

**DOKUMALI KOMPOZİTLERDE  
MİKROMEKANİK MODELLEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Zehra ERDOĞAN**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Ömer SOYKASAP**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KASIM 2008**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DOKUMALI KOMPOZİTLERDE MİKROMEKANİK**  
**MODELLEME**

**Zehra ERDOĞAN**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Ömer SOYKASAP**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KASIM 2008**

## ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Ömer SOYKASAP danışmanlığında,  
Zehra ERDOĞAN tarafından hazırlanan  
Dokümanlı Kompozitlerde Mikromekanik Modelleme  
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri  
uyarınca  
02/12/2008  
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. Ömer SOYKASAP	
Üye	Doç.Dr. Mehmet ÇOLAKOĞLU	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Aytekin HİTİT	

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr. Zehra BOZKURT  
Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>i</b>
<b>ÖZET</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	<b>xxiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER</b>	<b>2</b>
2.1 Kompozit Malzeme	2
2.2 Matris Elemanı	2
2.3 Takviye Elemanı	3
2.4 Katkı Maddeleri	3
2.5 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	5
2.6 Kompozit Malzeme Kullanım Alanları	5
2.7 Kompozit Teknolojisinin Gelişimi	5
2.8 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	7
2.9 Kompozit Türleri ve Sınıflandırılması	10
2.9.1 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler	10
2.10 Yapım Şekillerine Göre Kompozitler	12
2.10.1 Karışık Malzeme ve Sinterleme	12
2.10.2 Yüzey Kaplamaları	13
2.10.3 Lif Takviyesi	14
2.10.4 Karbon Fiber Üretimi	14
2.11 Literatür Çalışmaları	15

<b>3. MATERYAL METOD</b>	<b>19</b>
3.1 Mikromekanik Modelleme	19
3.2 Sonlu Elemanlar Metodu (Abaqus)	23
3.3 Abaqus Programında “Basit” Dokumalı Kompozit Bir Malzemenin Modellenmesi	23
3.3.1 Part (Parça oluşturma)	25
3.3.2 Property ( Parça Özelliklerinin Belirlendiği Bölüm)	26
3.3.3 Assembly (Montaj)	28
3.3.4 Step (Adım)	28
3.3.5 İnteraction (Birleşim)	29
3.3.6 Load (Yük Bindirme)	30
3.3.7 Mesh (Ağ)	32
3.3.8 Job (İşlem Yapma)	33
3.3.9 Visualization (Sonuçları Canlandırma)	34
3.4 Abaqus Programında “Tuval” Dokumalı Kompozit Bir Malzemenin Modellenmesi	37
3.5 Abaqus Programında “Saten” Dokumalı Kompozit Bir Malzemenin Modellemesi	38
<b>4. SONLU ELEMANLAR MODELİNDE SONUÇLARIN İNCELENMESİ</b>	<b>41</b>
4.1 Farklı Büyüklüklere Sahip Basit Dokumalı Kompozit Modeller	41
4.1.1 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-7 birim hücre modeli)	41
4.1.2 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-7 Birim Hücre Modeli)	48
4.1.3 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-11 Birim Hücre Modeli)	53
4.1.4 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-11 Birim Hücre Modeli)	58
4.1.5 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-15 Birim Hücre Modeli)	62

4.1.6	Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-15 Birim Hücreli Model)	65
4.1.7	Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-19 Birim Hücreli Model)	68
4.1.8	Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-19 Birim Hücreli Model)	71
4.1.9	Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (10-7 Birim Hücreli Model)	74
4.1.10	Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (10-7 Birim Hücreli Model)	77
4.1.11	Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (14-7 Birim Hücreli Model)	80
4.1.12	Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (14-7 Birim Hücreli Model)	83
4.1.13	Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (18-7 Birim Hücre Modeli)	85
4.1.14	Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (18-7 Birim Hücre Modeli)	88
4.2	Farklı Büyüklüklere Sahip Tuval Dokumalı Kompozit Modeller	90
4.2.1	Tuval Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (5-5 Birim Hücre Modeli)	90
4.2.2	Tuval Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (5-5 Birim Hücre Modeli)	93
4.2.3	Tuval Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (5-10 Birim Hücre Modeli)	96
4.2.4	Tuval Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (5-10 Birim Hücre Modeli)	100
4.2.5	Tuval Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (5-15 Birim Hücre Modeli)	102
4.2.6	Tuval Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (5-15 Birim Hücre Modeli)	105

4.2.7	Tuval Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (5-20 Birim Hücre Modeli)	107
4.2.8	Tuval Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (5-20 Birim Hücre Modeli)	110
4.3	Saten Dokumalı Kompozit Modeller	113
4.3.1	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-7 Birim Hücre Modeli)	113
4.3.2	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-7 Birim Hücre Modeli)	116
4.3.3	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-11 Birim Hücre Modeli)	118
4.3.4	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-11 Birim Hücre Modeli)	121
4.3.5	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-15 Birim Hücre Modeli)	123
4.3.6	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-15 Birim Hücre Modeli)	126
4.3.7	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-19 Birim Hücre Modeli)	128
4.3.8	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-19 Birim Hücre Modeli)	131
4.4	Farklı Dokumalı Kompozit Modellerde Elastik Modül Karşılaştırmaları	133
4.4.1	Basit Dokumalı Kompozit Modelde Elastik Modülü Karşılaştırılması	133
4.4.2	Tuval Dokumalı Kompozit Modelde Elastik Modülünün Karşılaştırılması	134
4.4.3	Saten Dokumalı Modelde Elastik Modülünün Karşılaştırılması	134
4.5	Farklı Dokumalı Kompozit Modelde Poison Oranlarının Karşılaştırılması	135
4.5.1	Basit Dokumalı Kompozit Modelde Poison Oranı Karşılaştırılması	135
4.5.2	Tuval Dokumalı Kompozit Modelde Poison Oranı Karşılaştırılması	136
4.5.3	Saten Dokumalı Kompozit Modelde Poison Oranı Karşılaştırılması	137

4.6	Farklı Dokumalı Kompozit Modellerde D11 Eğrilik Değeri Karşılaştırması	139
4.6.1	Basit Dokumalı Kompozit Modelde D11 Değerinin Karşılaştırılması	139
4.6.2	Tuval Dokumalı Kompozit Modellerin D11 Değerlerinin Karşılaştırması	139
4.6.3	Saten Dokumalı Modelde D11 Değerinin Karşılaştırması	139
<b>5.</b>	<b>SONUÇ</b>	<b>141</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>144</b>
<b>7.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>147</b>



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DOKUMALI KOMPOZİTLERDE MİKROMEKANİK MODELLEME

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Doç.Dr. Ömer Soykasap

Bu çalışmada basit dokumalı , tuval dokumalı ve saten dokumalı kompozitlerin sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi konusu ele alınmaktadır. Giriş ve konu ile ilgili literatür araştırmasını takiben modellemede materyal ve metod açıklanmış ve daha sonra model üzerinde deney çalışmaları sonuçları incelenmiştir. Farklı boyutlarda ve farklı dokuma şekillerinde kompozit modeller oluşturularak sonlu elemanlar metodu ile hesaplamalar yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada sonlu elemanlar metodu modelleme ve analizleri için Abaqus adlı program kullanılmıştır. Reçineli elyaf malzemesi kullanılarak program üzerinde modellemeler mekanik performansları bakımından deneylerle incelenmiştir. Modellere çekme ve eğilme deneyleri uygulanmış, bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modellerin elastik modülü, Poisson oranı ve malzemenin eğilme rijitliğinin hesaplanması için Abaqus programındaki bazı değerler alınarak Excel'e aktarılmıştır. Daha sonra bu değerler grafiksel olarak incelenmiştir ve elastik modül, Poisson oranı ve eğilme rijitliği bulunmuştur. Bütün modeller üzerinde karşılaştırma yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Bu incelemeler sonucu kompozit modellerin rijitlik ve mukavemet değerleri bulunmuştur.

Çalışmanın sonunda, model oluşturma , model üzerinde deney yapma ve deney sonuçlarını inceleme kolaylığı sağlayan sonlu elemanlar metodunun, klasik laminasyon teorisine sonuçlarına göre çok doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

**2008 , 143 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Dokumalı Kompozitler, Sonlu Elemanlar Metodu, Abaqus

## ABSTRACT

### MICROMECHANICAL MODELING OF WOVEN FABRIC COMPOSITES

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Advisor : Assoc.Prof.Dr. Ömer SOYKASAP

In this thesis, modeling of plain weave, twin weave and satin weave composites using finite element methods is studied. Following the introduction and literature review, in modeling, material, methods and simulation results are explained. The models with different sizes and with different weave styles are created, and in-plane and out-of plane properties are obtained by finite element analysis.

In this thesis, a finite element program Abaqus is used for modelling. By using material properties of fiber and resin, the models are analyzed for their mechanical performance. Stretch and bending simulations are carried out, and the results of which are compared. Defining the elastic module, Poisson ratio and material's curvature value of the models, some values in Abaqus are transferred to Excel file. Then , these values are analysed graphically and elastic module, Poisson ratio and material's curvature value are found. Results are analyzed by comparing all the models. With reference to this results, the strength and stiffnesses of the composite models are defined.

Overall , it is concluded that the finite element method, which provides easy of modeling and analysis testing on models and analyzing the test results have more advantages than those of direct application of the classical lamination theory .

**2008, pg. 143**

**Anahtar Kelimeler:** : Woven Composites, Finite Elements Method, Abaqus

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans tez konumu öneren ve tezimin hazırlanmasında, tüm aşamalarında destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç.Dr. Ömer SOYKASAP'a , yüksek lisans süresince her türlü konuda desteğini esirgemeyen hocam Prof.Dr. Süleyman Taşgetiren'e teşekkürlerimi sunarım.

Zehra ERDOĞAN

AFYONKARAHİSAR, Kasım 2008

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1.Simgeler

$A_f$	Fiberin alanı
$A_{ij}$	Genleşme
$B_{ij}$	Bağlantı rijitlikleri
$D_{ij}$	Eğilme
$dx$	“x” yönündeki uzama miktarı
$e_{11max}$	Reçineli elyaftaki maximum uzama
$E_{1elyaf}$	1 doğrultusunda elyafın gerilme değeri
$E_{2elyaf}$	2 doğrultusunda reçineli elyafın gerilme değeri
$E_c$	Kompozit modelin elastik modülü
$E_f$	Fiberin gerilme değeri
$E_{1f}$	Elyafın uzunlama doğrultusundaki modülü
$E_{2f}$	Elyafın enine doğrultudaki elastik modülüdür
$E_m$	Matrisin gerilme değeri
$ex$	“x” yönündeki birim uzama
$G_m$	Matrisin kayma modülü
$G_{12f}$	Elyafın kayma modülü
$h$	Boyuna doğrultudaki genliği
$L$	Dalga boyu
$n$	Tabaka sayısı
$\nu_{12}$	Reçineli elyafın poisson oranı
$R_{F1}$	1 yönündeki reaksiyon kuvveti

Rm3	3 yönünde reaksiyon momenti
s11max	Reçineli elyaftaki maximum gerilme
Vf	Fiberin alanının elyafın alanına oranı

## **2.Kısaltmalar**

BMC	Hazır Kalıplama Hamuru
Kg	Kilogram
KLT	Klasik laminant teorisi
PAN	Polyacrylonitrile
RTM	Reçine Transfer Kalıplama
SiC	Silisyum Karbür
SMC	Hazır kalıplama pestili

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 Düz dokumalı kompozitte birim hücre	20
Şekil 3.2 Birim hücrede temel büyüklükler	20
Şekil 3.3 Düz dokumalı kompozitte 4×4 mozaik modeli	22
Şekil 3.4 Basit dokumalı kompozit model	23
Şekil 3.5 Kirişin eğrisel şekillendirildiği ekran	24
Şekil 3.6 Part bölümünde oluşturulmuş kiriş örneği	26
Şekil 3.7 Property , materyalin özelliklerinin belirlendiği ekran	27
Şekil 3.8 Assembly, montaj ekranı	28
Şekil 3.9 Step; deney sonunda istenen değerlerin seçildiği ekran	29
Şekil 3.10 İnteraction; herbir kirişin birbirine bağlandığı ekran	30
Şekil 3.11 Load; deney yüklemelerinin yapıldığı ekran	31
Şekil 3.12 Mesh ; modelin ağ şeklinde parçalar haline ayrıldığı ekran	32
Şekil 3.13 Job; hesap yaptırma ekranı	33
Şekil 3.14 Visualization ; sonuçları izleme ekranı	34
Şekil 3.15 Sonuç üzerinde istenilen verinin şekil üzerinde gösterim ekranı	35
Şekil 3.16 Step time= 0 iken gerilme değerleri	35
Şekil 3.17 Step time = 0.3317 de birim uzama değerleri	36

Şekil 3.18 Basit dokumalı bir kompozitte eğilme deneyi sonucu elde edilen değerlerin son adımdaki sonuçları (6-7 birim hücre modeli)	36
Şekil 3.19 Tuval dokumalı kompozit model	37
Şekil 3.20 Tuval dokuma kompozit model çizim ekranı ( 5-10 birim hücre modeli)	38
Şekil 3.21 Saten dokumalı kompozit model	38
Şekil 3.22 Saten dokumalı kompozit malzemenin modelleme örneği	40
Şekil 4.1 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi yerdeğiştirme değerleri sonuç ekranı (6-7 birim hücre modeli)	41
Şekil 4.2 Basit dokumalı kompozit modelde gerilme değerleri (6-7 hücreli)	42
Şekil 4.3 Basit dokumalı modelde $E_c$ değeri hesap grafiği (6-7 birim hücre modeli)	46
Şekil 4.4 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (6-7 hücreli)	46
Şekil 4.5 Basit dokumalı modelde % 0,3 'den küçük kısım için poisson oranı (6-7 birim hücre)	47
Şekil 4.6 Basit dokuma modelde " $e_{11max}$ " , " $s_{11max}$ " değerlerinin karşılaştırması (6-7 birim hücre modeli)	48
Şekil 4.7 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi yerdeğiştirme değerleri sonuç ekranı (6-11 birim hücre modeli)	48
Şekil 4.8 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme birim uzama sonuç ekranı (6-7 model birim hücre)	50

Şekil 4.9 Basit dokumalı modelde birim uzama - eğrilik derecesi grafiği (6-7 birim hücre modeli)	51
Şekil 4.10 Basit dokumalı kompozit modelde gerilme ve eğrilik derecesi grafiği (6-7 birim hücre modeli)	52
Şekil 4.11 Basit dokuma kompozit modelde moment -eğrilik grafiği (6-7 model birim hücre)	53
Şekil 4.12 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi yerdeğiştirme değerleri sonuç ekranı (6-11 birim hücre modeli)	54
Şekil 4.13 Basit dokumalı kompozit modelde gerilme değerleri (6-11 birim hücre)	55
Şekil 4.14 Basit dokumalı modelde $E_c$ değeri hesap grafiği (6-11 birim hücre modeli)	56
Şekil 4.15 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (6-11 hücreli)	57
Şekil 4.16 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı (6-11 hücreli)	57
Şekil 4.17 Basit dokuma modelde " $e_{11max}$ ", " $s_{11max}$ " değerlerinin karşılaştırması (6-11 birim hücre modeli)	58
Şekil 4.18 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi yer değıştirme değerleri sonuç ekranı (6-11 birim hücre modeli)	59
Şekil 4.19 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi gerilme değerleri sonuç ekranı (6-11 birim hücre modeli)	59



Şekil 4.20 Basit dokumalı kompozitte birim uzama-eğrilik grafiği (6-11 birim hücre)	60
Şekil 4.21 Basit dokumalı kompozitte gerilme-eğrilik grafiği (6-11 model birim hücre)	61
Şekil 4.22 Basit dokumalı kompozit modelde moment - eğrilik grafiği (6-11 birim hücre)	61
Şekil 4.23 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama değerleri (6-15 birim hücre)	62
Şekil 4.24 Basit dokumalı modelde $E_c$ değeri hesap grafiği (6-15 birim hücre modeli)	63
Şekil 4.25 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (6-15 hücreli)	64
Şekil 4.26 Basit dokumalı modelde % 0,3 'den küçük kısım için poisson oranı (6-15 birim hücre)	64
Şekil 4.27 Basit dokuma modelde " $\epsilon_{11max}$ " , " $\sigma_{11max}$ " değerlerinin karşılaştırması (6-15 birim hücre modeli)	65
Şekil 4.28 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi yerdeğiştirme değerleri sonuç ekranı (6-15 birim hücre modeli)	65
Şekil 4.29 Basit dokumalı modelde birim uzama ve eğrilik grafiği (6-15 birim hücre modeli)	66
Şekil 4.30 Basit dokumalı modelde gerilme - eğrilik grafiği (6-15 birim hücre modeli)	67

Şekil 4.31 Basit dokumalı kompozit modelde moment ve eğrilik grafiği (6-15 birim hücre modeli)	67
Şekil 4.32 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama değer ekranı (6-19 birim hücre modeli)	68
Şekil 4.33 Basit dokumalı modelde $E_c$ değeri hesap grafiği (6-19 birim hücre modeli)	69
Şekil 4.34 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (6-19 hücreli)	70
Şekil 4.35 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı (6-19 hücreli)	70
Şekil 4.36 Basit dokuma modelde " $\epsilon_{11max}$ " , " $\sigma_{11max}$ " değerlerinin karşılaştırması (6-19 birim hücre modeli)	71
Şekil 4.37 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme sonucu gerilme değerleri (6-19 hücreli)	72
Şekil 4.38 Basit dokumalı modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)	72
Şekil 4.39 Basit dokumalı modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)	73
Şekil 4.40 Basit dokumalı kompozitte moment- eğrilik grafiği (6-19 hücreli)	73
Şekil 4.41 Basit dokumalı kompozit model çekme deneyi gerilme sonuçları (10-7 hücreli)	74
Şekil 4.42 Basit dokumalı modelde $E_c$ değeri hesap grafiği (10-7 birim hücre modeli)	75

Şekil 4.43 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (10-7 hücreli)	76
Şekil 4.44 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı (10-7 hücreli)	76
Şekil 4.45 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (10-7 birim hücre modeli)	77
Şekil 4.46 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi geilme değerleri sonuç ekranı (10-7 birim hücre modeli)	77
Şekil 4.47 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (10-7 hücreli)	78
Şekil 4.48 Basit dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (10-7 hücreli)	79
Şekil 4.49 Basit dokumalı modelde moment-eğrilik grafiği (10-7 hücre)	79
Şekil 4.50 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi birim uzama sonuç ekranı (14-7 hücre)	80
Şekil 4.51 Basit dokumalı modelde Ec değeri hesap grafiği (14-7 birim hücre modeli)	81
Şekil 4.52 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (14-7 hücreli)	81
Şekil 4.53 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı (14-7 hücreli)	82
Şekil 4.54 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (14-7 birim hücre modeli)	82

Şekil 4.55 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyinde gerilme sonuç ekranı (14-7 hücre)	83
Şekil 4.56 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (14-7 hücreli)	83
Şekil 4.57 Basit dokumalı modelde gerilme- eğrilik grafiği (14-7 hücreli)	84
Şekil 4.58 Basit dokumalı kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (14-7 hücreli)	84
Şekil 4.59 Basit dokumalı kompozit model çekme deneyi gerilme değerleri ekranı (18-7 hücreil)	85
Şekil 4.60 Basit dokumalı modelde $E_c$ değeri hesap grafiği (18-7 birim hücre modeli)	86
Şekil 4.61 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (18-7 hücreli)	86
Şekil 4.62 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı (18-7 hücreli)	87
Şekil 4.63 Basit dokuma modelde " $\epsilon_{11max}$ " , " $\sigma_{11max}$ " değerlerinin karşılaştırması (18-7 birim hücre modeli)	87
Şekil 4.64 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi gerilme sonuç ekranı (18-7 model birim hücreli )	88
Şekil 4.65 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (18-7 hücreli)	88
Şekil 4.66 Basit dokumalı modelde gerilme- eğrilik grafiği (18-7 hücreli)	89

Şekil 4.67 Basit dokumalı kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (18-7 hücreli)	89
Şekil 4.68 Tuval dokuma kompozit modelde çekme gerilme değerleri ekranı (5-5 hücreli)	91
Şekil 4.69 Tuval dokuma kompozit modelde $E_c$ değeri grafiği (5-5 Hücreli)	91
Şekil 4.70 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'den büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-5 hücreli)	92
Şekil 4.71 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,2 'den küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-5 hücreli)	92
Şekil 4.72 Tuval dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (5-5 birim hücre modeli)	93
Şekil 4.73 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme değerleri (5-5 hücreli)	94
Şekil 4.74 Tuval dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (5-5 hücreli)	95
Şekil 4.75 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (5-5 hücreli)	95
Şekil 4.76 Tuval dokuma kompozit modelde moment- eğrilik grafiği (5-5 hücreli)	96
Şekil 4.77 Tuval dokuma kompozit modelde çekme deneyi gerilme sonuç ekranı (5-10 hücreli)	97
Şekil 4.78 Tuval dokuma kompozit modelde $E_c$ değeri grafiği (5-10 Hücreli)	98
Şekil 4.79 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-10 hücreli)	98

