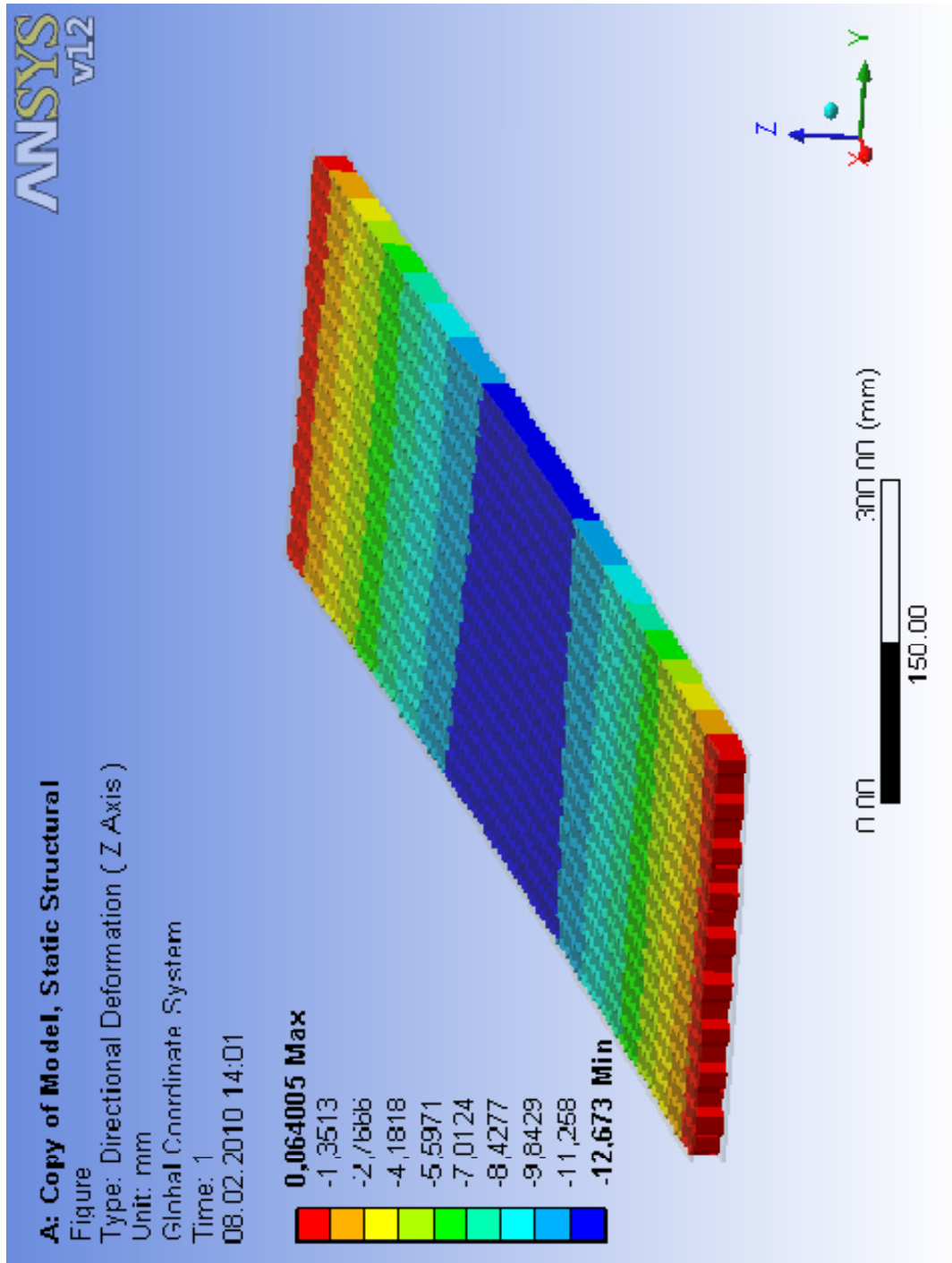
Ek 7- Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Alt Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



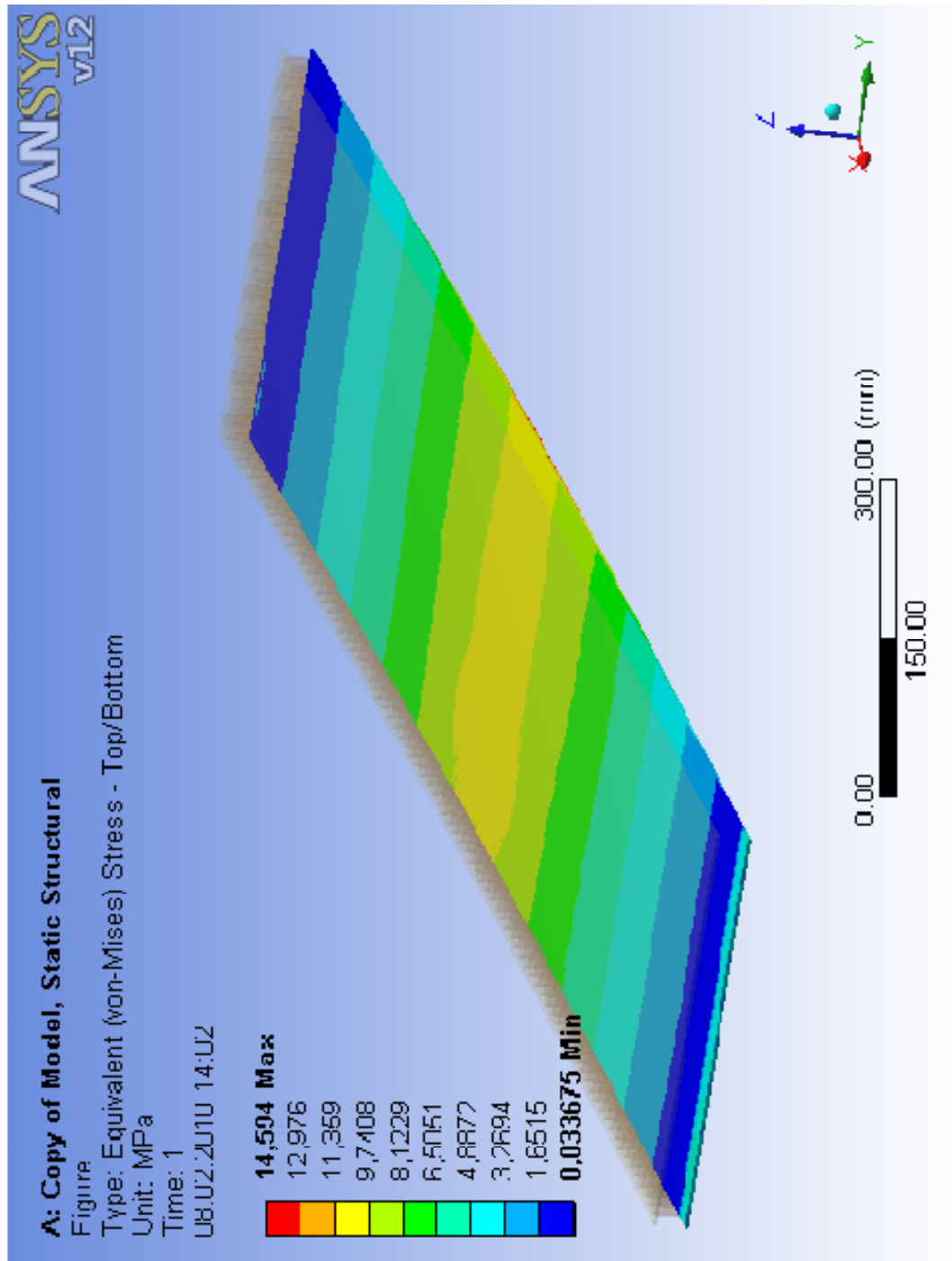