Şekil 4.80 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-10 hücreli)	99
Şekil 4.81 Tuval dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (5-10 birim hücre modeli)	99
Şekil 4.82 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme değerleri (5-10 hücreli)	100
Şekil 4.83 Tuval dokuma kompozit modelde birim uzama - eğrilik grafiği (5-10 hücre)	100
Şekil 4.84 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme - eğrilik grafiği (5-10 hücre)	101
Şekil 4.85 Tuval dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (5-10 hücre)	101
Şekil 4.86 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme sonuç ekranı (5-15 hücreli)	102
Şekil 4.87 Tuval dokuma kompozit modelde Ec değeri grafiği (5-15 Hücreli)	103
Şekil 4.88 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-15 hücreli)	103
Şekil 4.89 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-15 hücreli)	104
Şekil 4.90 Tuval dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (5-15 birim hücre modeli)	104
Şekil 4.91 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme sonuç ekranı (5-15 hücreli)	105
Şekil 4.92 Tuval dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (5-15 hücreli)	105

Şekil 4.93 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (5-15 hücreli)	106
Şekil 4.94 Tuval dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (5-15 hücre)	106
Şekil 4.95 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme değerleri (5-20 hücreli)	107
Şekil 4.96 Tuval dokuma kompozit modelde $E_c$ değeri grafiği (5-20 Hücreli)	108
Şekil 4.97 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-20 hücreli)	109
Şekil 4.98 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-20 hücreli)	109
Şekil 4.99 Tuval dokuma modelde " $\epsilon_{11max}$ " , " $\nu_{11max}$ " değerlerinin karşılaştırması (5-20 birim hücre modeli)	110
Şekil 4.100 Tuval dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (5-20 hücreli)	110
Şekil 4.101 Tuval dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (5-20 hücreli)	111
Şekil 4.102 Tuval dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (5-20 hücreli)	112
Şekil 4.103 Tuval dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (5-20 hücreli)	112
Şekil 4.104 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-7 hücreli)	113
Şekil 4.105 Saten dokuma kompozit modelde $E_c$ değeri grafiği (6-7 Hücreli)	114

Şekil 4.106 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-7 hücreli)	114
Şekil 4.107 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-7 hücreli)	115
Şekil 4.108 Saten dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-7 birim hücre modeli)	115
Şekil 4.109 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (5-20 hücreli)	116
Şekil 4.110 Saten dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-7 hücreli)	116
Şekil 4.111 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-7 hücreli)	117
Şekil 4.112 Saten dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (6-7 hücreli)	117
Şekil 4.113 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-11 hücreli)	118
Şekil 4.114 Saten dokuma kompozit modelde Ec değeri grafiği (6-11 Hücreli)	119
Şekil 4.115 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-11 hücreli)	119
Şekil 4.116 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-11 hücreli)	120
Şekil 4.117 Saten dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-11 birim hücre modeli)	120



Şekil 4.118 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-11 hücreli)	121
Şekil 4.119 Saten dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-11 hücreli)	121
Şekil 4.120 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-11 hücreli)	122
Şekil 4.121 Saten dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (6-11 hücreli)	122
Şekil 4.122 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-15 hücreli)	123
Şekil 4.123 Saten dokuma kompozit modelde $E_c$ değeri grafiği (6-15 Hücreli)	124
Şekil 4.124 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-15 hücreli)	124
Şekil 4.125 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-15 hücreli)	125
Şekil 4.126 Saten dokuma modelde " $\epsilon_{11max}$ ", " $\nu_{11max}$ " değerlerinin karşılaştırması (6-11 birim hücre modeli)	125
Şekil 4.127 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-15 hücreli)	126
Şekil 4.128 Saten dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-15 hücreli)	126
Şekil 4.129 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-15 hücreli)	127

	Sayfa No
Şekil 4.130 Saten dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (6-15 hücreli)	127
Şekil 4.131 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-19 hücreli)	128
Şekil 4.132 Saten dokuma kompozit modelde $E_c$ değeri grafiği (6-19 Hücreli)	129
Şekil 4.133 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-19 hücreli)	129
Şekil 4.134 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-19 hücreli)	130
Şekil 4.135 Saten dokuma modelde " $\epsilon_{11max}$ ", " $\sigma_{11max}$ " değerlerinin karşılaştırması (6-19 birim hücre modeli)	130
Şekil 4.136 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-19 hücreli)	131
Şekil 4.137 Saten dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)	131
Şekil 4.138 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)	132
Şekil 4.139 Saten dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)	132

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1 Basit Dokumalı Kompozitin Kirişlerinin Noktasal Değerleri	25
Çizelge 3.2 Tuval Dokumalı Kompozitin Kirişlerinin Noktasal Değerleri	37
Çizelge 3.3 Saten dokumalı modelde dokumada 3 alttan olacak kısmın sinüs değerleri	39
Çizelge 3.4 Saten dokumalı kompozit modelin 1 alttan olan kısmının sinüs değerleri	40
Çizelge 4.1 Basit dokumalı model ölçüleri (6-7 hücreli)	42
Çizelge 4.2 Basit dokumalı model için çekme gerilmesi hesapları (6-7 birim hücre modeli)	44
Çizelge 4.3 Basit dokumalı modelde “y” yönündeki çekme gerilmesi(6-7 hücreli)	45
Çizelge 4.4 Basit Dokumalı Modelde Ec Değer Hesaplaması (6-7 birim hücre)	45
Çizelge 4.5 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi sonuçları (6-7 birim hücre modeli)	49
Çizelge 4.6 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme gerilmeleri sonuçlarının değerlendirme çizelgesi (6-7 model birim hücre)	51
Çizelge 4.7 Basit dokumalı kompozitte model ölçüleri çizelgesi (6-11 birim hücre)	54
Çizelge 4.8 Basit dokumalı kompozit modelde elastik modülü karşılaştırma çizelgesi	133

Çizelge 4.9 Tuval dokumalı kompozit modelde elastik modülü karşılaştırma çizelgesi	134
Çizelge 4.10 Saten dokumalı kompozit modelde elastik modülü değeri	135
Çizelge 4.11 Basit dokumalı kompozit modelde %0,3'ten büyük kısımda poisson oranı karşılaştırması	135
Çizelge 4.12 Basit dokumalı kompozit modelde %0,3'ten küçük kısımda poisson oranı karşılaştırması	136
Çizelge 4.13 Tuval dokumalı kompozit modelde %0,3'ten büyük kısım için poisson oranı karşılaştırması	137
Çizelge 4.14 Tuval dokumalı kompozit modelde %0,3'ten küçük kısım için poisson oranı karşılaştırması	137
Çizelge 4.15 Saten dokumalı kompozit modelde %0,3 'ten büyük kısımda poisson oranı karşılaştırması	138
Çizelge 4.16 Saten dokumalı kompozit modelde %0,3'ten küçük kısımda poisson oranı	138
Çizelge 4.17 Basit dokumalı kompozit modellerde D11 değerinin karşılaştırılması	139
Çizelge 4.18 Tuval dokumalı kompozit modellerde D11 eğilme değerlerinin karşılaştırılması	139
Çizelge 4.19 Saten dokumalı modelde D11 değeri	140

## 1. GİRİŞ

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir (İnt.Kyn.1).

İç yapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına rağmen mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir (İnt.Kyn.1)

Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir (İnt.Kyn.1)

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme bulunmakta, bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olur (İnt.Kyn.1)

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Kompozit Malzeme

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denir (İnt.Kyn.1). Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir. Kompozit malzeme türleri şunlardır:

- Polimer Kompozitler,
- Metal Kompozitler,
- Seramik Kompozitler.

Kompozit malzemelerin üç ana elemanı bulunmaktadır. Bunlar:

### 2.2 Matris Elemanı

Kompozit malzemelerde 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. Matris malzemesi, termoset veya termoplastik polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur.

Termosetler grubunda ağırlıklı olarak polyesterler kullanılır. Bunun yanı sıra vinil ester/bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanımını görmekteyiz (yaklaşık % 68.3), bunların yanı sıra hibrid formda polietilen ve polibutilen tereftalat, polietereterketon ve polietersulfon kullanımı da dikkat çekmektedir (İnt.Kyn.1)

### 2.3 Takviye Elemanı

Matris malzeme içinde yer alan takviye elemanı kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastite 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. Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun sürekli elyaf formunda kullanıldığı ve matrisi yaklaşık % 60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir (İnt.Kyn.1)

### 2.4 Katkı Maddeleri

Dolgular, kimyasallar ve diğer katkıları matrise niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler.

Bu gruptaki kompozit malzemeler uçak-uzay, savunma, yapı-inşaat, tüketim mallarında, korozyon dayanımı gerektiren uygulamalarda, elektrik-elektronik, denizcilik, kara taşıtlarında ve özel amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe giderek artan ve % 6'ya yaklaşan bir uygulama artış hızı görülmektedir.

Kompozit malzemeler reçine (Matrix) ve takviye (Reinforcement) bileşenlerinden oluşur. Kompozitler temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış elyaflardan oluşmaktadır. Bu bileşenler birbirleri içinde çözülmezler veya karışmazlar. Kompozit malzemelerde elyaf sertlik, sağlamlık gibi yapısal özellikleri, plastik reçine malzemesi ise elyafın yapısal bütünlüğü oluşturması için birbirine bağlanması, yükün elyaf arasında dağılmasını ve elyafın kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar.

Kompozitlerde matris olarak kullanılan malzemeler;

- Kompozit malzemelerde kullanılan matrisler, polimerlerden (termosetler ve termoplastikler) metal ve seramiklere kadar değişmektedir. Polimerler düşük

yoğunluklu göreceli olarak düşük dayanıklılıktadır. Başlıca polimer matris malzemeleri polyester, epoksi, fenol ve vinil esterdir. Kompozit malzemelerde takviye amacıyla kullanılan elyaflar;

- Doğal elyaflar (artık yerlerini sentetik elyaflara bırakmışlardır)
- Sentetik, organik elyaflar; Naylon, aramid (düşük yoğunluklu ve güçlü elyaflardır)
- Sentetik inorganik, elyaflar ; Cam, karbon boron ve diğer kompozit kombinasyonları günümüzde tercih edilmesinin ve kullanımlarındaki artışın mutlak sebepleri sağlamlıkları ve hafiflikleridir. Çeşitli plastik malzemelerin seramik, metal bazen de sert polimerlerin elyafları ile güçlendirilerek ileri derecede faydalar sağlayan malzemeler üretmek mümkündür. İçindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilen ve takviye elyaflar sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme kombinasyonları, kompozitler her gün yepyeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar.

Ayrıca metallere kıyasla malzeme yorulması, malzeme üzerinde hasarların tolere edilmesi ve korozyona dayanıklılık özellikleri bakımından avantaj sağlamaktadır. Tüm bu faydalarına rağmen kompozitlerin tamamıyla metalin yerine geçmemesinin dört ana sebebi vardır;

- Titanyum ve çelik gibi metallerin bazı uygulamalarda ihtiyaç duyulan kritik düzeyde ısı, mekanik özellikleri günümüz kompozitleri karşılamamaktadır.
- Yeni geliştirilen matris malzemelerle, elyafların tüm karakteristik özellikleri metaller kadar bilinmemektedir.

Bazı karmaşık biçimler düşük maliyetler çerçevesinde üretilememektedir.

Kompozitler kg başına düşen üretim maliyeti rakamları metallere, özellikle alüminyum, daha yüksektir (İnt.Kyn.1)



## **2.5 Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri**

İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme üretimi için bir çok yöntem bulunmaktadır. (İnt.Kyn.1) Bu yöntemlerden başlıcaları aşağıdadır;

- Elle Yatırma (hand lay-up)
- Püskürtme (spray-up)
- Reçine Transfer Kalıplama RTM / Reçine Enjeksiyonu
- Profil çekme / pultrüzyon (pultrusion)
- Hazır kalıplama / compression molding
- Hazır kalıplama pestili / SMC (levha kalıplama kompozitleri)
- Hazır Kalıplama hamuru / BMC (hamur kalıplama kompozitleri)
- Vakum yapıştırma / vakum tornalama
- Otoklav

## **2.6 Kompozit Malzeme Kullanım Alanları**

- Havacılık Sanayi
- Denizcilik Sanayi
- Korozyona Dayanıklı Ürünler
- Sağlık
- Otomotiv
- FORMULA 1 Arabaları
- Ulaşım
- Müzik aletleri
- Yapı sektörü

## **2.7 Kompozit Teknolojisinin Gelişimi**

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı inşaat sektörüdür. Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindedir. Bugün taş, kum, kireç, demir, ve çimento ile oluşturulan kompozit

malzeme evleri oluşturmaktadır. Kompozit malzemeye en güncel örneklerden biri de kağıttır. Selüloz ve reçineden oluşan kağıt, günümüzde yaşamın her alanında eşsiz bir kullanım aracı olarak insanlığın hizmetine sunulmuştur. Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanı çok geniş boyutlara ulaşmıştır (İnt.Kyn.1). Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları ve bu alanlarda sağlanan avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- **Şehircilik**

Bu alanda kompozitler, toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında (heykel, banklar, elektrik direkleri v.s.) kullanılmaktadır. Üreticinin çok sayıda standart ürünü kısa zamanda imal edebilmesi, montajdan tasarruf ve ucuz maliyet imkanları, kullanıcıya da yüksek izolasyon kapasitesi, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım imkanları sağlamaktadır.

- **Ev Aletleri**

Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyalarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde komple ve karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlamaktadır.

- **Elektrik ve Elektronik Sanayi**

Kompozitler, başta elektriksel izolasyon olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımında kullanılmaktadır.

- **Havacılık Sanayi**

Havacılık sanayisinde kompozitler, gün geçtikçe daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır. Daha hafif malzemeyle atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır.

- **Otomotiv Sanayi**

Bu alanda kompozitlerden oluşan başlıca ürünler; otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar ve oto lastikleridir.

- **İş Makinaları**

İş makinalarının kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı azaltılabilmekte, tek parça üretim mümkün olmaktadır. Ayrıca elektrik izolasyon malzemelerinden de tasarruf sağlanmaktadır.

- **İnşaat Sektörü**

Cephe korumaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamalarıdır. Tasarım esnek ve kolay olmakta, nakliye ve montajda büyük avantajlar sağlamaktadır. İzolasyon problemi çözülmekte ve bakım giderleri azalmaktadır.

- **Tarım Sektörü**

Seralar, tahıl toplama siloları, su boruları ve sulama kanalları yapımında kompozitler özel bir öneme sahiptirler. Kompozit malzemelerden yapılan bu örnekler istenirse ışık geçirgenliği, tabiat şartlarına ve korozyona dayanıklılık, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajlar sağlamaktadır.

## **2.8 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları**

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için

bir üstünlük sağlamaktadır. Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yarını alabilecektir.

### **Yüksek Mukavemet**

Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedeki tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

### **Kolay Şekillendirilme**

Büyük ve kompleks parçalar tek işleme bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

### **Elektriksel Özellikler**

Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

### **Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet**

Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

## **Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı**

Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

## **Kalıcı Renklendirme**

Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

## **Titreşim Sönümlendirme**

Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiştir. Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek bir malzemedir.

## 2.9 Kompozit Türleri ve Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler yapılarını oluşturan malzemeler ve yapım metotlarına göre iki ayrı şekilde sınıflandırılmıştır (İnt.Kyn.1). Bunları sıralayacak olursak;

### 2.9.1 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler

Fiber ve matris olarak kullanılabilen malzemeler amaca uygun olarak çok çeşitli olabilmektedirler (İnt.Kyn.1). Fakat genellikle cam, seramik, plastik ve metaller kullanılmaktadır.

**Plastik - Plastik Kompozitler :** Fiber olarak kullanılan plastik yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik esneklik verici, darbe emici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri de iki ayrı grupta incelenebilir:

**Termoplastikler :** Bu tür plastikler ısıtıldığında yumuşar ve şekillendirildikten sonra soğutulduğunda sertleşir. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında bir değişiklik olmaz. Genellikle 5-50 °C arasında kullanılabilirler. Bu gruba giren plastikler naylon, polietilen, polistren, karbonflorür akrilikler, selülozikler, viniller sayılabilir.

**Termoset Plastikler :** Bu tür plastikler ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır. Bu grubun belli başlı plastikleri ise polyesterler, epoksiler, alkitler, aminler olarak verilebilir.

**Plastik – Cam Elyaf Kompozitler :** İsteğe göre termoplastikler veya termoset plastikten oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonundan üretilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle cam lifler birçok durumda metal, asbest, sentetik elyaf ve pamuk ipliği gibi liflere tercih edilebilirler. Ancak cam elyafli kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılğan olmasından dolayı çok düşük dirençlidirler.

Bu tür malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanılan plastik reçineler uygun seçilerek arzu edilen şekle sokulabilir. Plastik reçineler de termoplastik ve termoset türünde olmaktadır. Termoset plastikler, fiberlerinde düzgün oryantasyonu ile yüksek mukavemete ulaşabilirler. Cam elyaf takviyeleri ile en çok kullanılan plastik reçineler, polyesterlerdir. Polyesterlerinde bu amaçla kullanılan bir çok türü mevcuttur.

**Plastik – Metal Fiber Kompozitler :** Endüstride çok kullanılan metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler oldukça hafif ve mukavim bir ürün olarak karşuya çıkmaktadır. Bu kompozitler, metal fiberlerin ( Bakır, Bronz, Alüminyum. Çelik v.s. ) poli – etilen ve poli – propilen plastiklerini takviyelendirmesi amacı ile elde edilmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle deformasyon yönünden takviyelendirme yaygın olarak kullanılmakta ve iyi bir verim alınmaktadır.

**Plastik – Köpük Kompozitler :** Bu tür kompozitlerde plastik, fiber olarak görev yapmakta; Köpük ise matris, reçine konumunda olmaktadır. Köpükler, hücreli yapıya sahip, düşük yoğunlukta, gözenekli ve doğal halde bulunduğu gibi, büyük kısmı sentetik olarak elde edilmiş hafif maddelerdir. Köpük, hücre yapısına göre sert, kırılğan, yumuşak ya da elastik olabilmektedir. Matris olarak kullanılan bu köpük türleri, kullanılan plastiğin çeşitlenebilmesiyle değişik özellikte kompozitlerin oluşumunu sağlar.

**Metal Matrisli Kompozitler:** Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedir.

Bakır ve alüminyum matrisli, Wolfram ve Molibden fiberli kompozitler ve Al-Cu kompoziti bize bu kompozisyonu en iyi veren örneklerdir. Bu tip kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi bu özelliklere daha ekonomik ulaşılmasını sağlar. Fiberlerin malzemeyi kuvvetlendirme derecesi, yüzeysel boşlukların olmayışına bağlıdır. Böylece teorik duruma yaklaşılabilir. Fiberlerin çaplarına ve matrisle olan adezyon kuvvetinin niteliğine bağlı olarak belli bir kritik uzunluktan daha kısa olmalıdır. Bu kompozitlerde metal matris içine gömülen ikinci faz, sürekli lifler

şeklinde olabildiği gibi gelişmiş güzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir.

**Seramik Kompozitler:** Metal veya metal olmayan malzemelerin bileşiminden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık Özelliği gösterirler. Üç ayrı grupta toplanan seramik kompozitler şu şekilde sıralanabilir:

**A ) Seramik - Seramik Sistemi :** İki seramik fazın karışmasından oluşmaktadır. Örnek olarak saf çini verilebilir.

**B ) Seramik - Cam Sistemi :** Yaşamın her alanında kullanılan porselen, bir seramik cam kompozitidir. Kuartz fiberlerin bir cam matris içersine çini ile birlikte hamurlanıp yerleştirilmesiyle oluşmuştur.

**C ) Seramik - Metal Sistemi :** Bu tür kompozitler, çok fazlı bir yapıya sahiptirler. Bir metal faz, bir seramik faz, bir gözenek fazı ve daha çok karmaşık formlarda seramik ve metalin ilave fazlarından meydana gelmiştir. Endüstride kullanılan ve elmas olarak adlandırılan kesme aletleri en iyi örneklerdir. Bir kobalt matris içine dağılmış tungsten karpit parçalarından oluşan bu kompozit malzeme büyük bir dayanım sağlamaktadır.

## 2.10 Yapım Şekillerine Göre Kompozitler

### 2.10.1 Karışık Malzeme ve Sinterleme

Endüstride kullanılan çok çeşitli karışık kompozit malzeme vardır. İnce bir kalıp kumun bir plastik malzeme ile bağlanması ve plastiğin yüksek sıcaklıkta polimerize olmasından yararlanılarak dökümcülükte kullanılan kalıp malzemeleri ortaya çıkmıştır. Zımpara taşı taneleri de cam ve reçine tarafından bağlanarak zımparalar oluşturulmuştur (İnt.Kyn.1).

Karışık malzemelerin birleştirilmesinde bir başka yöntem de sinterlemedir. Sinterleme, küçük parçaları (çoğu kez metalleri) yüksek sıcaklıkta, basınç altında birbirine bağlama



ile gerçekleşir. Sinterleme olması için ya bir sıvı faz meydana gelmeli ya da katı halde yayınma ile parçaların arasında bir bağ oluşmalıdır. Sıvı fazlı sinterlemede bağlayıcı metal erir ve karbür taneleri arasında sürekli bir faz oluşur. Fakat sinterlemeden sonra kristalleşir, kuvvetli ve rijit bir yapı meydana getirir. Küçük parçaları birbirine bağlamada reçine kullanıldığı zaman aynı şekilde tanelerin yüzeyini kaplaması gerekir. Kristalleşme yerine, reçine polimerize olur ve akışkanlığını kaybederek kuvvetli bir bağ yapar. En çok kullanılan sinter metodu, cam sinterlemesi adı da verilen silisli malzemenin pişirilmesidir. Tuğla, porselen, buji veya benzer silisli maddeler bu yöntemle elde edilir. Bir miktar sıvı, solidus sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır. Meydana gelen bu silikat sıvı bir camdır ve kristalleşmeden oda sıcaklığına kadar soğutulur. Kristalleşmeyen bu bağın viskozitesi çok yüksektir. Sonuçta çok sert ve kuvvetli bir bağ oluşur (İnt.Kyn.1).

Katı sinterlemede ise, gereken yayınmanın çabuk olması için solidus sıcaklığının biraz altında olması istenir. Birçok toz metal parça ve dielektrik seramik malzeme katı sinterleme ile yapılır. Ayrıca volfram ve kolumbiyum gibi refrakter metaller bu malzemeleri içinde ergitecek potaların ve kalıpların pratik olarak mümkün olmamasından dolayı katı sinterleme ile şekillendirilir. Sinterlemeden önce parçacıklar arasında iki yüzey vardır. Yüzeydeki atomların yalnız bir taraflarında atom olduğu için yüzeyler yüksek enerji yerleridir. Çünkü iki parça birbirine çok yakın görünse bile aralarındaki açıklık birçok atom alacak kadar geniştir ve atomlar arası çekim kuvveti buralarda çok zayıftır. Ancak sinterleme işleminde, yüksek sıcaklıkta yeterli zaman verilirse atomlar yayınma ile hareket eder ve parçalar arasındaki noktalara genişlerler. Bu şekilde iki ayrı yüzey yerine iki parça arasında ortak bir yüzey meydana getirirler. Oluşan ortak yüzeyde atomların yakın komşuları olduğundan, önceki yüzeylerin her ikisinden de alçak enerjide olurlar (İnt.Kyn.1).

### **2.10.2 Yüzey Kaplamaları**

Birçok uygulamada aşınmaya dayanıklı, çok sert yüzeyi olan malzeme aranır. Böyle bir yüzey elde etmenin yolu metal yüzeylerini aşınmaya dayanıklı bir malzeme ile kaplamaktır. Metal üzerine bir tabak şeklinde bağlanmış boya veya seramik yüzey

kaplama bir kompozit malzeme oluşturur. Kaplamanın ana malzemeye yapışabilmesi için yüzey tabakası ile yüzey altı malzeme arasında bir süreklilik olmalıdır. Her iki malzeme birbirine benzer özellik taşıyorsa bağlar da, mikro yapı içerisindeki bağlar gibi olur. Galvaniz kaplama, bu şekilde çelik malzemeye yapışır. Kaplama ile alttaki malzeme birbirine benzemeyen yapıya sahiptirler, genel olarak astar tabaka kullanılır. Örnek olarak boyanın cam üzerine iyi yapışması için öncelikle cam üzerine silikon yayılır. Çünkü silikonun yapısal özellikleri hem cama hem de boya taşıyıcılarına benzemektedir. Yüzey kaplamada kullanılan bir diğer yöntem ise alaşım elementlerinin dışarıdan yüzey tabakasına yayılması ile yapılır (İnt.Kyn.1).

### **2.10.3 Lif Takviyesi**

Malzeme mekanik özelliklerini yükseltmek için malzeme yapısı içine çok sert ve ince fazların serpilmesi yöntemidir. Bu tür kompozitler ana fazdan beklenen bazı özelliklerin elde edilmesi ya da geliştirilmesi amacıyla üretilirler. Ana faz (matris), ikincil fazlarla (fiber)belirli doğrultularda takviyelendirilir. Böylece mukavemet, korozyon ve aşınma direnci, ısı izolasyonu, rijitlik ve ağırlık gibi özelliklerde daha verimli hale getirilir. Örnek olarak, saf alüminyum çekme mukavemeti 1000 [kg/cm<sup>2</sup>] kadarken, alüminyum alaşımınki 4000 [kg/cm<sup>2</sup>] 'den fazladır. Aynı şekilde ferritin çekme mukavemeti 2800 [kg/cm<sup>2</sup>] olduğu halde ferrit içine serpilmiş çok ince karbür tanelerinin oluşturduğu karışım 14000 [kg/cm<sup>2</sup>] lik bir çekme mukavemetine sahiptir.Bu arada cam takviyeli plastik, kord beziyle takviyeli otomobil lastiği ve demir

ile takviyeli betondan söz edilebilir. Bu tür kompozitlerde hem fiber hem de matris malzeme yeterince büyük olduklarından, her birinin etkisini ayrı ayrı hesaplayıp, bu hesapları kompozit malzeme üzerinde birleştirmek gerekmektedir (İnt.Kyn.1).

### **2.10.4 Karbon Fiber Üretimi**

Karbon fiberler, germe ve termoset işlemleriyle sentetik fiberlerden üretilmekte. Bu üretimin basitleştirilmiş bir planı yukarıdaki şemada görülmektedir. Polyacrylonitrile (PAN) ve zift karbon fiber üretimi için kullanılan en genel ham maddelerdir.PAN

önceden üretilmiş ve makaralara sarılmış durumdadır. Zift ise bir petrol türevi olup eritilip biri dizi işlemde geçirilerek fiber haline getirilir (İnt.Kyn.1).

### **1.asama**

Isıl işlem aşamasında fiberlere gerilme uygulanıp 400° C yi aşmayacak şekilde ısıtılır.Bu işlem karbon zincirlerinin birbirleriyle kesişmesini sağlayarak daha sonraki ısıl işlemlerde erimesini önler.

### **2.aşama**

Karbonizasyon aşamasında fiberler oksijensiz ortamda 800° C ye kadar ısıtılır.Bu işlem karbon olmayan empüriteleri ortadan kaldırır.

### **3.asama**

Grafitizasyon aşamasında fiberler %50 ila %100 uzayacak şekilde gerilmeye maruz bırakılır ve 1100° C ila 3000° C arasında ısıtılır. Gerilme,istenilen kristal oryantasyonu sağlayarak istenilen young modülü değerinin (300-600 Gpa) elde edilmesini sağlar. Bu son iki aşama yerine daha değişik yöntemlerde kullanılabilir.

## **2.11 Literatür Çalışmaları**

Polimer matrisli dokumalı kompozitler simetrik ve dengeli malzeme özelliklerine sahip olmaları, üretimde kullanım kolaylığı sağlaması ve darbe etkilerine göre üstün özellikler göstermesi açısından hava, uzay ve otomotiv endüstrisinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu kompozitlerin malzeme özelliklerinin belirlenmesi, dokumalı malzemedeki yapılacak yapıların performansının tasarım aşamasında belirlenmesi bakımından oldukça önemlidir. Genellikle çok tabakalı bir kompozitin makromekanik davranışının belirlenmesi için klasik laminant teorisi (KLT) kullanılır. Buna göre tek bir tabakanın düzlem içi özellikleri kalınlık boyunca integre edilerek çok tabakalı yapının genleşme  $A_{ij}$ , eğilme  $D_{ij}$  ve bağlantı rijitlikleri  $B_{ij}$  hesaplanır (Gibson 1994). Çok tabakalı bir kompozitin genleşme rijitlikleri bu yöntem ile doğru bir şekilde hesaplanmasına rağmen eğilme rijitliklerinde özellikle az sayıda tabakaya sahip

yapılarda kabul edilemez hatalar vermektedir. Karbon elyafı ve polimer matrisli dokumalı kompozitlerle yapılan deneylere göre (Yee 2005), KLT ile hesaplanmış eğilme rijitlikleri ve birim uzama değerleri çok büyük farklar göstermektedir. Eğilme gerilmesi ve birim uzamalarında %200, eğilme rijitliğinde %400 hatalar oluşmaktadır (Soykasap 2006). Bunun sebebi, KLT elyafların ve matrisin tabaka içerisinde üniform olarak dağıldığını kabul etmektedir ve makromekanik özelliklerin hesaplanmasında bu özellikleri kullanmaktadır. Ancak ince dokumalı bir kompozitte elyaflar ardışık olarak birbiri üzerinden geçerek dokumayı oluşturmaktadır. Dolayısı ile herhangi bir kesitte kalınlık boyunca malzeme homojen bir yapıya sahip değildir. Eğilme rijitliklerinin doğru bir şekilde hesaplanması özellikle uzay yapıları için önem kazanmaktadır. Bu yapılar genellikle uzaya gönderilirken küçük hacimlere katlanarak paketlenmekte ve uzayda daha büyük yüzey ve hacimlere açılımları sağlanmaktadır (Soykasap 2005-2007) .

Bugüne kadar dokumalı kompozitlerin düzlem içi malzeme özelliklerinin analitik olarak belirlenmesi için birçok mikromekanik homojenleştirme model geliştirilmiştir. Örneğin dokumalı kompozitlerin genel üç boyutlu, sıcaklığa bağlı mekanik özelliklerini belirlemek için birim hücre modeli önermektedir (Naik 1994) . Dokumalı kompozitlerin ortalama elastik modüllerine matris özellikleri elyaf eğrilme açısı ve elyaf büyüklüğünün etkisini incelemiştir (Johnson 2002) .

Dokumalı kompozitlerin düzlem içi özelliklerinin belirlenmesi için kiriş elemanlar kullanmıştır (Fujita 1992), (Dano 2000). Çeşitli şekillerde üretilen bir kompozit tabakayı oluşturan bileşenlerin elastik-plastik ve elastik-vizkoz-plastik özelliklerini kullanarak klasik tabaka teorisi ve mikromekanik modeli birleştirmiş ve tabakanın elastik olmayan ve hasar davranışı için genel bir bünye tanımı yapmıştır (Huang 2002) .

Dokuma kumaş kompozit malzemeler için 3 bileşenli çoklu sürekli ortam teorisi geliştirilmiştir (Keya 2003). Bu teori ile, kompozitlerin yapısal analizinde hata tahmini için gerilme/birim uzama alanları, sürekli kabul edilen malzemenin matris ve uzunlama ve enine doğrultudaki elyaf bileşenlerine ayrıştırılması ile hesaplanmaktadır. Sayısal çalışmalarda elyaf ve matris hacim oranına dayanan ortalama gerilmelere göre iyi bir uyum sağladığı belirtilmektedir.

Dokumalı kompozitler için üç boyutlu birim hücre modeli geliştirmiş ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde bu birim hücrelerin ardışık tekrarlanması ile makro seviyede malzeme modeli üretilmiştir (Bednarczyk 2003) .

Dokumalı kompozitlerde hasar ilerlemesi için bir mikromekanik model geliştirmişlerdir. Bunun için kompozitin mikrograflarından elde edilen temsili hacim elemanı kullanılmıştır. Uygulanan gerilme, birim uzama yada lokal hasara malzemenin cevabı transformasyon alan analizi ile belirlenmiştir. Bunun için sanki statik ve darbe yükleri altında reçinede çatlama, elyafların sürtünmeli kayma ve reçineden sıyrılması, elyafların kopması gibi hasar mekanizmaları göz önüne alınmıştır. Bu modelin sonlu eleman uygulamaları için kullanılabilirliği tartışılmıştır (Bahei-El-Din 2004).

Dokumalı kompozitlerin hasar özelliklerini belirlemek için iki boyutlu sonlu eleman modeli geliştirmiştir. Ancak bütün bu modellerde eğilme özellikleri incelenmemiştir (Page et al. 2004). Bu kompozitlerin eğilme özelliklerinin belirlenmesi için kırış modelleri geliştirmiştir. Kırışlar elyafların birbiri üzerinde geçtiği yerlerde birbirine rijit olarak bağlanmıştır. Bu yöntemle malzemenin eğilme özellikleri daha iyi tahmin edilebilmektedir. Ancak gerçekte tabaka içerisinde ve tabakalar arasında elyaflar matris ile her noktada tam bağlı olduğu için bu model matrisin fonksiyonunu tam olarak temsil etmemektedir. Dolayısı ile üç boyutlu bir modele ihtiyaç duyulmaktadır (Soykasap 2006).

Dokumalı kompozitlerin zamana ve sıcaklığa bağlı visko-elastik cevabı için mikromekanik modelleme çalışmaları yapmıştır. Önce dokumalı kompozitin zamana bağlı sürünme özellikleri tahmin edilerek deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış, analitik modellerdeki eksiklikler ve olası değişiklikler belirlenmiştir. Daha sonra bir sonlu eleman modeli ile visko-elastik cevaba sınır şartlarının etkisi ve matris özelliklerinin etkisi incelenmiş ve parametrik çalışmalar yapılmıştır. Bunun sonucunda özellikle yüksek elyaf hacim oranlarında matrise yakın gevşeme (relaxation) spektrumundaki kaymanın önemine ve matrisin zamana bağlı Poisson oranının hesaba katılması gerektiği vurgulanmıştır (Shrotriya 2005).

Periyodik mikroyapılı güçlendirilmiş kumaş kompozitlerin efektif rijitliği için bir model geliştirmiştir. Bunun için üç boyutlu temsili hacim elemanı alınarak bunun reçineli elyaf ve sadece reçineli kısımlara ayrıştırılması sağlanmış ve malzeme eigen birim uzamaları kullanılarak homojenleştirilmiştir (Barbero 2005).

Basit dokumalı kompozit yapıların sonlu eleman uygulamaları için birim uzama oranına dayanan üç boyutlu mikro mekanik modelini oluşturmuşlardır. Matris visco-plastik birim uzama oranına bağlı bir malzeme olarak modellenmiştir ve kompozit malzeme özellikleri için birim hücre modeli kullanılmıştır (Aminjikai 2006).

Dengeli tabakalaşmış dokumalı kompozitlerin düzlem içi, eğilme rijitlikleri ve termal genleşme katsayıları sunulmuştur (Akkerman 2006). Düzlem gerilme yaklaşımının sadece düzlem içi yükleme durumunda kullanılabileceğini, kesin çözümler için tabakaların üç boyutlu elastik özelliklerinin kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Düz dokumalı kompozitlerin elastik özelliklerinin tahmini için analitik model oluşturmuştur. Üç boyutlu bir birim hücre modeli geliştirilmiş ve klasik tabakalama teorisi kullanılarak efektif malzeme özellikleri belirlenmiştir (Donadon 2007).

Dokumalı kompozit malzemelerin termo-mekanik davranışı için dört hücreli mikromekanik modeli geliştirmiştir. Bu model ile malzeme bileşenlerinde hasarın kompozit malzeme özelliklerini nasıl etkileyeceği belirlenmektedir. Buna bağlı olarak bulunan gerilme ve birim uzamalar, hasar modu, hasar sırası, rijitlik azalması ve sonunda kopma tahmini için kullanılmaktadır (Lua 2007).

Bu çalışmada mikromekanik modelleme kullanarak kompozit malzemenin makro seviyede özelliklerinin belirlenmesi basit modellerden daha gelişmiş modellere geçilerek anlatılmaktadır.

### 3. MATERYAL METOD

#### 3.1 Mikromekanik Modelleme

Basit dokumalı kompozitte boyuna doğrultuda ve enine doğrultudaki reçine emdirilmiş elyaflar sırasıyla birbirinin altından ve üzerinden geçirilmek suretiyle dokunmaktadır. Şekil 1'den de görüleceği gibi kompozit tekrarlı bir yapıya sahip olup birim hücrenin uzunlamasına ve enine doğrultusunda çoğaltılması ile makroyapı elde edilebilir. (Soykasap 2007)

Makromekanik malzeme özellikleri için değişik homojenleştirme yaklaşımlar vardır. Bunlar arasında en basit formül elyafların ve matrisin hacim oranlarına dayanan karışım kuralıdır. Buna göre kompozitin boyuna ve enine doğrultudaki homojenleştirilmiş modülleri ile Poisson oranları şu şekilde bulunabilir:

$$E_1 = E_2 = 0.5V_f E_{1f} + E_m (1 - V_f) \quad (3.1)$$

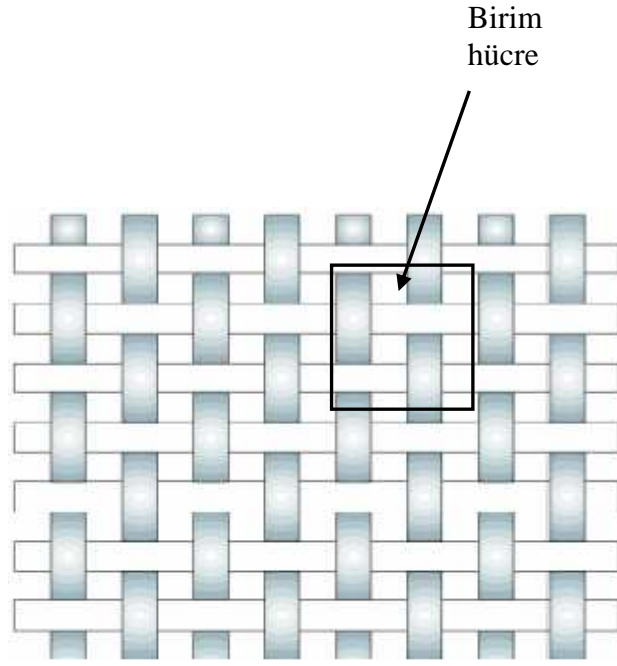
$$\nu_{12} = \nu_{21} = 0.5V_f \nu_{12f} + \nu_m (1 - V_f) \quad (3.2)$$

Burada  $E_{1f}$  elyafın uzunlama doğrultusundaki modülü,  $E_m$  matrisin modülü,  $V_f$  ise elyaf hacim oranı;  $\nu_{12f}$ ,  $\nu_m$  ise sırayla elyafın ve matrisin Poisson oranlarıdır. Formüllerin sağ tarafındaki 0.5 katsayısı uzunlama doğrultusunda elyaf miktarı toplam elyaf miktarının yarısı olduğu için yazılmıştır.

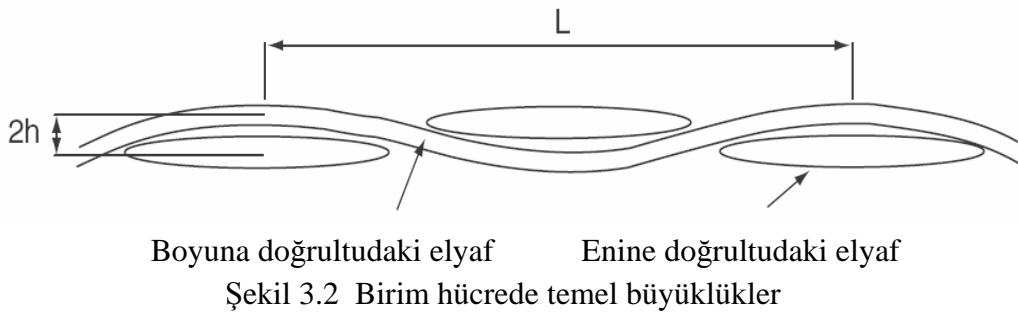
Karışım oranı yaklaşımı yaklaşık olarak doğru olmakla birlikte elyafların kesit içinde eğrilmesi ve kalınlık boyunca elyaf dağılımını göz önüne almamaktadır. Daha iyi sonuçlar için gelişmiş modellere ihtiyaç vardır. Reçine emdirilmiş elyafların homojenleştirilmiş malzeme özellikleri elyafın ve reçinenin özellikleri ve bunların hacimsel katkısı ile bulunabilir. Bunun için birim hücredeki elyafların mikrografi çekilerek elyafların şekli ve büyüklükleri belirlenerek Şekil 2'deki gibi sinüzoidal bir dalga formu elde edilmiştir. Burada  $L$  dalga boyu  $h$  ise boyuna doğrultudaki genliği göstermektedir. (Soykasap 2007)

Reçine emdirilmiş elyafın uzunlamasına elastik modülü karışım oranı formülünden şu şekilde bulunabilir:

$$E_1^y = V_y E_{1f} + E_m (1 - V_f) \quad (3.3)$$



Şekil 3.1 Düz dokumalı kompozitte birim hücre



Şekil 3.2 Birim hücrede temel büyüklükler



Karışım oranı formülü uzunlama doğrultudaki modülü iyi bir şekilde tahmin etmekle birlikte enine doğrultu için iyi sonuçlar vermemektedir. Bunun için enine doğrultudaki modül ve kayma modülü için Halpin–Tsai denklemleri kullanılmıştır. Buna göre

$$E_2^y = \frac{(1 + \xi \eta V_y) E_m}{1 - \eta V_f} \quad (3.4)$$

burada  $\eta = \frac{E_{2f} / E_m - 1}{E_{2f} / E_m - \xi}$  ve  $E_{2f}$  elyafın enine doğrultudaki elastik modülüdür.  $\xi$  elyaf takviyesinin bir ölçüsü olup elyaf geometrisine, paketleme şekline ve yükleme şekline bağlıdır. Dairesel kesitli elyaflar için  $\xi = 2$  alınması tavsiye edilmiştir. Kayma modülü için  $\xi = 1$  alınarak

$$G_{12}^y = G_m \frac{(G_{12f} + G_m) + V_f (G_{12f} - G_m)}{(G_{12f} + G_m) - V_f (G_{12f} - G_m)} \quad (3.5)$$

elde edilmiştir. Burada  $G_m$  matrisin kayma modülü,  $G_{12f}$  ise elyafın kayma modülüdür. Reçine emdirilmiş elyafın büyük Poisson oranları elyaf ve matrisin Poisson oranları ve elyaf hacim oranından hesaplanabilir:

$$\nu_{12}^y = V_y \nu_{21f} + \nu_m (1 - V_f) \quad (3.6)$$

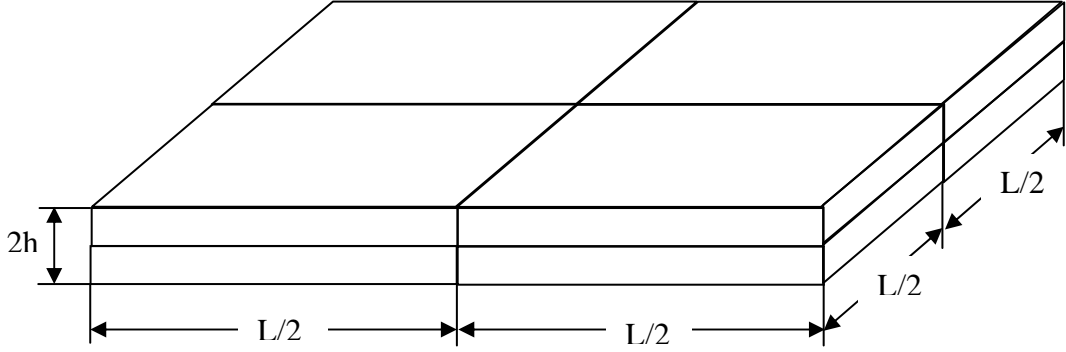
Küçük Poisson oranı ise elastik modül ters ilişkisi yardımı ile şu şekilde bulunmaktadırlar:

$$\nu_{21}^y = \nu_{12}^y \frac{E_2^y}{E_1^y} \quad (3.7)$$

Dokümalı kompozitin makromekanik özelliklerini daha iyi tahmini için birim hücre model Şekil 3'teki gibi 4×4 mozaik şeklinde alt hücrelere bulunabilir. Her bir alt hücrede reçine emdirilmiş elyafların homojen olarak dağıldığı kabul edilip ardışık olarak 0 ve 90 derece tek doğrultulu elyaflardan oluşan bir tabakalama sistemi benzetimi ve klasik tabakalama teorisi yardımıyla makromekanik özellikler hesaplanabilir (Soykasap 2007). Bunun için alt hücrelerdeki malzeme özellikleri

uzunlamasına doğrultudaki ve enine doğrultudaki elyaflar için yukarıdaki formüllerle bulunan malzeme sabitleri kullanılacaktır. Buna göre ilk yarım periyotta kalınlık boyunca sırayla 0, 90 ve son periyotta 90, 0 derece tabakalar vardır. Klasik tabakalama teorisi ile malzemenin düzlem içi  $A_{ij}$ ,  $D_{ij}$  eğilme ve düzlem içi-eğilme kuplaj  $B_{ij}$  özellikleri kalınlık boyunca malzeme özelliklerinin ilk ve son periyotlarda ayrı ayrı entegrasyonu ve bunların aritmetik ortalaması ile bulunabilir (3):

$$(A_{ij}, B_{ij}, D_{ij}) = \sum_{k=1}^N \int_{z_k}^{z_{k+1}} \bar{Q}_{ij}^k(1, z, z^2) \quad (3.8)$$



Şekil 3.3 Düz dokumalı kompozitte 4x4 mozaik modeli

$$A_{ij} = nh(Q_{ij}^0 + Q_{ij}^{90}) \quad (3.9)$$

$$B_{ij} = 0 \quad (3.10)$$

$$D_{ij} = \frac{n^3 h^3}{3} (Q_{ij}^0 + Q_{ij}^{90}) \quad (3.11)$$

Burada n tabaka sayısı,  $Q_{ij}^0$  ve  $Q_{ij}^{90}$  ise 0 ve 90 derece tabakaların rijitlikleridir.