Ek 8- Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Üst Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



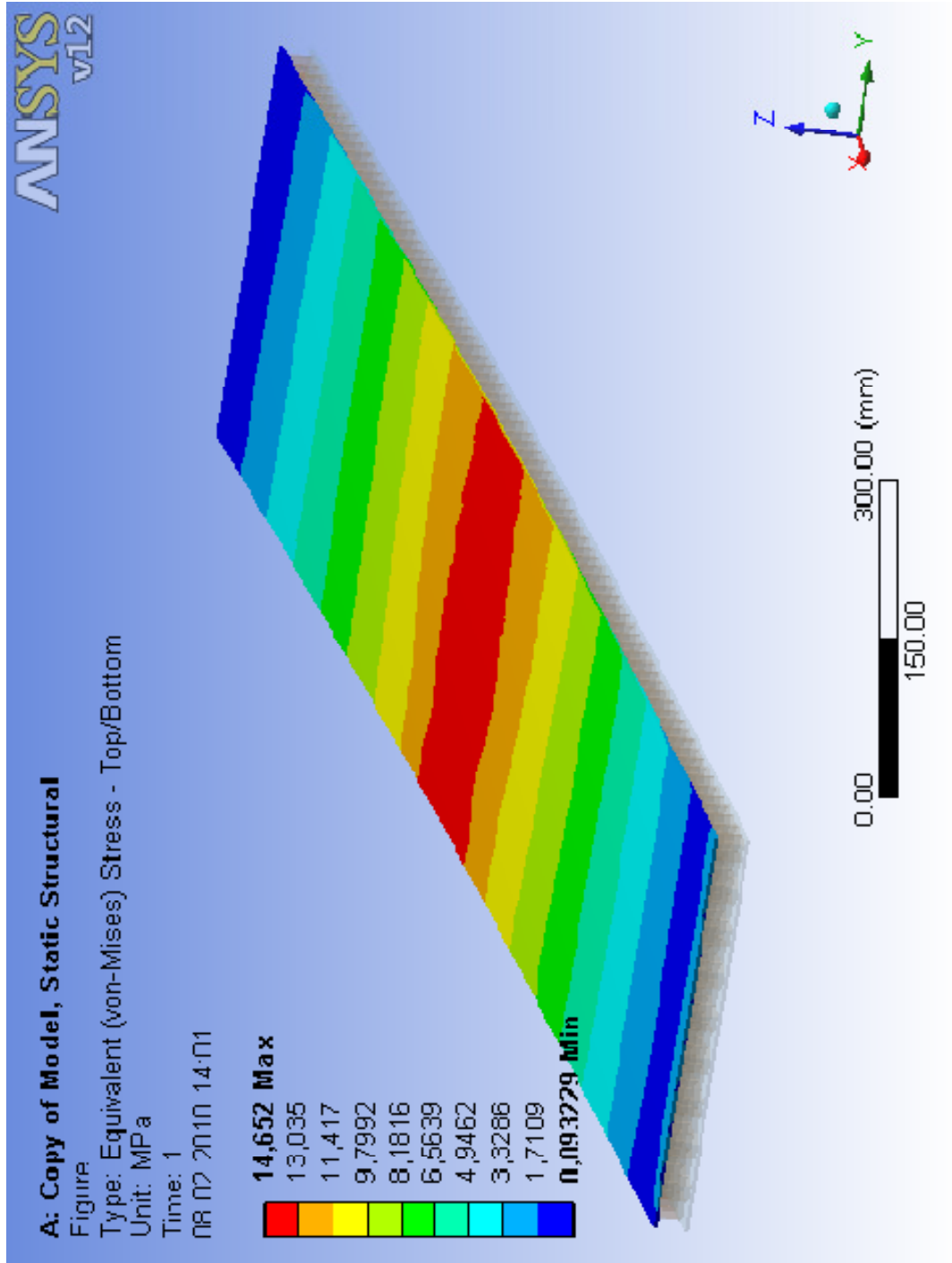
Ek 9- Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdek Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



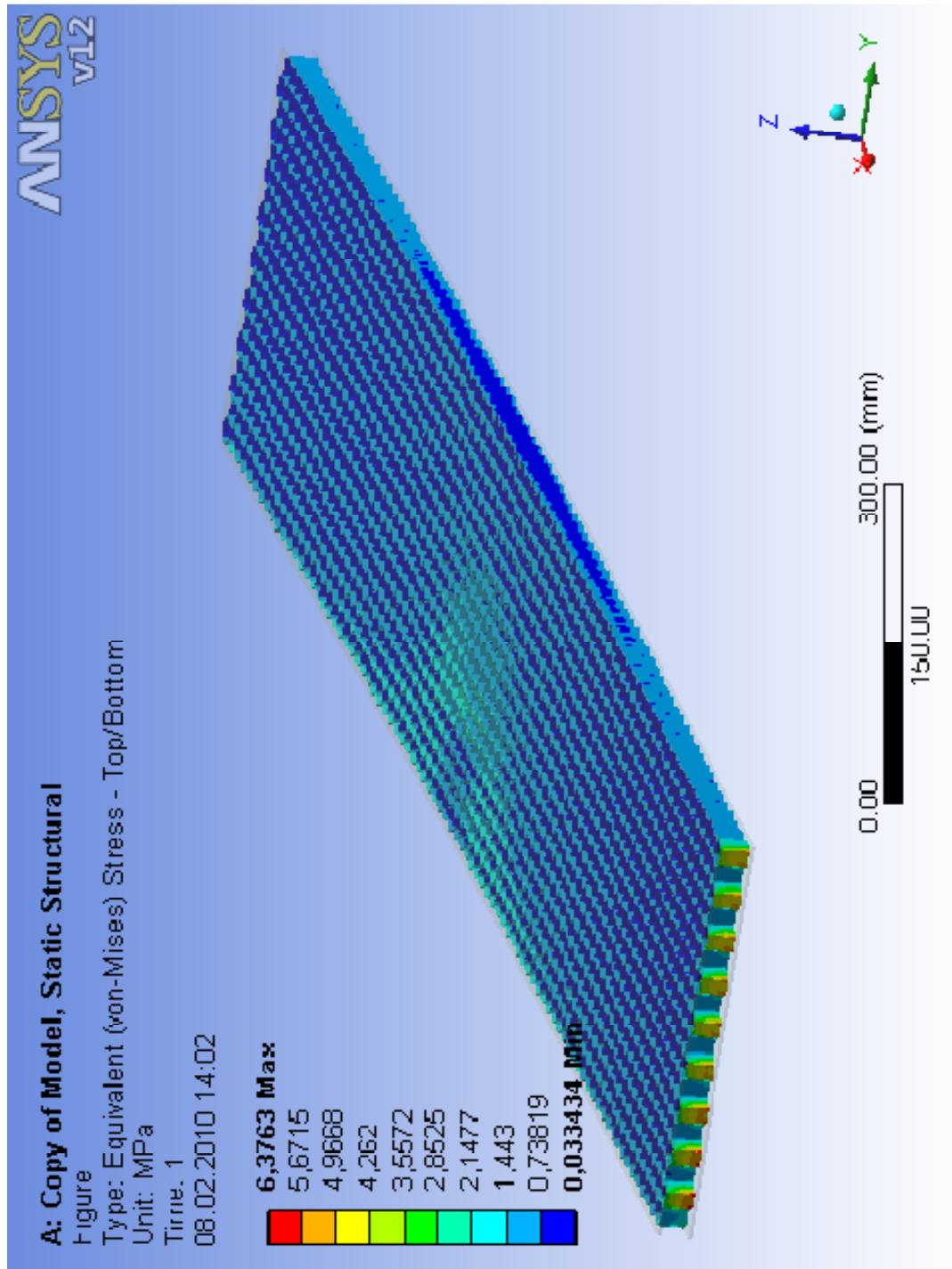
Ek 10- Karbon Elyaf Takviyeli Alt Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri



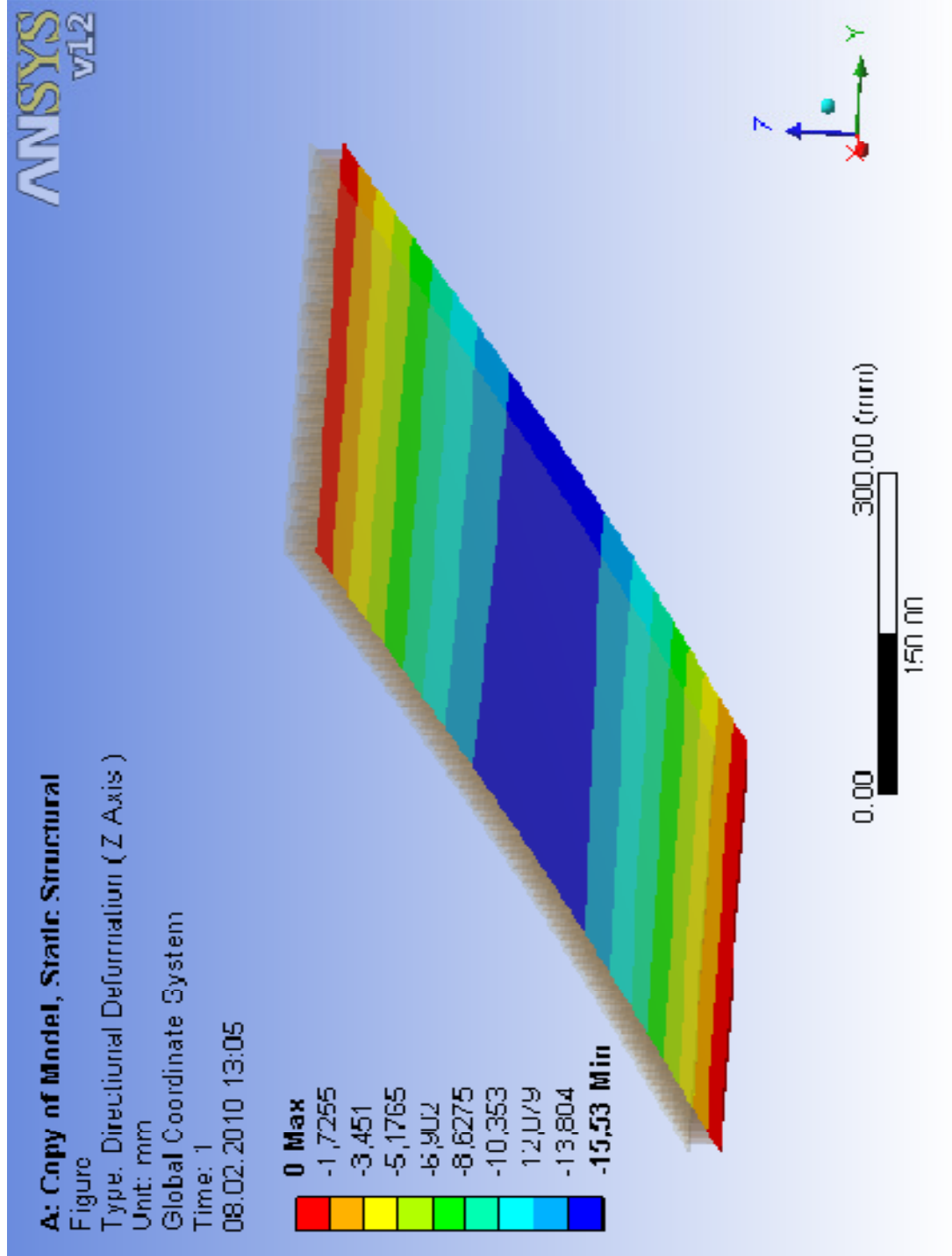