$B_{ij} = 0$  genişleme-eğilme kuplajının olmadığını göstermektedir.

Mozaik modelde bulunacak sonuçlarda yine elyaf eğriliği göz önüne alınmadığı için bir miktar hata olacaktır. Daha iyi sonuçlar için bu etkileri de göz önüne alabilecek sonlu

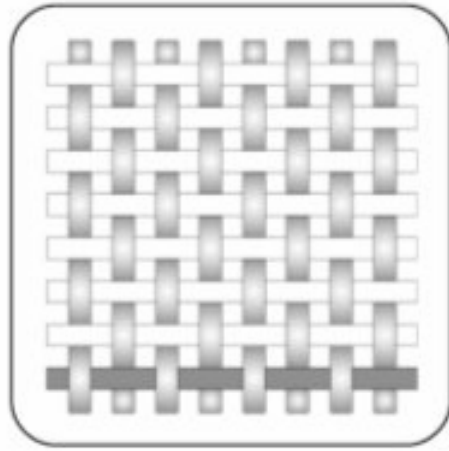
eleman modellemesine ihtiyaç vardır. Sonlu eleman modelinde uzunlamasına ve enine doğrultudaki reçine emdirilmiş elyaflar sinüzoidal bir eğriliğe sahip kiriş şeklinde modellenmektedir. Boyuna ve enine kirişler birbirinin üzerinden geçme noktalarında birbirine kinematik kuplaj bağlantısı ile bağlanarak birbirine göre bağıl hareketleri engellenmektedir. Bu aynı zamanda o noktalarda yük transferini de sağlayarak reçinenin bağlama görevini yapmaktadır (Soykasap 2007).

Oluşturulan modelin uçlarına uygulanacak uzama ve dönmelerle malzemenin makro davranışı elde edilerek rijitlik değerleri bulunmaktadır (3). Çoklu tabakalar için yine oluşturulan model kalınlık boyunca çoğaltılarak elde edilebilir (Soykasap 2007).

### **3.2 Sonlu Elemanlar Metodu (Abaqus)**

Yün ipliği ve matris dizilimiyle oluşturulan kompozit bir malzemenin , sonlu elemanlar metodu olan “Abaqus” adlı program kullanılarak modellenmesi uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamalar yapılırken farklı boyutlar ve şekillendirmeler üzerinde deney çalışmaları yapılmıştır. Farklı boyutlandırmalar üzerinde çekme ve eğilme deneyleri yapılarak malzeme üzerindeki gerilmelerin hesaplamaları yapılmıştır.

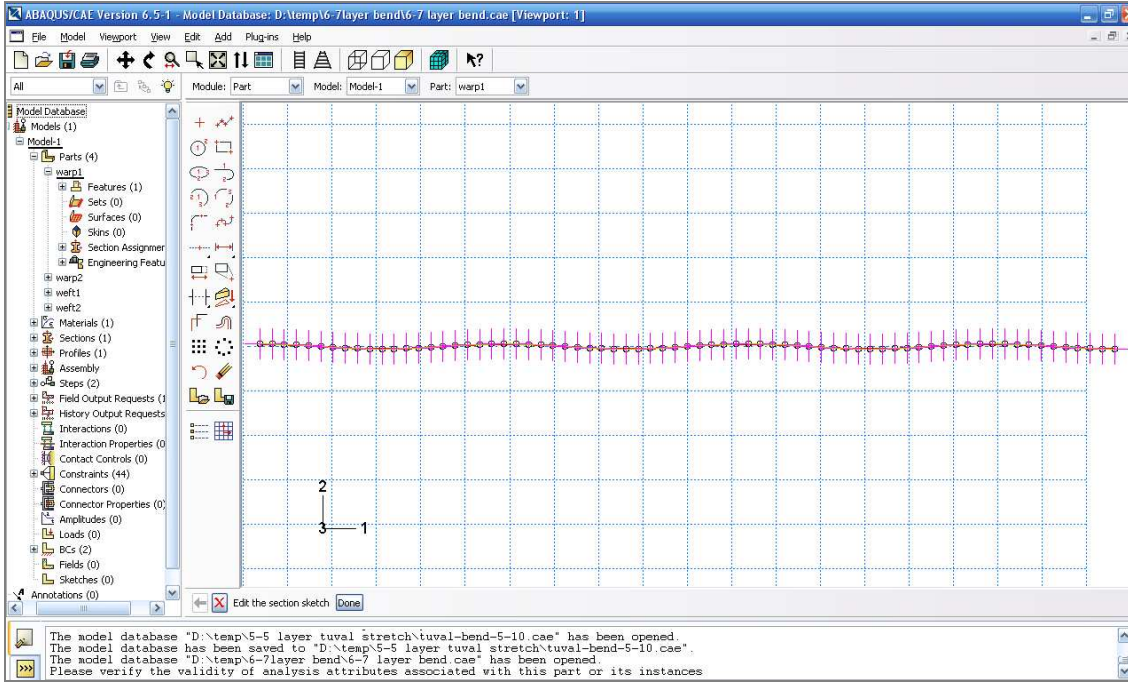
### **3.3 Abaqus Programında “Basit” Dokumalı Kompozit Bir Malzemenin Modellenmesi**



Şekil 3.4 Basit dokumalı kompozit model

Abaqus programı üzerinde gerçekleştirilen farklı hesaplamalar için öncelikle modeli tam olarak oluşturmak gerekmektedir. Bu model için öncelikle eğrisel kirişler oluşturmak gerekmektedir. Bunun için de sinüs eğrisi formülü olan;  $y = h \sin(\pi x / L)$  kullanılarak kirişlerin eğrisel yapısını oluşturan noktalar hesaplanır( Çizelge 3.1). Her kirişin enine kesiti yaklaşık olarak 1,375mm x 0,055mm ölçüsündeki mikrografik yapıdaki dikdörtgenin alanı olarak düşünülmektedir. Bu durumda  $h = 0,055\text{mm}$ ,  $L = 1,375\text{mm}$  olmaktadır. Buna göre basit dokumalı bir kompozitin kirişteki noktalarının ölçüleri aşağıdaki çizelgede verildiği gibi hesaplanmaktadır.

Modeller oluşturulurken global eksen takımına bağlı olarak şekiller oluşturulmaktadır. Buna göre şekil 3.5’de ekranın sol alt köşesindeki 1,2,3 değerleri sırasıyla x,y ve z şeklindeki eksenleri ifade etmektedir. Modeller üzerinde inceleme yaparken 1,2 veya 3 olarak ve x,y veya z olarak kullanılan bölgeler aynı eksen takımı ifade etmektedir.



Şekil 3.5 Kirişin eğrisel şekillendirildiği ekran

Yukarıda Şekil 3.5’ de görülen noktalar aşağıda verilen Çizelge 3.1’ de verilen koyu renkli değerlerin teker teker noktasal değer olarak verilmesiyle birlikte noktaların birleştirilerek çizgi haline dönüştürülmesiyle oluşturulmuştur. Ancak kirişin tam

boyunun şekillendirilmesi işlemi yapılan küçük parçanın kopyalanarak, döndürülerek, aynalanarak ve taşıma işlemleri yapılarak oluşturulmuştur.

Her bir kiriş için noktanın modelde alttan ve üstten geçen değerler şeklinde farklılık göstermesi ve enine-boyuna doğrultularının büyüklüklerinin değişmesine göre birkaç kez hesaplama ve değişik modellemelere tabii tutulmasını gerektirmektedir. Basit dokumalı kompozit modelde, bu şekilde sadece 4 farklı şekilde kiriş dizaynı gerekmektedir.

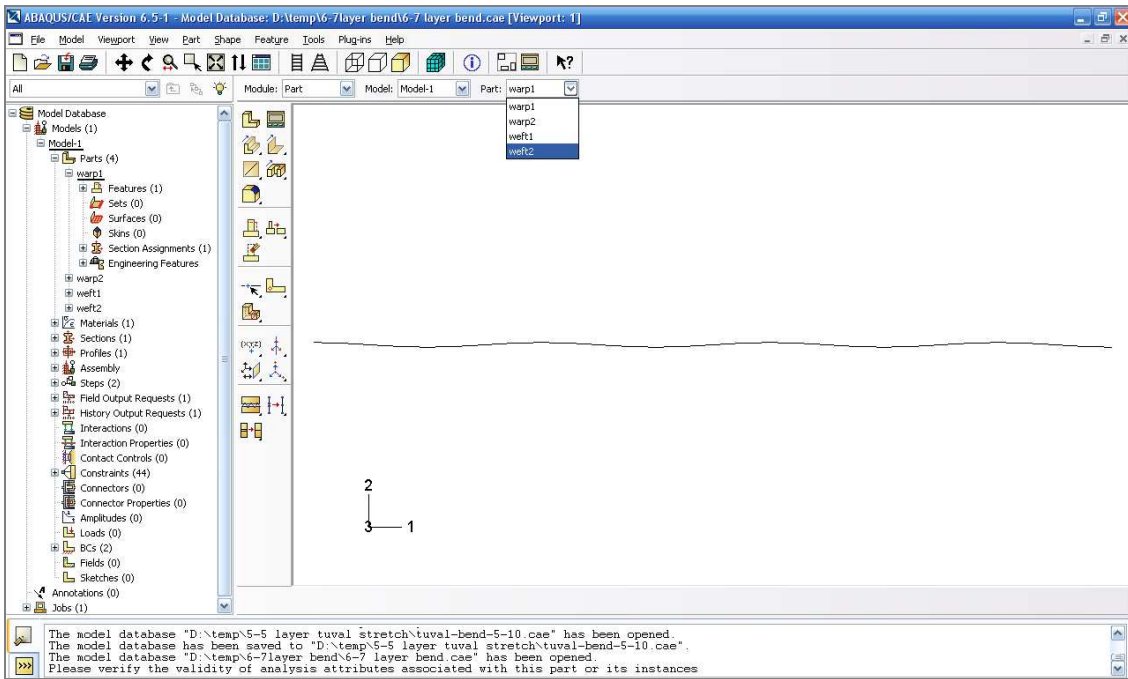
Çizelge 3.1 Basit Dokumalı Kompozitin Kirişlerinin Noktasal Değerleri

<b>h</b>	0,055	<b>L</b>	1,375
	<b>x</b>	<b>y</b>	
	0,000	0,000	
	0,138	0,008	
	0,275	0,016	
	0,413	0,022	
	<b>0,550</b>	<b>0,026</b>	
	<b>0,688</b>	<b>0,028</b>	
	<b>0,825</b>	<b>0,026</b>	
	<b>0,963</b>	<b>0,022</b>	
	<b>1,100</b>	<b>0,016</b>	
	<b>1,238</b>	<b>0,008</b>	
	<b>1,375</b>	<b>0,000</b>	

### 3.3.1 Part (Parça oluşturma)

Çizelge 5.1' de koyu renklerle gösterilen değerler kullanılarak kirişlerin noktasal değerleri Abaqus programının modul (modül) bölümünden “part manager”(parça yönetimi) bölümü seçilerek üç boyutlu, deforme olabilen , tel ve planar (düzlemsel) bir model oluşturma işlevleri tercih edilerek modelin noktasal değerlerini istenilen boyutlarda eğrisel bir çizgi halinde şekillendirilerek basit yapıda dizilişin ilk adımı

atılmış olunur. Basit dokumalı bir modelde boyuna doğrultuda ve enine doğrultudaki kirişler sırasıyla birbirinin altından ve üzerinden geçirilmek suretiyle dokunacak şekilde 2 adet warp (çözgü) , 2 adet weft (örgü) olarak şekillendirmede 4 adet part oluşturulmaktadır. Warp 1 , yatay doğrultudaki dokumanın üstten geçen kısmı ,warp2 yine yatay doğrultudaki dokumanın alttan geçen kısmını ifade eder. Weft1 , dikey doğrultudaki dokuma işleminin alttan geçen ,weft2 ise yine dikey doğrultudaki dokumanın üstten geçen kısmını içerir. Bu ilk bölümde kirişlerin sadece dokumadan önceki gerekli olan boyutlarda şekillendirmesi işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.6 Part bölümünde oluşturulmuş kiriş örneği

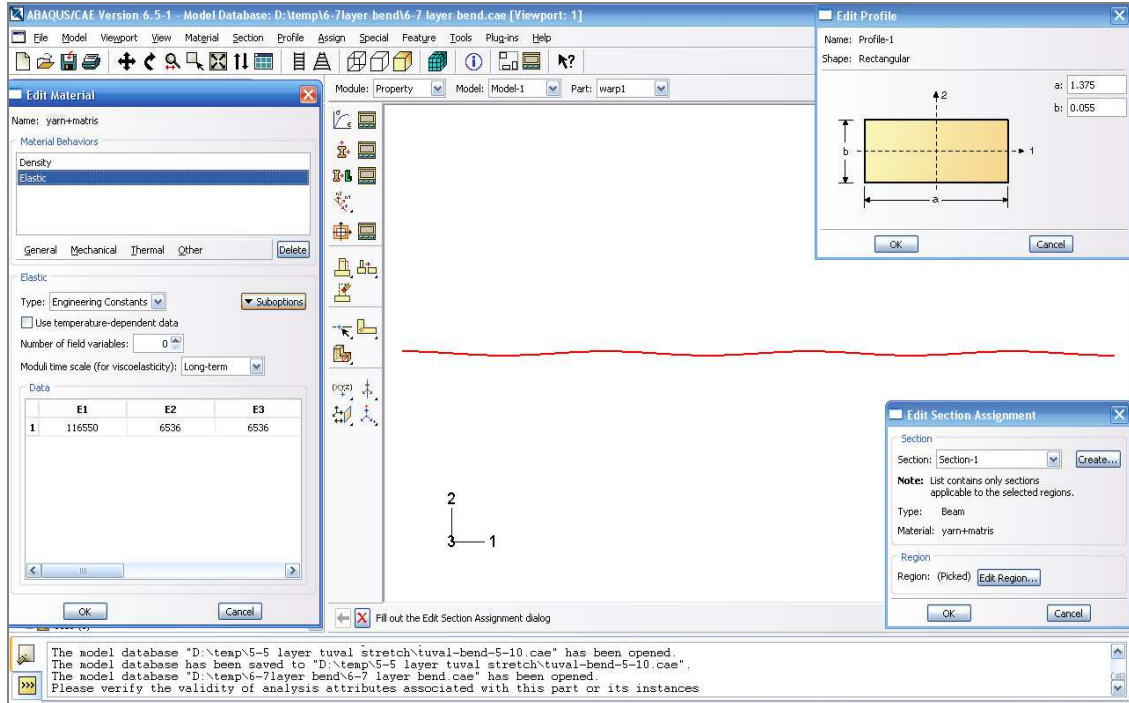
### 3.3.2 Property ( Parça Özelliklerinin Belirlendiği Bölüm)

Basit dokumalı bir modeli oluştururken tercih edilen malzeme fiber ve reçinedir. Sonlu elemanlar metodunda kiriş oluşturduktan sonra en önemli kısımlardan biri de malzeme özelliklerini belirlemektir.

Fiber ve reçinedir karışımı malzemenin özelliklerini Property bölümünden “material manager” (Materyal Yönetimi) seçilerek “general” (genel) bölümünden “density”

(yoğunluk) seçilerek  $1470 \text{ kg/m}^3$  değeri seçilmiş olunan malzeme için girilir. “Mechanical” (mekanik) bölümünden “elasticity” (elastisite) seçilerek “elastic” (elastik) kısımdan  $E1= 116,550 \text{ GPa}$  ,  $E2=E3= 6,536 \text{ GPa}$ ,  $\nu_{12}= \nu_{13}= 0.305$  ,  $\nu_{23}= 0.017$ ,  $G12=G13=G23= 2,513 \text{ GPa}$  olarak yazılır. Bu değerler reçine emdirilmiş elyaf özellikleridir ve 3.4 - 3.7 denklemlerinden elde edilmiştir.

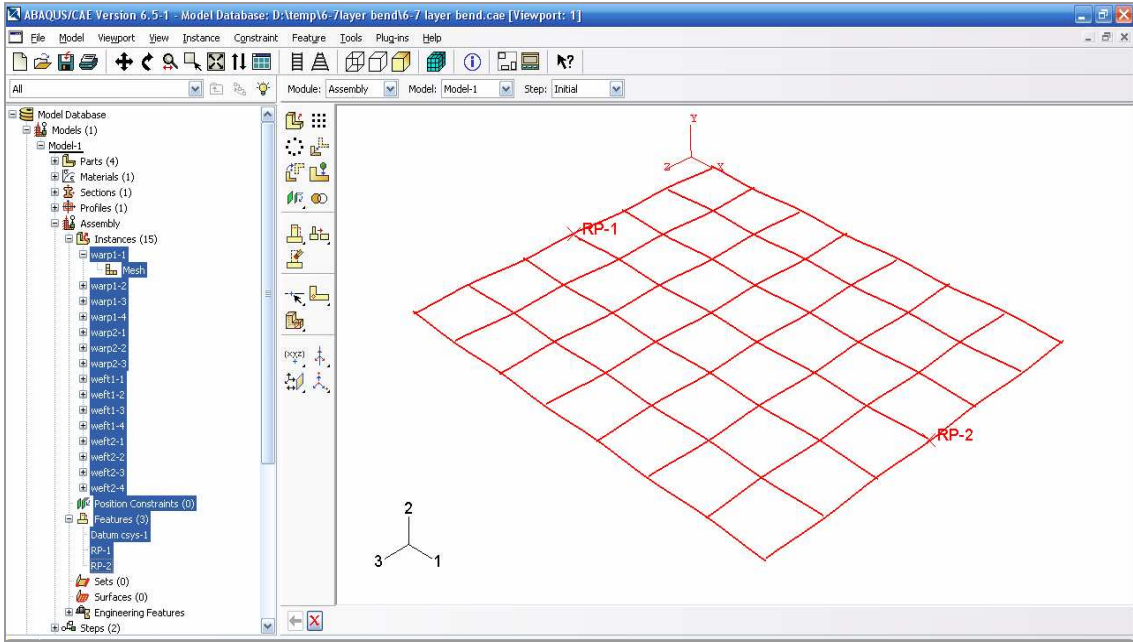
Daha sonra “profile manager” (profil yönetimi) kısmında dikdörtgen olarak belirlenen mikro yapıdaki kesit değerleri girilir. Bunlar  $1,375 \text{ mm} \times 0,055 \text{ mm}$  ölçüsündeki değerlerdir. Bu işlem de tamamlandıktan sonra “section manager” (kesit yönetimi) bölümü seçilerek burada daha önce belirlenen profil ve materyal değerleri onaylanır. Bunun üzerine “section assignment manager”(kesit atama yönetimi) kısmından şekil üzerinde yani kiriş seçilerek özelliklerin kirişe atanması işlemi gerçekleştirilmiş olur. “Assign beam orientation” (kiriş oryantasyon ataması) kısmından ise kirişin üzerinde x, y ve z yönündeki aksinel doğrultu ataması gerçekleştirilmiş olur. Bu işlem her bir warp1, warp2, weft1 ve weft2 kirişlerine tek tek uygulanarak materyal özelliklerinin belirlenmesi sağlanmış olunur.



Şekil 3.7 Property , materyalin özelliklerinin belirlendiği ekran

### 3.3.3 Assembly (Montaj)

Abaqus programının bu kısmında model şekillendirmesinde parçaların örgü şeklindeki birleştirilmesinin tamamen gerçekleştirilmiş olunacak. Bu bölümde lineer olarak 1.375mm 'lik mesafede warp olan parçaları, boyuna doğrultuda sırasıyla warp1,warp2 olarak dizilir. Aynı şekilde weft kirişlerini de yine aynı mesafe olan 1.375 mm mesafede lineer olarak sırasıyla weft1, weft2 şeklinde dizilir. Deneylerde 6-7 tabaka,6-11 tabaka, 6-15 tabaka, 6-19 tabaka, 10-7 tabaka,14-7 tabaka ve 18-7 tabaka olmak üzere yedi farklı boyuttaki basit dokumalı kompozit üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu tabaka boyutlandırmaları abaqus programının assembly kısmında gerçekleşmektedir. Kirişleri çoğaltma ,döndürme ve kopyalama konusunda abaqus programı büyük kolaylık sağlayarak farklı boyutlandırmalardaki veya farklı dokumalardaki farklı boyutlandırmalardaki ölçme deneylerinin yapılmasında hızlilik sağlamaktadır.



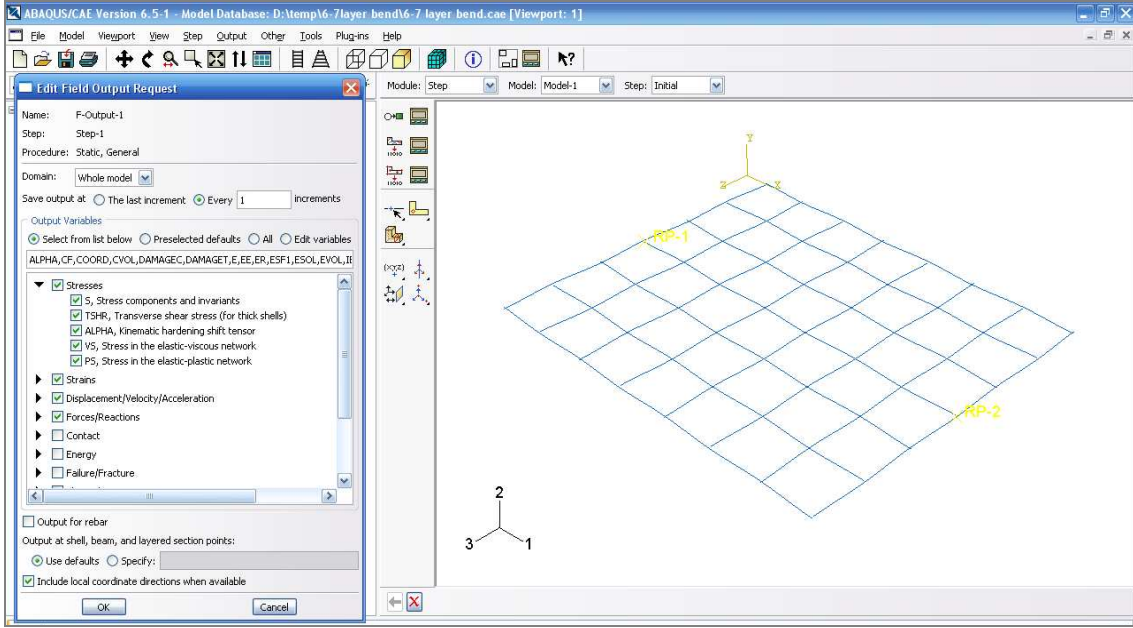
Şekil 3.8 Assembly, montaj ekranı

### 3.3.4 Step (Adım)

Adım olarak ifade edilen bu kısımda Abaqus programı , şekillendirilen kompozit modelin üzerinden hangi sonuçlara ulaşmak istenildiği konusunda yardım sunmaktadır.



Step bölümünün “field output” (alan çıktısı) kısmından hangi değerlerin ölçümlerinin ve hesaplamalarının yapılması istendiği konusunda bilgi verilmesini sağlamaktadır. Deneylede çekme ve eğilme deneyleri sonucu oluşan gerilme, gerilme, yer değiştirme ve reaksiyon kuvvetleri gibi değerler bulunmak istenir. Bu sonuçlara göre karşılaştırma yapma imkanı sağlayacak değerlere ulaşılmış olunur.



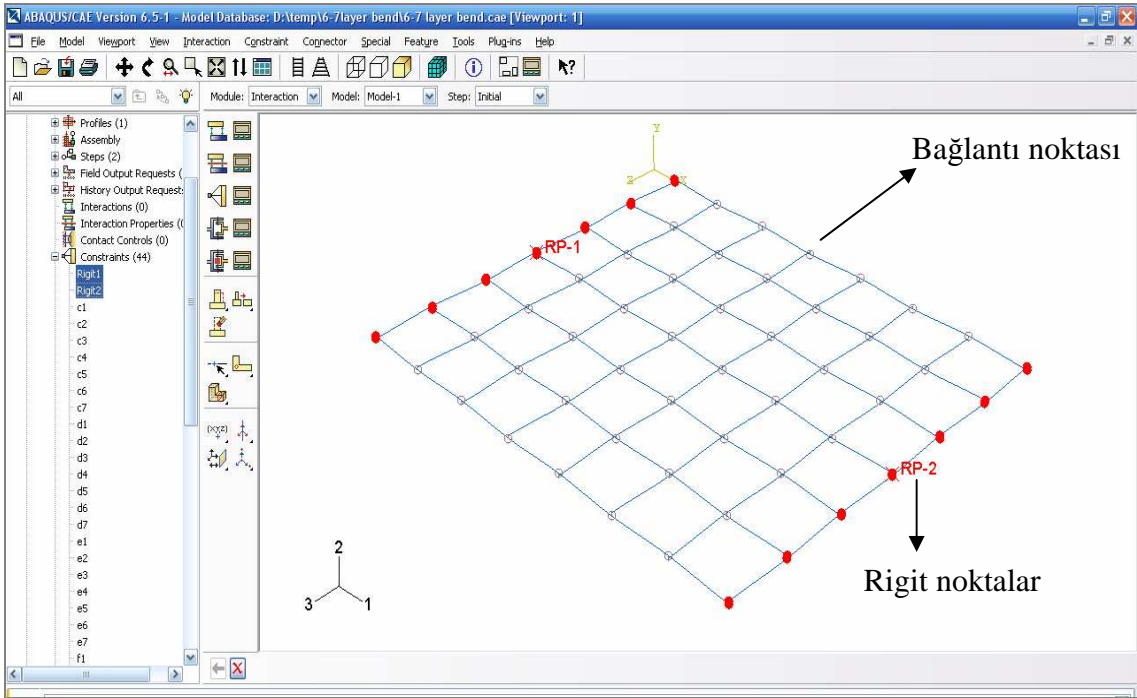
Şekil 3.9 Step; deney sonunda istenen değerlerin seçildiği ekran

### 3.3.5 İnteraction (Birleşim)

Abaqus programının bu kısmında montaj (assembly) kısmında belirli bir düzende dizilen kirişlerin normalde reçine ama sonlu elemanlar metodunda “coupling”(kavrama) olarak nitelendirilecek bir şekilde bir örgünün bir bütün halinde kaymadan birbirine noktalar arası tutunmayı sağlayacağı modelleme yapma imkanı sağlanmaktadır.

Bu bölümde modelde sabit olan ve hareketli olan kısımlar belirlenmektedir. Weft 1 olarak nitelendirilen kirişin diğer bütün warp kirişleriyle olan noktasal bağlantılarını rigid1 olarak kabul ederek , montajda en sona eklenen weft parçasını da yine bütün warp kirişlerinin son noktalarıyla kesişen kısımlarını rigid2 olarak kabul edilir. Ayrıca

bu weft1 ve en sondaki weft parçasının en ve boyuna göre orta noktalarından referans noktası belirleyerek bu rigid parçalara özellik atanabilecek bir nokta belirlenmiş olur. (Bu kısım alakalı değerlendirmeler yükleme esnasında verilecektir.) Geride kalan weft ve warp kırışleri de birbirlerinin üzerilerine bindikleri noktada coupling çifti olarak atanmakta ve bu şekilde modelin normal şartlarda birbirinden kopmayacak şekilde birbirine bağlanmasını sağlanmış olmaktadır. Bu kavrama şekillerinde hiçbir parçanın bağlanmasının unutulmaması en önemle dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir.



Şekil 3.10 İnteraction; herbir kırışın birbirine bağlandığı ekran

### 3.3.6 Load (Yük Bindirme)

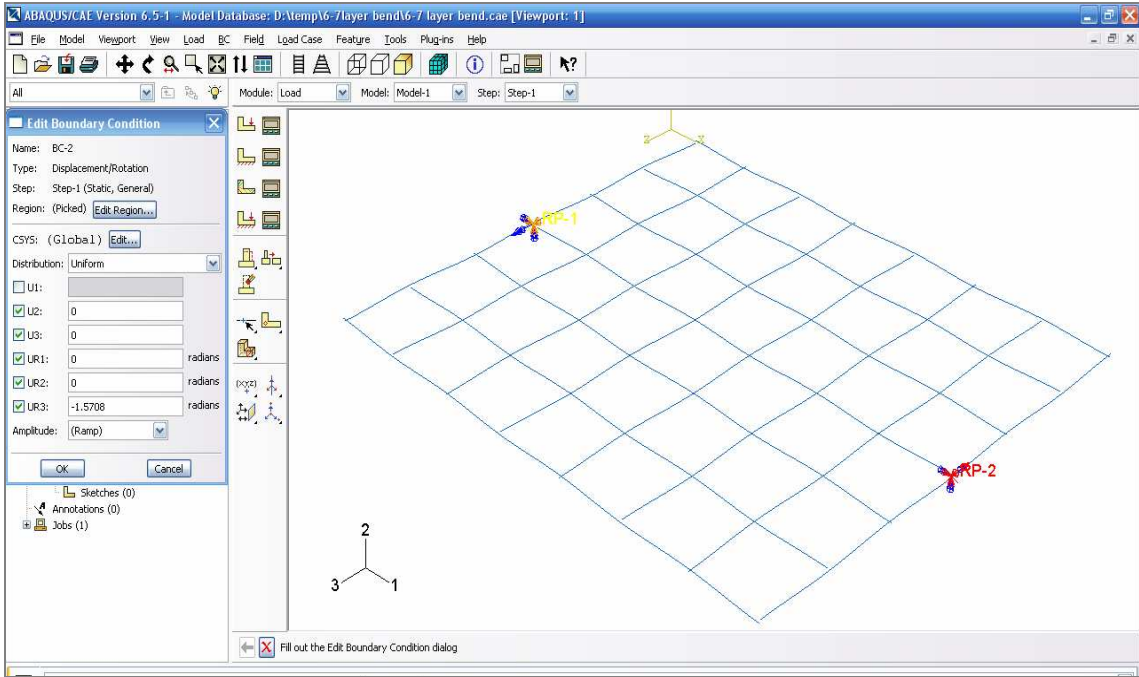
Programın bu bölümü, modele nasıl bir yükleme yapılması isteniyorsa onu uygulamaya sunma yani model üzerinde deney yapma imkanı sağlamaktadır. Deneylerde metod olarak iki tercih olmuştur. Bunlardan biri çekme deneyi diğeri ise eğilme deneyidir. Çekme deneyi için uygulama şu şekilde olmuştur:

Yüklemede önemli olan kısım sınır şartlarının belirlenmesi ve buna göre deneyin gerçekleşmesidir. Abaqus'te bu "boundary condition manager"(sınır şartları belirleme

yönetimi) kısmında “boundary condition1”(sınır şartları1) seçilerek ,birinci rigid kısım için  $U1=U2=U3=UR1=UR2=UR3=0$  olarak yani hiçbir yönde hareket esnekliğinin olmadığı belirlenir. İkinci olarak “boundary condition2” olarak rigid2 olarak belirlenen değerler bu kısma çekme deneyi için hareket özgürlüğü sağlar. Buna göre seçilen değer  $U1= 0.144375$  ,  $U2= U3= UR1= UR2= UR3= 0$  olarak belirlenir.Bu şekildeki değerlendirme sonucu anlaşılıyor ki rigid2 bölümünün  $U1$  yönünde yer değiştirmeye kabiliyeti olacak ve bu değer yaklaşık 0,144375 olduğunda 1 yani x yönünde çekme kuvveti uygulanmış olacaktır.

Eğilme deneyi için uygulama da şu şekilde olur:

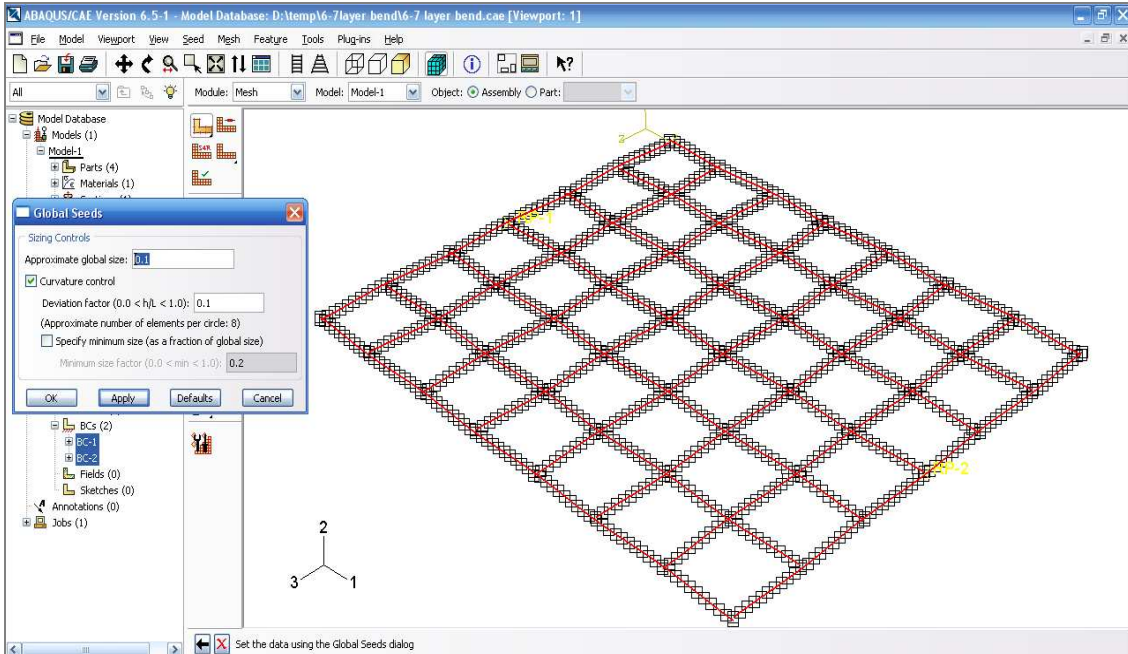
Eğilme deneyinde ise ; birinci rigid kısım için  $U1= U2= U3= UR1= UR2= 0$ ,  $UR3= 1.5708$  olarak yani y yönünde dönme hareketi esnekliği ve buna bağlı değeri verilmiştir. Rigid2 olarak belirlenen kısım ise eğilme deneyi için hareket özgürlüğü sağlayacak şekilde değerlendirmek üzere  $U1$  değeri seçilmeden,  $U2=U3=UR1=UR2=0$ ,  $UR3=-1.5708$  olarak belirlenir.



Şekil 3.11 Load; deney yüklemelerinin yapıldığı ekran

### 3.3.7 Mesh (Ağ)

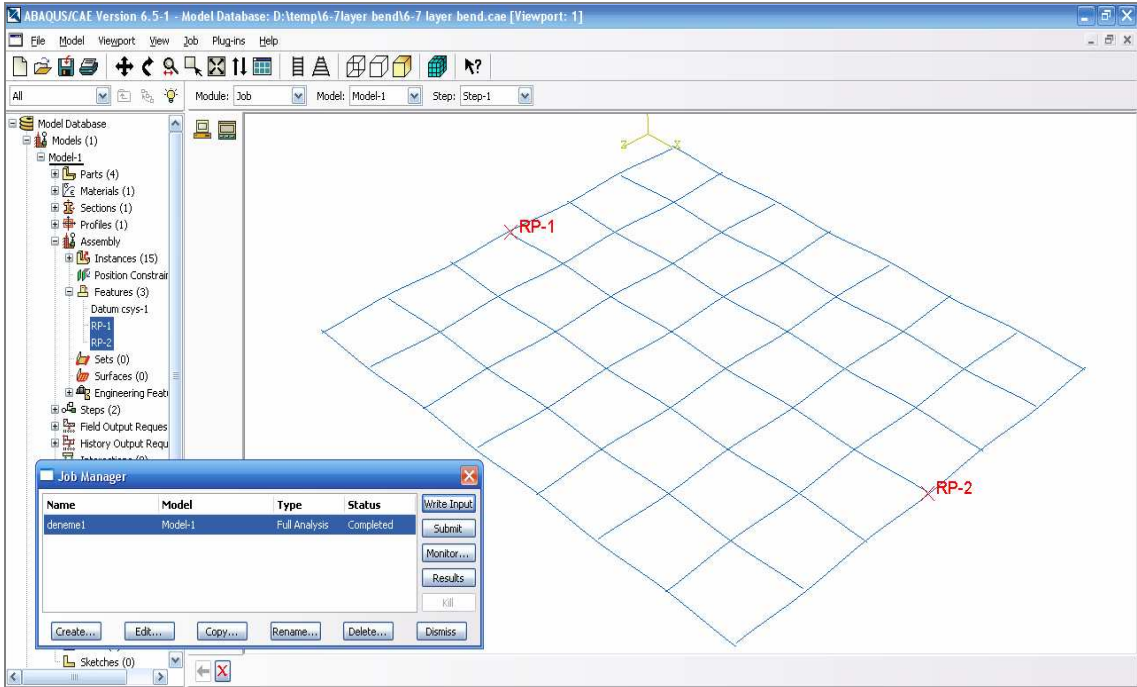
Abaqus programında bu bölüm artık tamamen şekillendirilen model üzerinde ağ şeklinde bir yapı oluşturarak parçaları belirli aralıklarda dizilmiş ağ örgüsü aracılığıyla her noktada hesap olanağı sağlayacak şekilde işlem yapılmasını sağlayacaktır. “Seed part instance” (parçayı katmanlara ayırma) bölümü burada tercih edilerek yapılan çalışma için yaklaşık olarak ağ aralığı 0,1mm olarak belirlenir. Bu işlemden sonra ekranda ağ şeklinde bir yapının kompozit modeli sardığı gözlemlenir. Bunun anlamı, birçok parçanın birçok noktadan deney esnasında hesaplanacağıdır. Bu işlemden sonra her bir parça üzerinde ağ şeklinin onaylanması için şekil tekrar seçilip “mesh part instance” (parça katmanlarında ağ oluştur) seçilerek model üzerinde her bir parçada inceleme yapılabilinecek ortam oluşturulur. Yapılan işlemde sorun olmadığı modelin yeşil renge dönüşmesinden anlaşılır. Bu kısımda önemli olan noktalardan biri ise assembly bölümündeki bütün instance’ların yani katmanların “independent”(bağımsız) olduğu bilgisini modele tanıtmak gerektiğidir. Bu işlem yapılmadığında mesh işlemi sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmemiş anlamına gelir. Mesh işlemi sonlu elemanlar metodunda işlem yaptırmadan önceki en son işlemdir.



Şekil 3.12 Mesh ; modelin ağ şeklinde parçalar haline ayrıldığı ekran

### 3.3.8 Job (İşlem Yapma)

Bu kısımda şimdiye kadar modellendirilen kompozit yapıda verilen görevler işleme yani hesaplamalara tabi tutulacaktır. Burada “creat job”(görev oluştur) kısmından yapılan modele özel isim kullanarak işlemsel görevlendirme verilebilir. Daha sonra yine aynı ekrandan “job manager” (işlem yönetimi) bölümünden özel olarak isimlendirilen görevi seçerek “submit” (sunu) seçeneği tıklanarak şimdiye kadar yapılan şekillendirme işleminde hata olup olmadığı incelendikten sonra sorun olmadığı takdirde “analysis input file processor completed successfully” (analiz girdi dosyası işlemcisi başarıyla tamamlandı) şeklindeki ekranda beliren yazı ile işlemin sağlıklı bir şekilde devam ettiği gözlemlenebilir. Ancak modelleme üzerinde yapılan hatalar varsa bunlar için de “error”(hata) yazıları belirlemekte ve hata yapılan noktalara yönlendirilecek şekilde bilgi sunulmaktadır. Hata verdiği takdirde bu yazılar yardımıyla hata yapılan noktalar üzerinde düzeltmeler yapıldıktan sonra tekrar işleme tabii tutulması gerekmektedir.