Ek 11- Karbon Elyaf Takviyeli Üst Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri



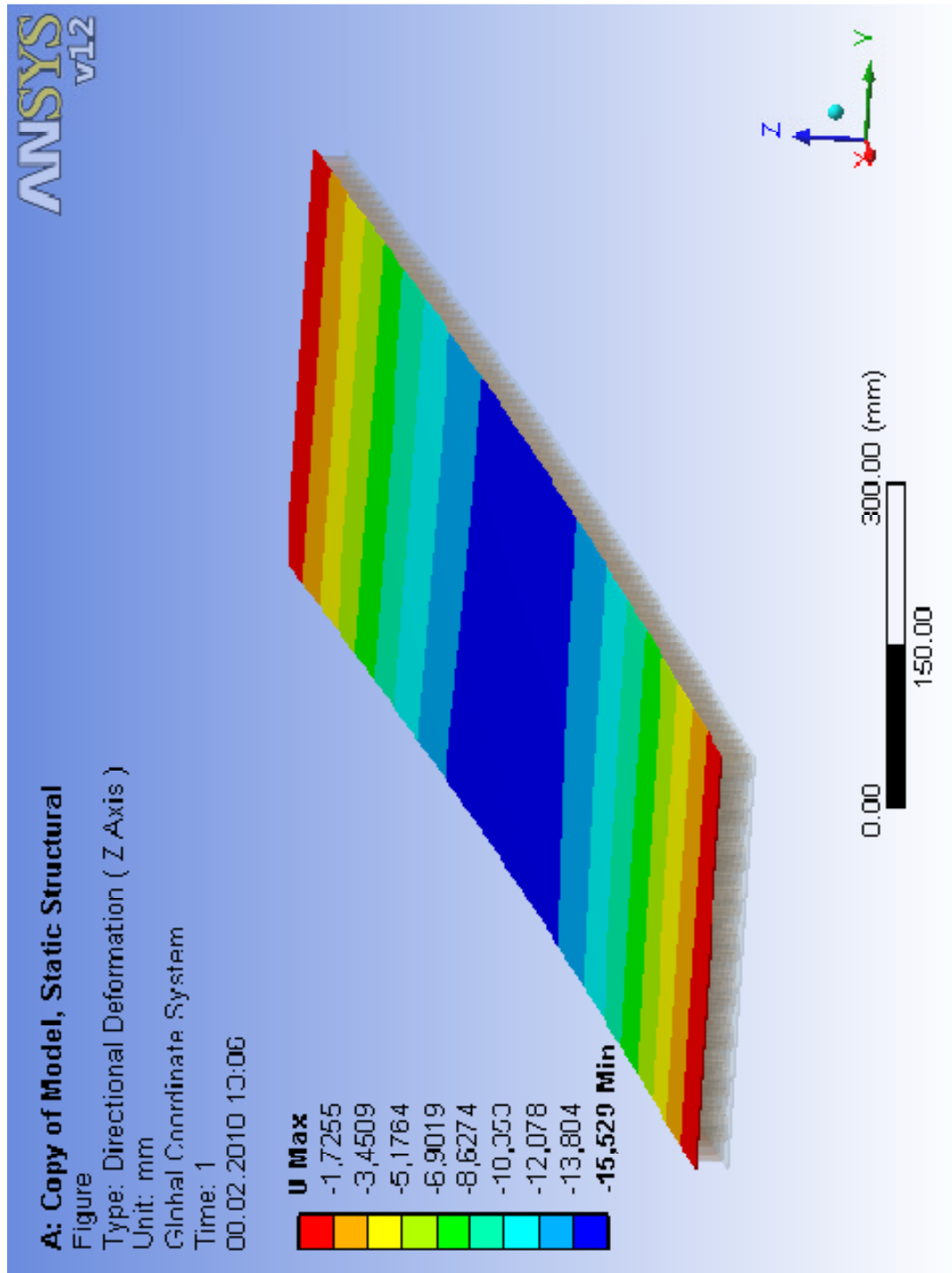
Ek 12- Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdekte Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri



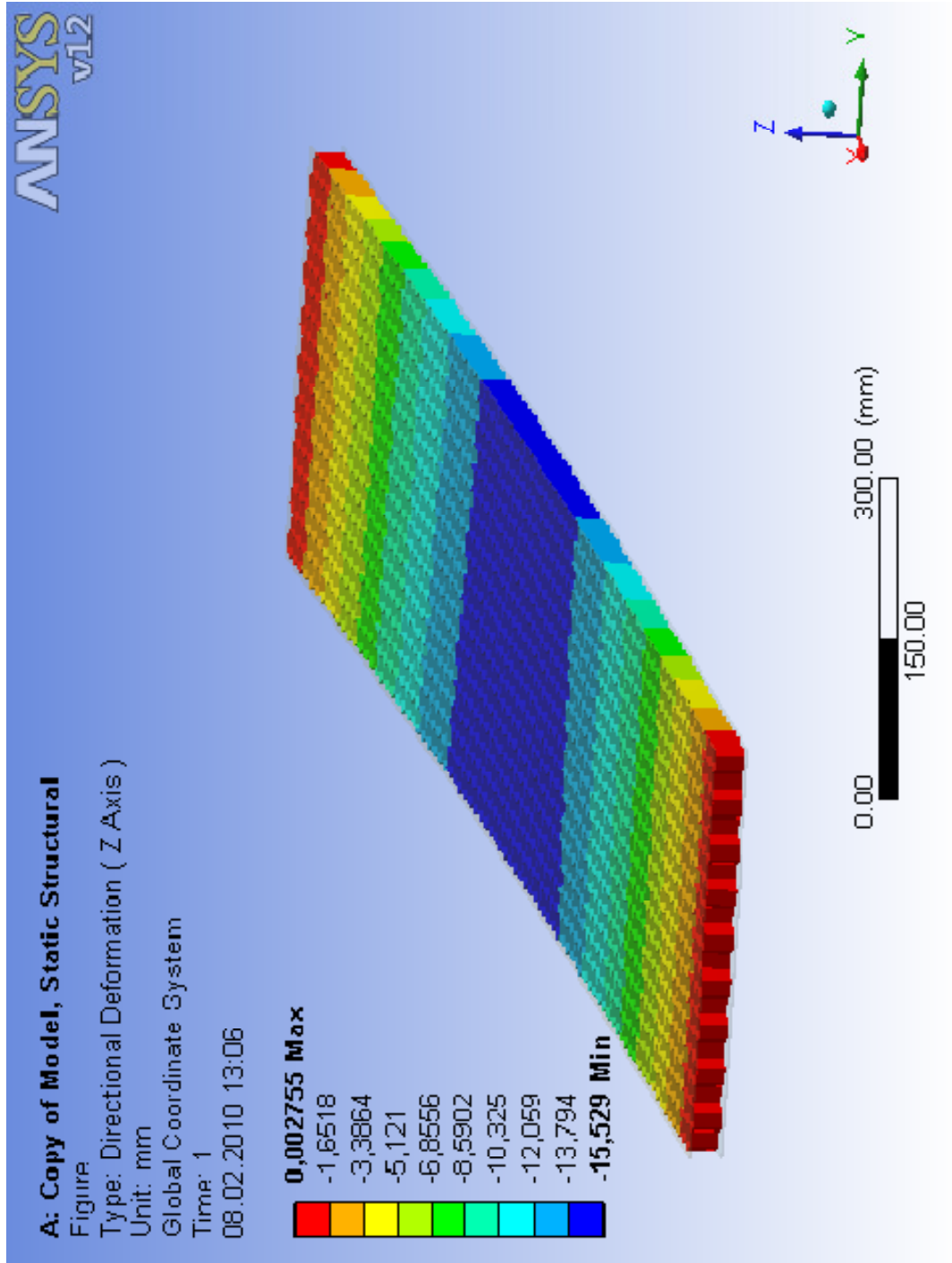
Ek 13- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Alt Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