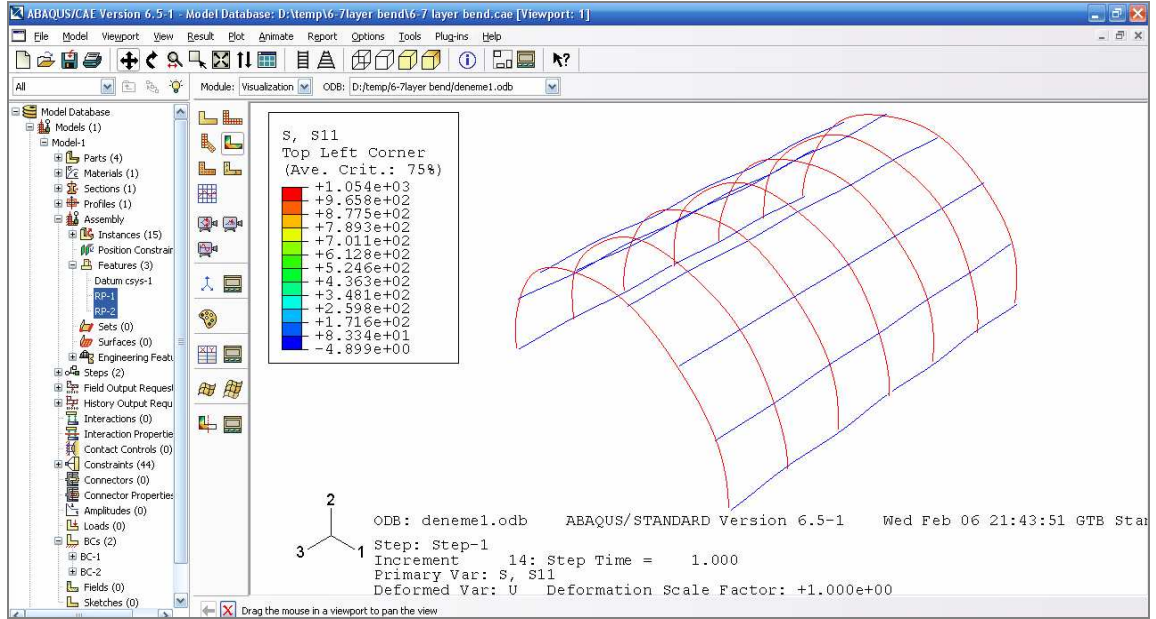


Şekil 3.13 Job; hesap yaptırma ekranı

Hata bulunmadığı takdirde abaqus modeli üzerinde işlem yapmaya devam etmektedir. Step kısmında istenilen bütün değerleri elde edebileceğiniz şekilde çözümler sunabilecek işlemler model ayrıntısına göre uzun veya kısa sürmektedir. Sonuç olarak hatasız ilerleyen çözümlerde job ekranında işlemin başarıyla tamamlandığı gözlemlendikten sonra “results” (sonuçlar) seçeneğiyle aranılan değerlere ulaşabilmektedir.

### 3.3.9 Visualization (Sonuçları Canlandırma)

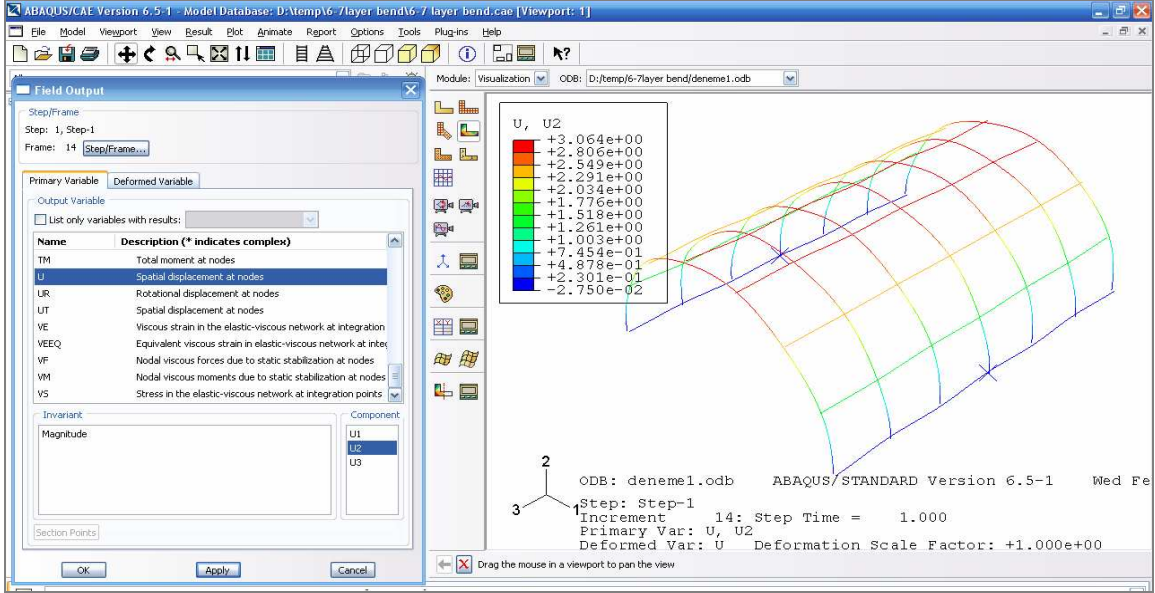
Bu bölüm job ile görevlendirmede bulunan modelin sonuçlarını gözlemlenebilen hatta görsel olarak şekillerin her adımdaki farklılığını inceleyebilen bölümü oluşturmaktadır. Burada en çok kullanılan “plot contour”(hatları çiz) bölümüdür. Şekil 3.14 ‘te görüldüğü gibi, artık modele bir kuvvet uygulanmış ve renkli şekil üzerinden ise uygulanan kuvvetin parçanın hangi bölümünde nasıl bir etki yaptığı incelemesine olanak sağlanmış olur.



Şekil 3.14 Visualization ; sonuçları izleme ekranı

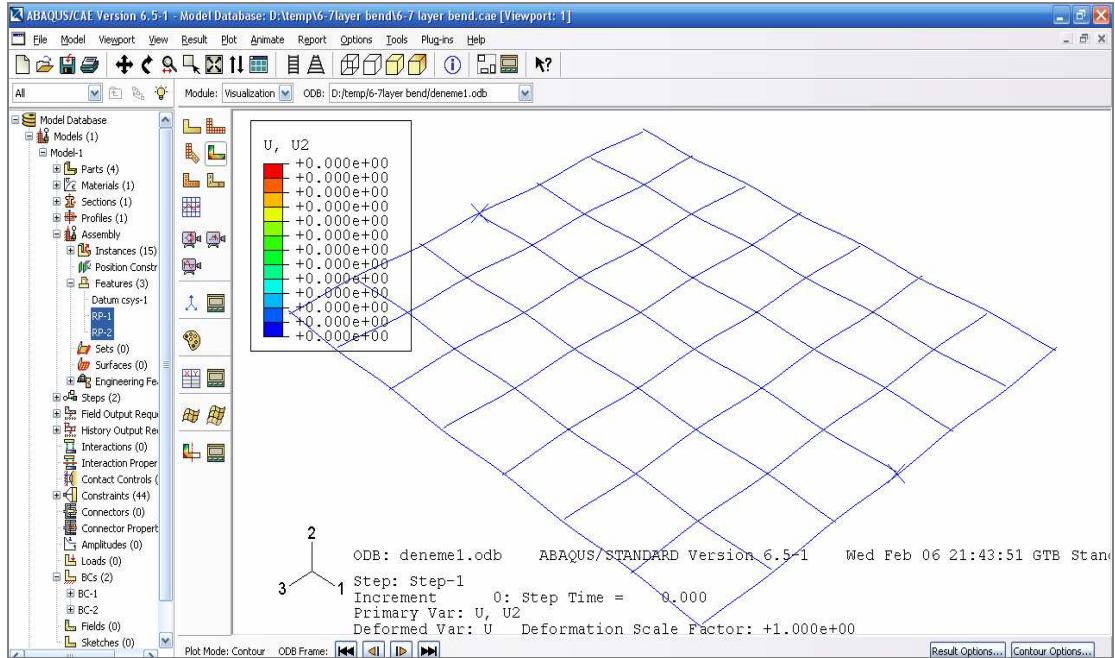
Bu bölümde menü üzerinden sonuçları inceleyebilme seçenekleri için “result”(sonuç) seçeneği içerisinde “field output” (çıkı) ‘u seçerek hangi sonuca ulaşmak isteniyorsa; örneğin gerilme değerlerinin 1 yani x yönünde modele etkisini incelemek istiyor ve bu

bilgiye ulaşmak isteniyorsa o seçeneği işaretleyerek görüntülü inceleme yapılabilir. (Şekil 3.14)



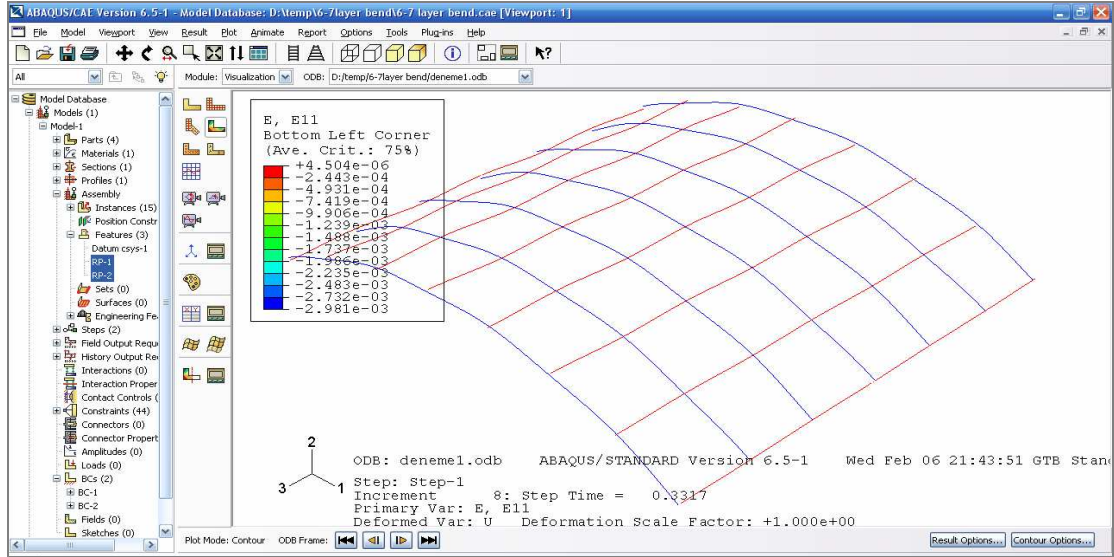
Şekil 3.15 Sonuç üzerinde istenilen verinin şekil üzerinde gösterim ekranı

Her adımda yani zaman aralığında inceleme gerçekleşmektedir. (Şekil 3.16)



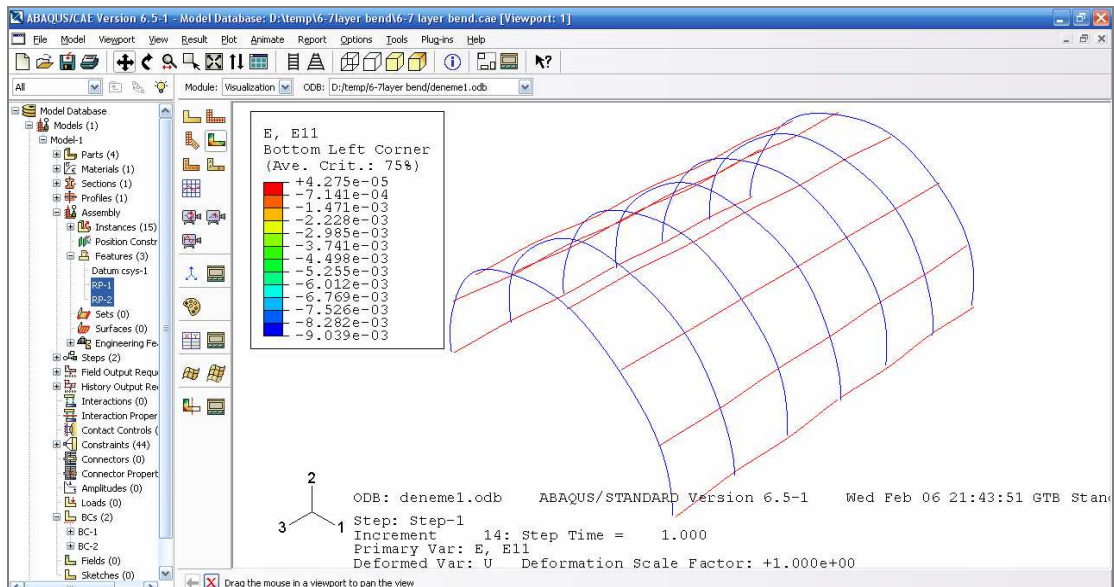
Şekil 3.16 Step time= 0 iken gerilme değerleri

Step time' ı arttırıldığında 8. adımdaki step time=0,3317 iken E değerlerinin şekil üzerinde nasıl bir etki oluşturduğu, Şekil 3.17'ye bakılarak incelenebilir.



Şekil 3.17 Step time = 0.3317 de birim uzama değerleri

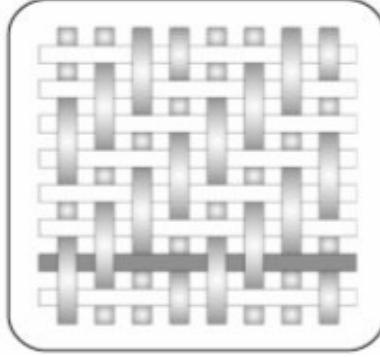
Step time ve adımı işlem sonuçlanana kadar belirlenen farklı aralıklarda, sonuç vermektedir. 6-7 tabakalı basit dokumalı bir kompozit yapıda eğilme deneyi sonucu elde edilen son değere 14. adımda ulaşabilmektedir.



Şekil 3.18 Basit dokumalı bir kompozitte eğilme deneyi sonucu elde edilen değerlerin son adımdaki sonuçları (6-7 birim hücre modeli)



### 3.4 Abaqus Programında “Tuval” Dokumalı Kompozit Bir Malzemenin Modellenmesi



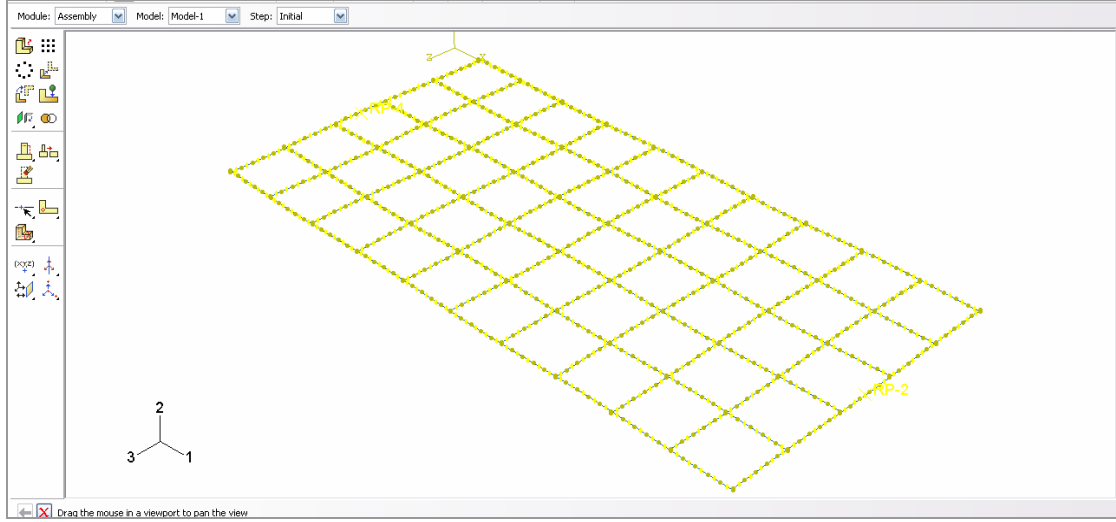
Şekil 3.19 Tuval dokumalı kompozit model

Tuval dokumalı kompozit bir model oluştururken yine basit dokumalı model oluştururken kullanılan sinüs eğrisi formülü olan;  $y = h \sin(\pi x / L)$  kullanılarak kirişlerin eğrisel yapısını oluşturan noktalar hesaplanır. Ancak bu sefer farklı olan modelin diziliş farklılığıdır. Bunun için de daha önce alınan L değeri 2 katına çıkarılarak hesaplama yapılır.

Çizelge 3.2 Tuval Dokumalı Kompozitin Kirişlerinin Noktasal Değerleri

<b>h</b>	0,055	<b>2L</b>	2,750
<b>x</b>		<b>y</b>	
	0,0000	0,00000	
	0,2750	0,00850	
	0,5500	0,01616	
	0,8250	0,02225	
	1,1000	0,02615	
	1,3750	0,02750	
	1,6500	0,02615	
	1,9250	0,02225	
	2,2000	0,01616	
	2,4750	0,00850	
	2,7500	0,00000	

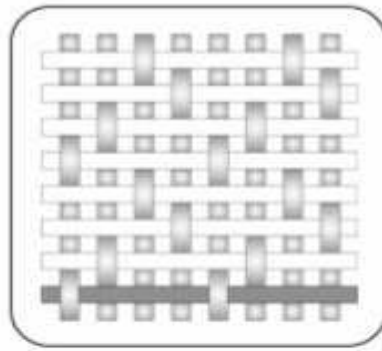
Her kirişin enine kesiti yine yaklaşık olarak 1,375mm x 0,055mm ölçüsündeki mikrografik yapıdaki dikdörtgenin alanı olarak düşünülmektedir. Bu durumda  $h=0,055\text{mm}$  ,  $L=1,375\text{mm}$  olmaktadır.



Şekil 3.20 Tuval dokuma kompozit model çizim ekranı ( 5-10 birim hücre modeli)

Sonlu elemanlar metodunda basit dokumalı kompozit bir modelde kullanılan malzeme ve malzeme değerleri aynı kalmakla birlikte tuval modeline özel sadece modelleme değişmiş olmaktadır. Bunun dışındaki tuval dokuma modellemesi yukarıda belirtilen dokuz ayrı adım takip edilerek oluşturulmaktadır.

### 3.5 Abaqus Programında “Saten” Dokumalı Kompozit Bir Malzemenin Modellemesi



Şekil 3.21 Saten dokumalı kompozit model

Saten dokumalı kompozit bir model oluştururken yine basit dokumalı model oluştururken kullanılan sinüs eğrisi formülü olan;  $y= h \sin(\pi x/ L)$  kullanılarak kirişlerin eğrisel yapısını oluşturan noktalar hesaplanır. Ancak bu sefer farklı olan modelin diziliş farklılığıdır. Bunun için de daha önce alınan L değeri 3 katına çıkarılarak hesaplama yapılır.

Ayrıca model dokuması 3 üstten 1 alttan olmak üzere iki farklı L değerine göre hesaplama yapmayı gerektirmektedir. 3 üstten alınan kısım için L değerini 3 kat yani  $1,375*3$  olarak hesaplanır. 1 alttan alınan kısım için ise L değeri 1,375 alınarak sinüs değerleri hesaplanır.

Çizelge 3.3 Saten dokumalı modelde dokumada 3 alttan olacak kısmın sinüs değerleri

<b>h</b>	0.055	<b>3L</b>	4.125
	<b>x</b>	<b>y</b>	
	0.0000	0.00000	
	0.4125	0.00850	
	0.8250	0.01616	
	1.2375	0.02225	
	1.6500	0.02615	
	2.0625	0.02750	
	2.4750	0.02615	
	2.8875	0.02225	
	3.3000	0.01616	
	3.7125	0.00850	
	4.1250	0.00000	

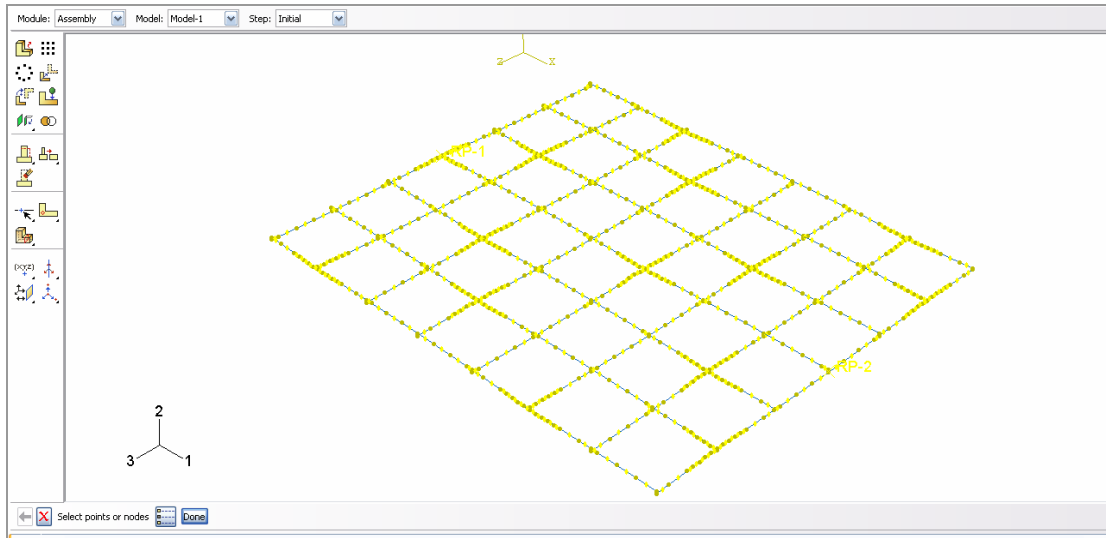
Saten dokumalı modelde çizelge 3.3'e göre 3L boyutlandırmasına göre modeli oluşturulduğunda 1,375 'lik aralıklarla 3L boyutundaki eğri arasına 3 adet kiriş sığmaktadır.

Çizelge 3.4'e göre ise L boyutundaki eğri arasında tam orta noktasından geçecek şekilde 1 adet kiriş dokunabilmiş olmaktadır.

Çizelge 3.4 Saten dokumalı kompozit modelin 1 alttan olan kısmının sinüs değerleri

<b>h</b>	0.055	<b>L</b>	1.375
	<b>x</b>	<b>y</b>	
	4.1250	0.00000	
	4.2625	-0.00850	
	4.4000	-0.01616	
	4.5375	-0.02225	
	4.6750	-0.02615	
	4.8125	-0.02750	
	4.9500	-0.02615	
	5.0875	-0.02225	
	5.2250	-0.01616	
	5.3625	-0.00850	
	5.5000	0.00000	

Saten dokumalı kompozit modelin sinüs değerlerini bu şekilde hesapladıktan sonra şekil 3.22'deki gibi çizimi yapılır. Diğer bütün değerler basit dokumalı modelde olduğu gibi verilerek hesaplamalar yaptırılır.



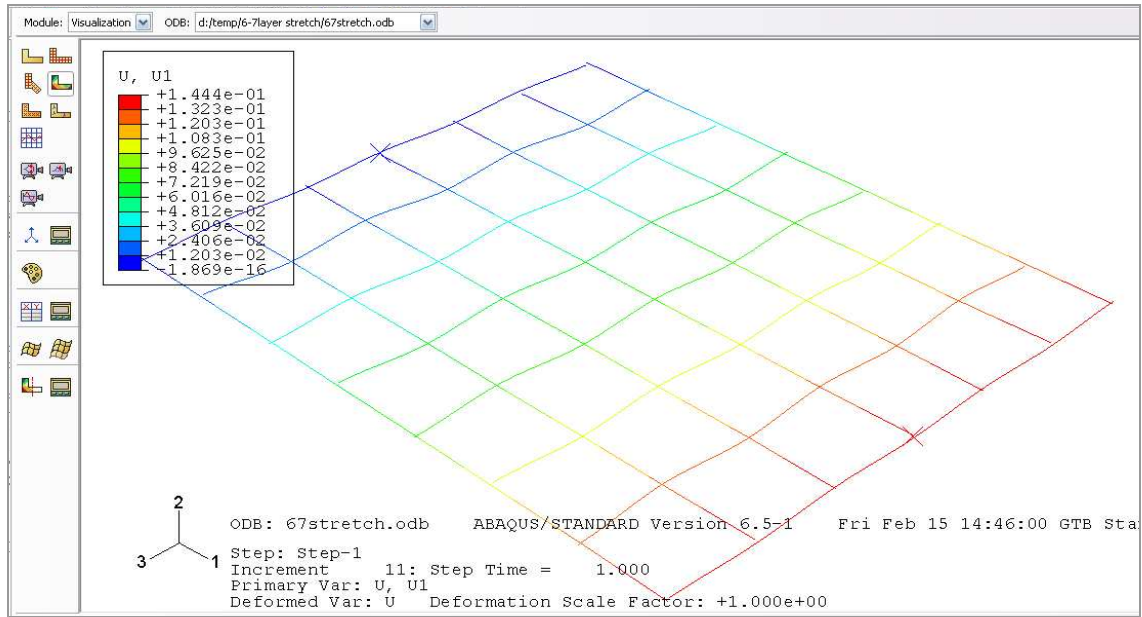
Şekil 3.22 Saten dokumalı kompozit malzemenin modelleme örneği

## 4. SONLU ELEMANLAR MODELİNDE SONUÇLARIN İNCELENMESİ

Bir önceki bölümde uygulama şekli olarak gösterilen sonlu elemanlar metodu olarak kullanılan Abaqus programında bu bölümde ihtiyaç olan sonuçlar aracılığıyla incelemelerde bulunulacaktır. Bunun için oluşturulan farklı modeller üzerindeki inceleme bu bölümde yapılacak , bütün modellemelerin karşılaştırma işlemi de sonuç bölümünde incelemeye alınacaktır. Basit dokumalı kompozit model ve farklı ölçülerdeki hesaplamaları ve tuval dokuma kompozit model ve yine farklı ölçülerdeki hesaplamalar olmak üzere aşağıda verilen başlıklar altında şu incelemelerde bulunulmuştur:

### 4.1 Farklı Büyüklüklere Sahip Basit Dokumalı Kompozit Modeller

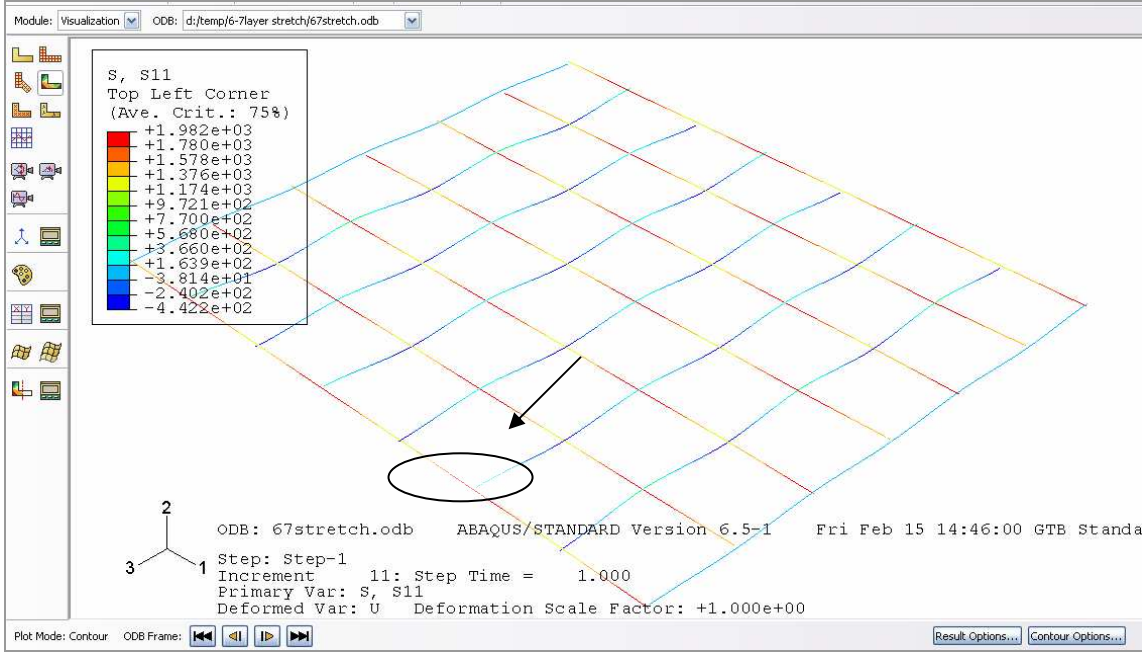
#### 4.1.1 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-7 birim hücre modeli)



Şekil 4.1 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi yerdeğiştirme değerleri sonuç ekranı (6-7 birim hücre modeli)

Şekil 4.1 de görüldüğü üzere 6-7 tabakalı basit dokumalı kompozit bir modelin çekme gerilmelerine maruz kaldığındaki yer değıştirme değerleri incelenebilir. Bu bağlamda

11 adımda işlemi tamamlanan çekme deneyi şekilde kırmızı renkle gösterilen uç bölgelerde daha çok enine doğrultudaki uç kirişlerde en fazla yer değiştirme miktarına sahip olduğunu gözlemlenmektedir. Bu deneyin görsel şekil sonucunda çekme birim uzamanın en çok kuvvetin uygulama noktasındaki bölgelerde etkili olduğu sonucunu elde edilmiştir.



Şekil 4.2 Basit dokumalı kompozit modelde gerilme değerleri (6-7 hücreli)

Gerilme ve gerinmeleri incelenecek olunursa, bu kısımda şekil 4.2’den de anlaşılacağı gibi boyuna doğrultudaki (warp) kirişlerin enine doğrultudaki kirişlerle alttan birleştiği noktalarda gerilmeler daha yoğun olmaktadır. Okla gösterilen bölgede gözlemediği gibi boyuna doğrultudaki kirişlerin alttan bağlama noktalarında gerilmeler daha fazladır.

Çizelge 4.1 Basit dokumalı model ölçüleri (6-7 hücreli)

Toplam Boyut		Elyaf boyutu		x	z
L(mm)	9,6250	Ly(mm)	1,3750	8,9375	0,6875
b(mm)	9,6250	Hy(mm)	0,0550		
t(mm)	0,1100	Ay(mm)	0,0756		
Alan(mm <sup>2</sup> )	1,0588				

Sonuç incelemelerinde dikkate alınması gereken konulardan biri de malzemenin özelliğidir. Çizelge 4.1’de modelin fiziksel değerleri verilmiştir. Toplam boyut başlığı altındaki değerler modele verilen 6-7 birim hücre değerini belirtmektedir. Yani  $L = 7 * 1,375$  ,  $b = 7 * 1,375$  ,  $t = 2 * 0,055$  olarak hesaplamaya alınır ve matematiksel olarak şeklin boyutları belirlenmiş olur. Alan olarak verilen bölümde de  $b * t$  yani en ve kalınlık çarpımını hesaplamış olunmaktadır. Tablodaki L, h ve t değerlerini elyaf ve toplam model olmak üzere iki şekilde değerlendirmeye alındı.

Çizelge 4.2 ‘de ise herbir adımdaki belirli sonuca ulaşmada gerekli olan zaman aralıklarında dx – x yönündeki uzama boyu , ex- x yönündeki birim uzama , e11max – reçineli elyaftaki maximum uzama , s11max- fiberlerdeki maximum gerilme, RF1- 1 yönündeki “reaction force“ (reaksiyon kuvveti) ve S11- fiberin birim alana etki eden reaksiyon kuvvetinin gerilmeye etkisini hesaplamak için abaqus programından alınan değerlerdir. Bu değerlere bakılarak her adımda hangi değerde ne kadar değişiklik olduğu incelenebilmektedir. Örneğin ; e11max değeri Abaqus’ten alınan değer olmasına rağmen ex değeri hesaplanılan değerdir. Bu değerler karşılaştırıldığında, 11. adımda ex değeri 1,50 iken e11max değeri 1,70 ‘tir. Bu demek oluyor ki sonlu elemanlar metodundaki değer yaklaşık 0,2 değerinde daha büyüktür. Tabloyu bütün adımlarda incelenecek olunursa yine aynısı gözlemlenmektedir.

S11 max değeri, hesaplanan değere göre karşılaştırıldığında ise ; örneğin yine 11. adımda s11max değeri yaklaşık  $1980 \text{ N/mm}^2$  iken s11 değeri  $813,70 \text{ N/mm}^2$  ‘dir. S11 değerlerini de incelenecek olduğunda, Abaqus programında hesaplanmış olunan değer bulunan değerlere göre çok daha büyük sonuçlar vermektedir. Bu demek oluyor ki Abaqus programıyla hesaplanan değerler, daha yüksek değerli sonuçlar vermektedir. Bu sonuçların yüksek çıkması, çözüm önerisi sunmada daha fazla kolaylık sağlamış olacaktır.

Çizelge 4.2’ de 6-7 birim hücre modeli için hesaplamalar değerlendirmeye alınmıştır. Buna göre 6-7 birim hücre modelinde sonuca 11 adımda ulaşıldığı gözlemlenmektedir. 11 adımda step time’ın bir olduğu görülür. Bu başarıyla tamamlanmış bir işlemin göstergesidir. Modelin lineer olduğu düşünülecek olursa çekme deneyi ile elde edilen

sonuçlar Abaqus programında herhangi bir erör vermeden elde edilmiştir denilebilmektedir.

Çizelge 4.2 Basit dokumalı model için çekme gerilmesi hesapları (6-7 birim hücre modeli)

	Step time	dx	ex	e11max	s11max	RF1	S11=RF1/A
	-	mm	(%)	(%)	(N/mm2)	(N)	(N/mm2)
	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00
<b>1</b>	1,00E-02	0,00	1,50E-02	2,37E-02	2,77E+01	4,83E+00	4,56
<b>2</b>	2,00E-02	0,00	3,00E-02	4,84E-02	5,64E+01	9,98E+00	9,43
<b>3</b>	3,50E-02	0,01	5,25E-02	8,61E-02	1,00E+02	1,83E+01	17,25
<b>4</b>	5,75E-02	0,01	8,63E-02	1,42E-01	1,66E+02	3,18E+01	30,06
<b>5</b>	9,13E-02	0,01	1,37E-01	2,23E-01	2,60E+02	5,46E+01	51,52
<b>6</b>	1,42E-01	0,02	2,13E-01	3,31E-01	3,85E+02	9,28E+01	87,61
<b>7</b>	2,18E-01	0,03	3,27E-01	4,72E-01	5,50E+02	1,56E+02	146,97
<b>8</b>	3,32E-01	0,05	4,98E-01	6,64E-01	7,74E+02	2,55E+02	241,23
<b>9</b>	5,03E-01	0,07	7,54E-01	9,38E-01	1,09E+03	4,09E+02	386,40
<b>10</b>	7,59E-01	0,11	1,14E+00	1,34E+00	1,56E+03	6,42E+02	606,47
<b>11</b>	1,00E+00	0,14	1,50E+00	1,70E+00	1,98E+03	8,62E+02	813,70

Abaqus programından elde edilen reaksiyon kuvveti değerleri ile, reaksiyon kuvveti arttıa gerilmeler(S11) de aynı oranda artar denilebilmektedir.

Çizelge 4.2 de verilen dx değerleri , abaqus programında U1 ile gösterilen 1 yönündeki uzaysal yerdeğiştirme düğümleri olarak ifade edilir. Hesaplama da U1 değerinin herbir adımdaki zaman lttiyle çarpılması sonucu dx değerleri oluşmaktadır. Ex değerleri de hesaplanmış olunan dx değerlerine göre  $dx / L * 100$  formliyle hesaplanır. Aşağıda verilen izelge 4.3’de ise dy yani abaqus programındaki U3 değerleri , ey yani y yönündeki birim uzama değerlerini bulmak için kullanılmaktadır.

Buna göre incelenecek olunursa, ey ve ex değerleri dx ve dy arttıa artan bir eğilim göstermektedir. Bu değerlerden ex , programdan elde edilen e11max değeriyle karşılaştırma yapma imkanı sağlamaktadır. Ancak ey değeri ise hesaplamalar sonucu modellemeler arası karşılaştırmalar yapabilmek için gerekli olan bir değerdir. Bu değerle modelin poisson oranını bularak dışarıdan gelen bir kuvvet yüzünden boyu 1



birim uzayan veya kısalan modelin çapının ne kadar küçüleceğini veya büyüyeceğini oransal olarak bulunmuş olunur.

Çizelge 4.3 Basit dokumalı modelde “y” yönündeki çekme gerilmesi(6-7 hücreli)

dy/2	ey
0,00E+00	0,00E+00
3,24E-04	3,37E-03
6,55E-04	6,81E-03
1,16E-03	1,20E-02
1,92E-03	2,00E-02
3,04E-03	3,15E-02
4,53E-03	4,71E-02
6,29E-03	6,54E-02
8,12E-03	8,43E-02
9,81E-03	1,02E-01
1,12E-02	1,17E-01
1,20E-02	1,24E-01

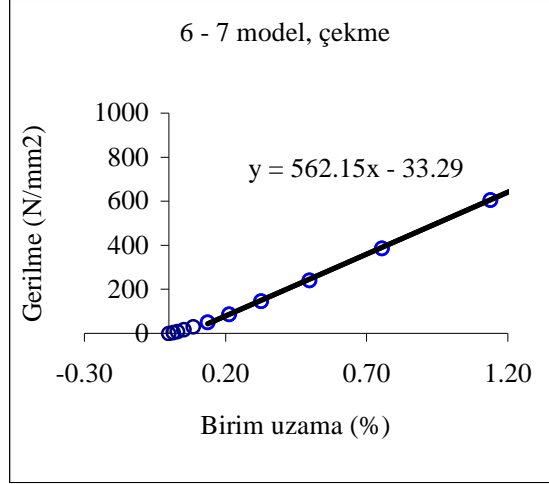
Aşağıda verilen çizelge 4.4'te ise Ef- fiberin gerilme değeri, Em- matrisin gerilme değeri , Af- fiberin alanı , Vf –fiberin alanının elyafın alanına oranı, E1elyaf- 1 doğrultusunda elyafın gerilme değeri , E2elyaf- 2 doğrultusunda reçineli elyafın gerilme değeri , poisson12- Reçineli elyafın poisson oranı ve Ec – oluşturulan modelin elastik modülünü vermektedir.

Çizelge 4.4 Basit Dokumalı Modelde Ec Değer Hesaplaması (6-7 birim hücre)

Ef	Em	Af	Vf	E1elyaf	E2elyaf	poisson12	G12	Ec	Ec(imlatçı)
(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	-	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )			(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
230000	3100	0,0375	0,50	116550	6536	0,305	2513	56215	56220,00

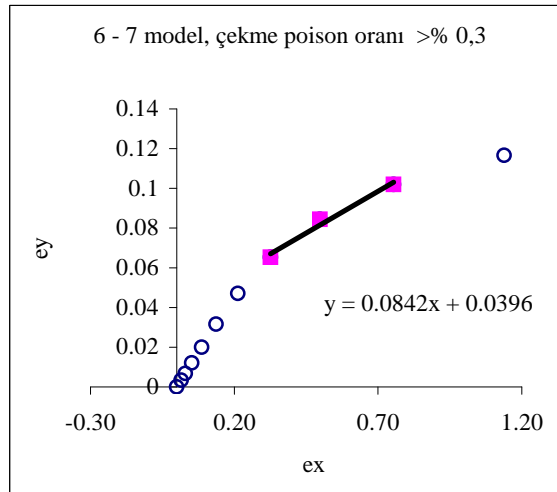
Ec değerinin hesaplamasını aşağıda verilen şekil 4.3'de görmek mümkündür. “x” eksenine %'de birim uzama değeri olan ex , “y” eksenine de hesaplama yaparak bulunan s11 değerleri yerleştirilerek oluşturulan grafik aracılığıyla Ec değerini veren

denklemini oluşturacak eğri bulunmuş olur. Grafikteki doğrusal eğim çizgisinin denklemi “ $y = 562,15x - 33,29$ ” dur. Buna göre  $E_c$  değeri de  $562,15 \cdot 100 = 56215 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanır. Üretici elastik modül değeri ( $E_c$  üretici) ise bulunan  $E_c$  değerinin yuvarlak hesabıdır.



Şekil 4.3 Basit dokumalı modelde  $E_c$  değeri hesap grafiği (6-7 birim hücre modeli)

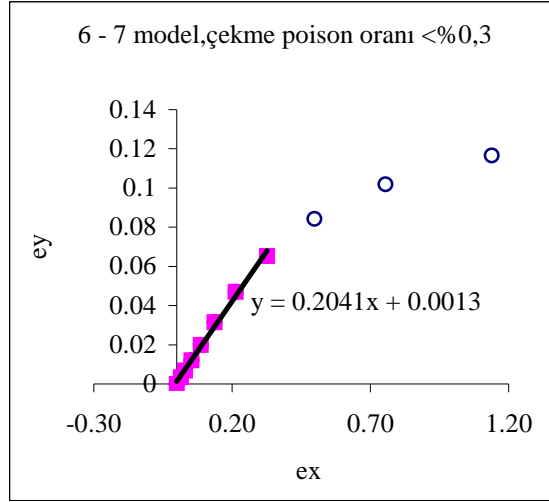
Aşağıda verilen şekil 4.4'te  $e_x$  ve  $e_y$  değerlerinin karşılaştırması olan grafik ise, yeni oluşturulan kompozit yapının poisson oranını vermiş olacaktır. Buna göre grafik üzerinde oluşturulan doğruların eğim denklemine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.4 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (6-7 hücreli)

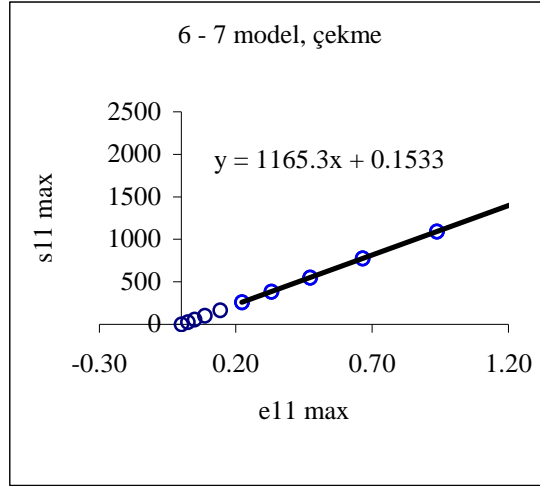
Ex – ey grafiğinde doğru elde edebilmek için şekli % 0,3 ‘ten büyük ve % 0,3’ten küçük kısmı olmak üzere iki şekilde incelemek durumunda kalmaktadır. Buna göre şekil 4.4’te % 0,3 ‘ten büyük olan kısım doğrusal olarak denkleme döküldüğünde poisson oranı 0,0842 olarak bulunmaktadır.