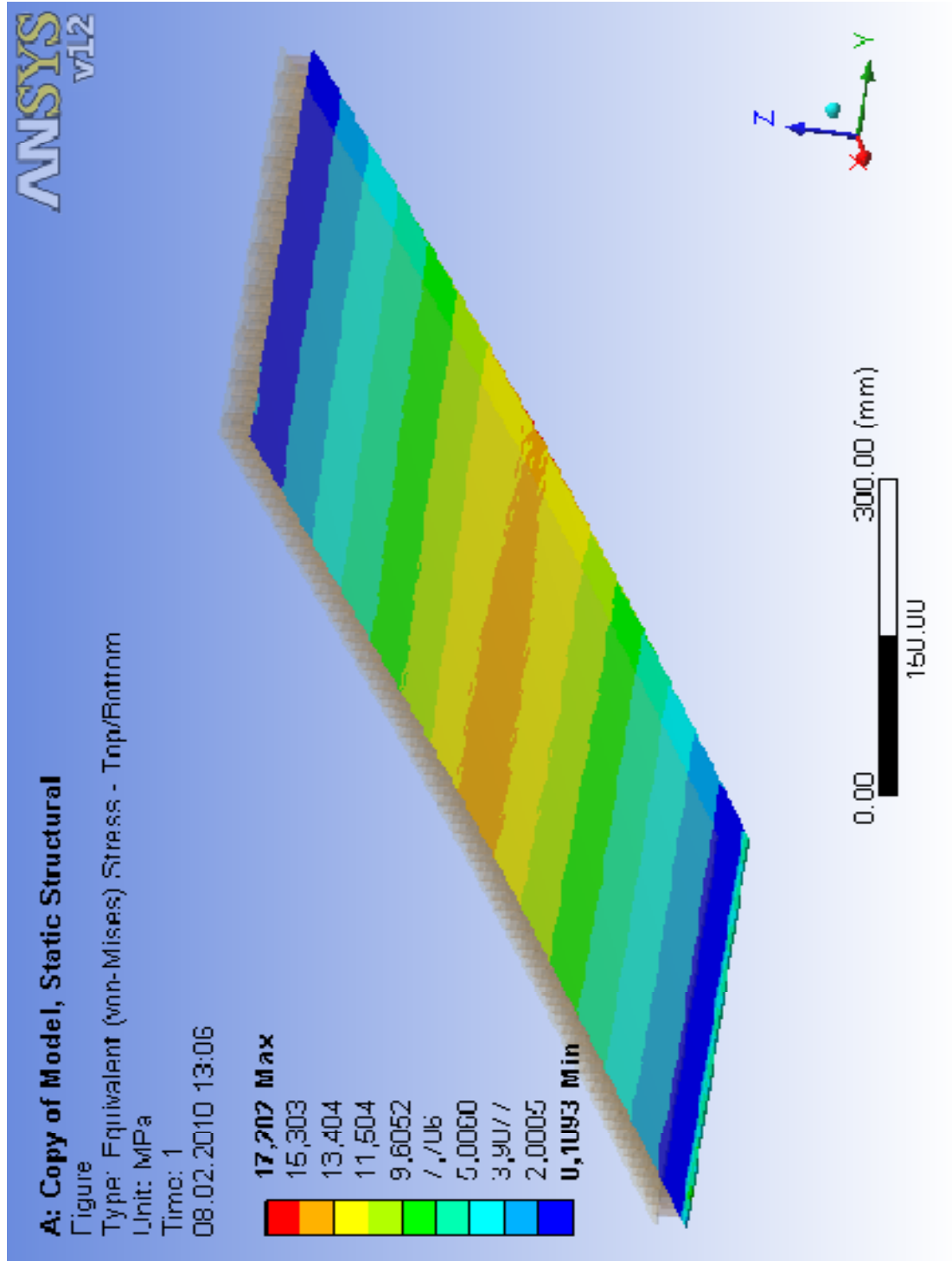
Ek 14- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Üst Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



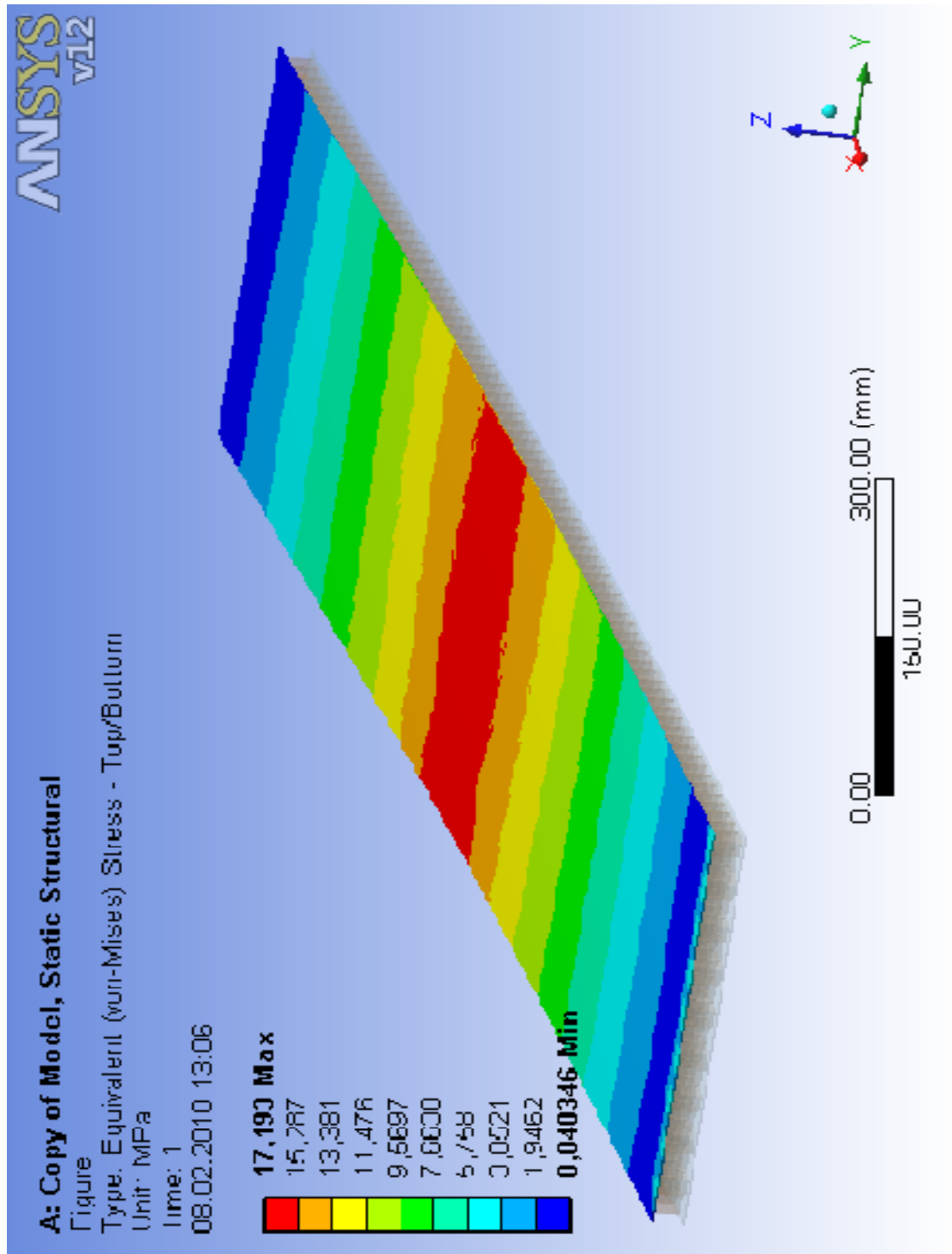
Ek 15- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdek Tabakanın "Z" Yönünde Yer Değiştirmesi



Ek 16- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Alt Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri



Ek 17- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Üst Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri



Ek 18- Optimizasyon Sonrası Karbon Elyaf Takviyeli Modelde Çekirdek Tabakada Oluşan Equivalent Stress (Von-Mises) Değeri