Şekil 4.5 ‘te % 0,3’ten küçük kısmı incelenecek olduğunda da doğru denklemi, poisson oranını 0,2041 olarak vermektedir. Bu şekilde incelendiğinde, % 0,3’ten küçük kısmın % 0,3 ‘ten büyük kısma göre daha büyük değer verdiği görülmektedir. Ancak , önemli olan farklı modellerdeki bu alanlara göre yapılmış poisson oranı karşılaştırmaları olduğu için , bu değerlerin buradaki değerleri arasındaki farklılık çok önemli değildir.



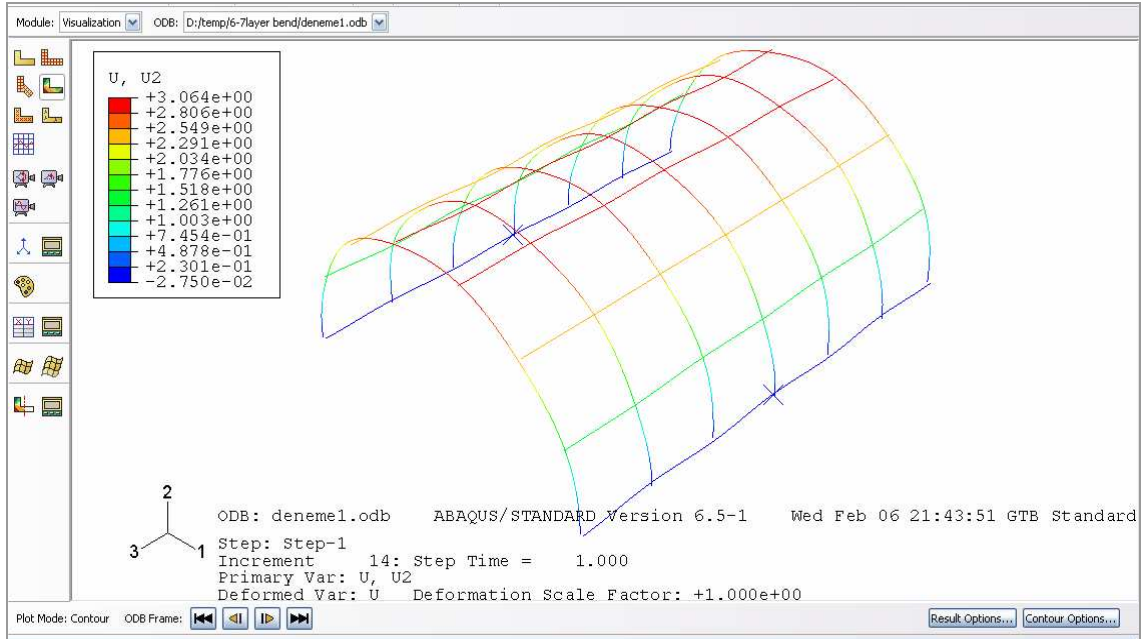
Şekil 4.5 Basit dokumalı modelde % 0,3 'den küçük kısım için poisson oranı (6-7 birim hücre

Basit dokumalı kompozit bir yapının çekme deneyine maruz bırakılması durumunda göz önüne alınan değerlerden biri de şekil 4.6 ‘da gösterildiği üzere  $e_{11max}$  ve  $s_{11max}$  değerleridir.  $E_{11max}$  değeri yani fiberlerin alacağı max birim uzama değerleri aşağıda oluşturulan grafiğe göre  $s_{11max}$  değerine yani fiberlerin alacağı max gerilme değerlerine göre doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Bu demek oluyor ki gerilme değeri arttığında modelde birim uzama da artmaktadır.



Şekil 4.6 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-7 birim hücre modeli)

#### 4.1.2 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-7 Birim Hücre Modeli)



Şekil 4.7 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi yerdeğiştirme değerleri sonuç ekranı (6-11 birim hücre modeli)

Eğilmeye maruz bırakılan kompozit bir yapının eğilme sonucu aldığı birim uzama şekli şekil 4.7'de verilmiştir. Şekilde görülen kırmızı renkler en uzun yer değiştirme değerini

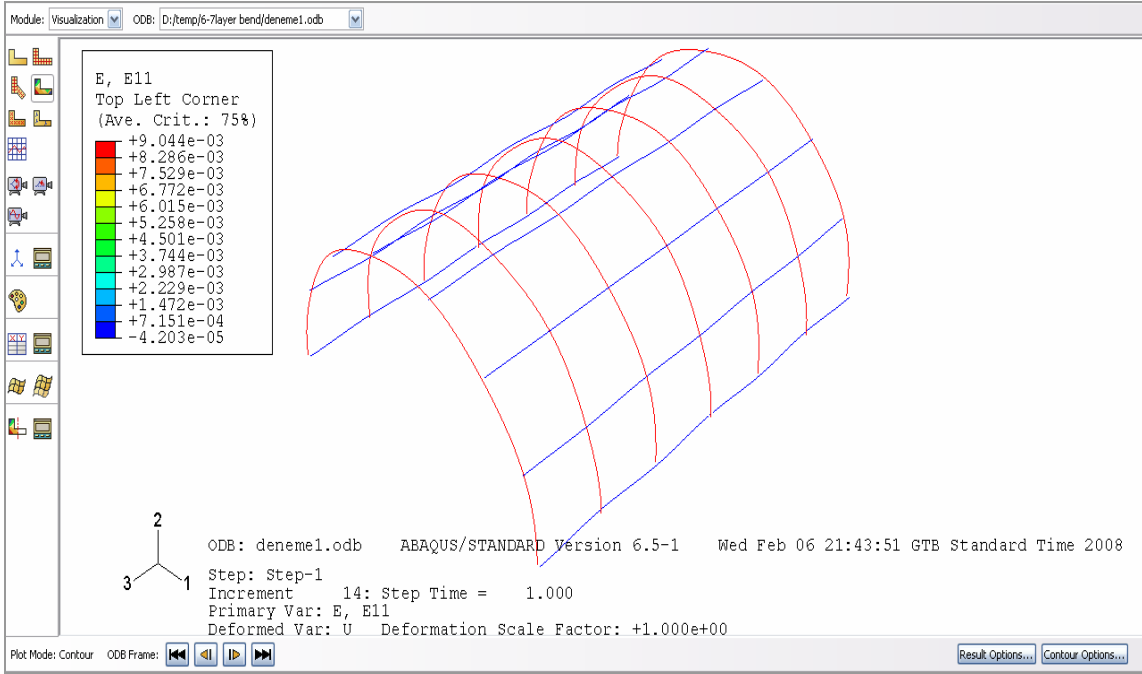
göstermektedir. Buna göre şekilde çekme deneyine göre farklılıklar olduğu açıkça belli olmaktadır. Çekme deneyinde boyuna uzantıların uç kısımlarında uzama miktarı daha fazla iken, eğilmede hem uç noktalarda hem de eğilme sonucu oluşan şeklin tepe noktalarında yer değiştirmenin fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.5 Basit dokümalı kompozit modelde eğilme deneyi sonuçları (6-7 birim hücre modeli)

	ty=0.055											
	t=0.11											
		üst	üst									
		köşe	köşe									
	Step time	Eğilme açısı	e11	S11	RM3	Mx=RM3 /b	Yarıçap	Eğrilik	x1	x2	h	e11=tc /2R
	-	(deg)	(%)	(N/mm2)	(Nmm)	(N)	mm	1/mm	mm	mm	mm	(%)
	0	0,00	0,00	0,00E+00	0	0,00	-	0,00	0,69	1,03E+01	0	0,00
1	1,00E-02	1,80	8,97E-03	1,05E+01	5,07E-02	0,01	306,41	0,00	0,69	1,03E+01	3,78E-02	0,02
2	2,00E-02	3,60	1,79E-02	2,09E+01	1,02E-01	0,01	153,19	0,01	0,69	1,03E+01	7,56E-02	0,04
3	3,50E-02	6,30	3,14E-02	3,66E+01	1,78E-01	0,02	87,54	0,01	0,69	1,03E+01	1,32E-01	0,06
4	5,75E-02	10,35	5,16E-02	6,01E+01	2,92E-01	0,03	53,28	0,02	0,69	1,03E+01	2,17E-01	0,10
5	9,13E-02	16,43	8,19E-02	9,54E+01	4,63E-01	0,05	33,58	0,03	0,69	1,03E+01	3,44E-01	0,16
6	1,42E-01	25,54	1,27E-01	1,48E+02	7,20E-01	0,07	21,62	0,05	0,69	1,02E+01	5,34E-01	0,25
7	2,18E-01	39,21	1,95E-01	2,28E+02	1,11E+00	0,11	14,09	0,07	0,69	1,01E+01	8,15E-01	0,39
8	3,32E-01	59,71	2,98E-01	3,47E+02	1,58E+00	0,16	9,26	0,11	0,69	9,90E+00	1,23E+00	0,59
9	4,46E-01	80,21	4,00E-01	4,67E+02	2,26E+00	0,23	6,90	0,14	0,69	9,56E+00	1,62E+00	0,80
10	5,60E-01	100,71	5,03E-01	5,86E+02	2,84E+00	0,29	5,50	0,18	0,69	9,14E+00	1,98E+00	1,00
11	6,73E-01	121,21	6,06E-01	7,06E+02	3,42E+00	0,35	4,57	0,22	0,69	8,64E+00	2,32E+00	1,20
12	7,87E-01	141,71	7,09E-01	8,26E+02	3,99E+00	0,41	3,91	0,26	0,69	8,07E+00	2,62E+00	1,41
13	9,01E-01	162,22	8,12E-01	9,46E+02	4,57E+00	0,47	3,42	0,29	0,69	7,43E+00	2,87E+00	1,61
14	1,00E+0	180,00	9,01E-01	1,05E+03	5,07E+00	0,53	3,08	0,32	0,69	6,84E+00	3,06E+00	1,79
			1,52			0,89		0,55				

Yukarıda görülen çizelge 4.5'te çekme deneyinde alınan değerler farklı değerleri incelenmesi gerektiği görülmektedir. Step time'ın 11 adımdan 14 adıma çıktığı görülür. Eğilme açısı, tablonun ikinci sütununda değerlendirmeye katılması gereken ikinci değerdir. Bu değer her yeni zaman aralığında daha da büyümektedir. Bu da kompozit malzemenin eğilmeye maruz bırakıldığını göstermektedir. Bu seferki e11 ve s11

değerleri üst köşe'ye göre alınacaktır.  $M_3 - 3$  yönünde reaksiyon momentini ifade etmektedir.  $M_x$ - x yönündeki momenti ifade eder. Eğrilik – modelin her bir adımdaki eğrilik derecesini ifade eder. “x1”, “x2” , “h” değerleri abaqus programından elde edilen değerlerdir. Bu değerleri sonuçlar inceleme kısmındaki koordinat bölümünden alınır. Değerler modelin kuvvete maruz kaldığı adımlardaki tepe noktası ve uç noktadaki koordinatlarını vermektedir. Bu değerlere göre çizelge 4.5’ te verilen yarıçap değerleri hesaplanır. Bu açılar cismin eğrilik derecesini belirten açılardır. Yani her adım için belirlenen açı değerlerine göre eğrilik derecesi belirlenmiş olur. Ayrıca açı değerlerine bağlı olarak de “%  $e_{11} = tc/2R$  “ değerleri yerleştirilerek bulunur.



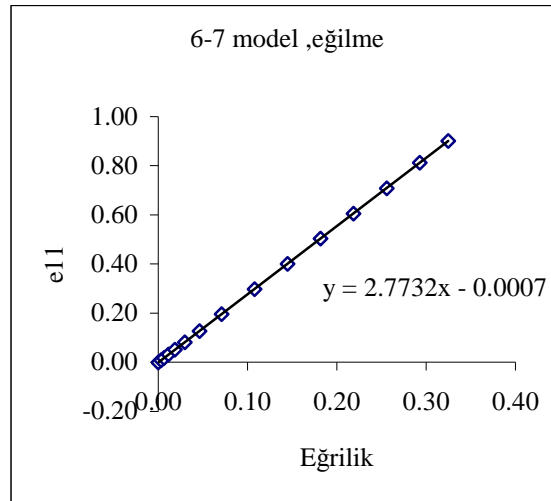
Şekil 4.8 Basit dokümalı kompozit modelde eğilme birim uzama sonuç ekranı (6-7 model birim hücre)

Yukarıdaki şekilde de görülebileceği gibi eğilme deneyinde birim uzama değerlerinin model üstünde kırmızı çizgilerle görülen şekilde boyuna doğrultuda daha etkilidir. Boyuna doğrultudaki gerilme değerleri de aralarında çok fazla fark olmayacak şekilde değerlere sahiplerdir. Enine doğrultuda çok düşük birim uzama değerleri gözlenmektedir.

Çizelge 4.6 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme gerilmeleri sonuçlarının değerlendirme çizelgesi (6-7 model birim hücre)

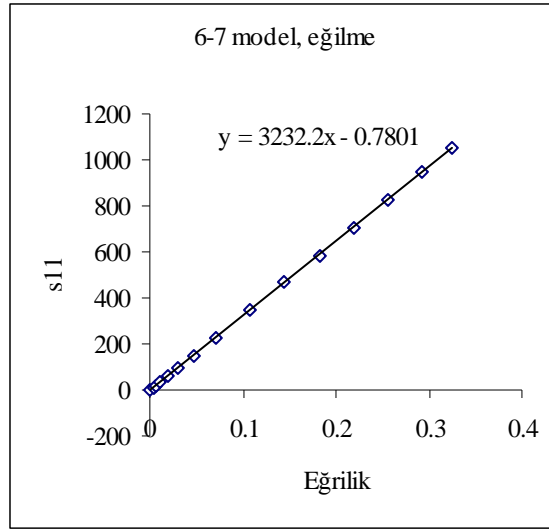
		Klasik kiriş/laminasyon teorisi					
FEM		Toplam kalınlık		x	M	Yarıçap	Eğrilik
e11		$e11=t/2R$	Eğrilik	$e11=t/2R$	(N)	mm	1/mm
(%)		(%)	1/mm	(%)	0,00	-	0,00
0,61		87,52	0,00	0,00	2,06	3,33	0,30
			0,15	0,83			
D11	$D11=ty^3/3(Q11^{*0}+Q11^{*90})$		0,28	1,54			
(Nmm)	(Nmm)						
1,62	6,86						

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi birim uzama değerleri ile eğrilik derecesi grafik olarak incelendiğinde aralarında doğrusal bir oran olduğu gözlemlenmektedir. Eğrilik arttıkça yani model eğilmeye maruz kaldıkça birim uzama değerleri de doğrusal oranda artış göstermektedir.



Şekil 4.9 Basit dokumalı modelde birim uzama - eğrilik derecesi grafiği (6-7 birim hücre modeli)

Yukarıda şekil 4.9’da birim uzama değerlerinin 0 ile 1 değerleri arasında olduğu görülür. Aşağıda şekil 4.10’da ise gerilmenin 0 ile 1200 N/mm<sup>2</sup> arasında değiştiği gözlemlenir. Buna göre modeldeki eğrilikle karşılaştırması yapılan değerler doğrusal oranda aynı şekilde artış gösterse de ,iki şekilde de doğrusal artışın denklemi arasında değer farklılıkları gözlenmektedir. Bu değerler yukarıda belirtildiği gibi birim uzama ve gerilme değerlerinin birbirinden çok farklı olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

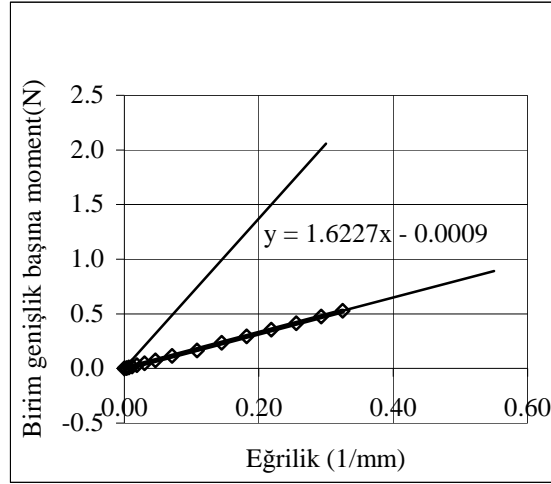


Şekil 4.10 Basit dokumalı kompozit modelde gerilme ve eğrilik deredesi grafiği (6-7 birim hücre modeli)

Aşağıda şekil 4.11’deki grafikte ise birim genişlik başına düşen moment ve eğrilik karşılaştırması yapılmaktadır. Burada ayrıca ele alınan değerler ise çizelge 4.6’da klasik yöntemle hesaplanan değerlerle , abaqus’te hesaplanan değerler arasındaki grafiksel değişikliklerdir. Buna göre şekil 4.11 incelenecek olursa, üstte kalan doğru klasik yöntemle hesaplanan, altta kalan ise abaqus ile hesaplanan değerleri vermektedir.

Klasik yöntemde farklı eğrilik değerlerinde abaquste hesaplanan değerlere göre çok yüksek ve farklı değerler vermektedir. Örneğin; eğrilik 0,2 iken klasik yöntemle hesaplamada moment 1,3 N iken , Abaqus programında hesaplanan moment 0,3 N değerini göstermektedir. Buna göre Abaqus daha düşük seviyede rijitlik eğrisi verirken klasik laminant teorisi çok yüksek rijitlikte değerler vermekte olduğu anlaşılır.





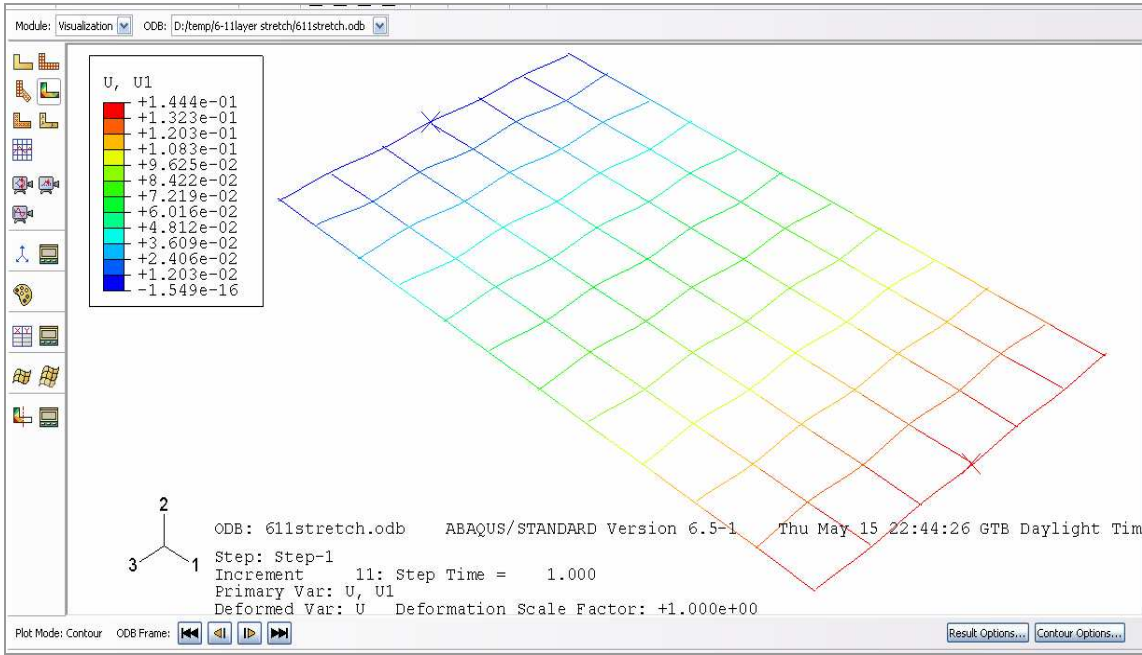
Şekil 4.11 Basit dokuma kompozit modelde moment -eğrilik grafiği (6-7 model birim hücre)

Basit dokumalı 6-7 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.11’de görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerleri karşılaştırıldığında, birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,6 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,4 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6227 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir.

#### 4.1.3 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-11 Birim Hücre Modeli)

6-11 birim hücreli basit dokumalı kompozit modelde şekil 4.12’de görüldüğü gibi yer değiştirmenin en fazla olduğu bölgenin uç kısımlar olduğu gözlenmektedir. Kırmızı rengin yoğun olduğu bölgeler değerin en yüksek olduğu bölgelerdir. 6-7 birim hücreli modelin çekme deneyi sonucunda enine doğrultuda 2 kiriş üzerinde en yüksek değerde yer değiştirmeye maruz kaldığı görülür. Boyuna doğrultuda ise bütün kirişlerin en uç noktalarında çok yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenir. Çekme deneyinin sonucu olarak gözlemlenen bu değerler şekil 4.12’de U1 değeri olarak verilmiştir. U1 , bir yani x doğrultusundaki yer değiştirmenin etkisini ifade eder. Şekle bakıldığında 11. adımda step time=1 iken U1 değeri 0,1444 (şekilde solda verilen U1 değerlerinden kırmızı ile gösterilen değer) olarak en yüksek değeri,  $-1,549 e^{-16}$  ise (mavi ile verilen

değer) en düşük değeri vermektedir. Şekilde gözlemlenen U1 değeri bütün modellemelerde aynı değeri vermektedir. Bir önceki 6-7 birim hücreli modelde şekil 4.1’de de sonucun aynı olduğu gözlenmekte ve yapılan hesaplamalara göre basit dokumalı model için bu değerlerin aynı olduğu bilinmektedir. Bu şekilde bundan sonraki modeller için U1 değerini veren şekiller yerine diğer şekiller incelenmiştir.



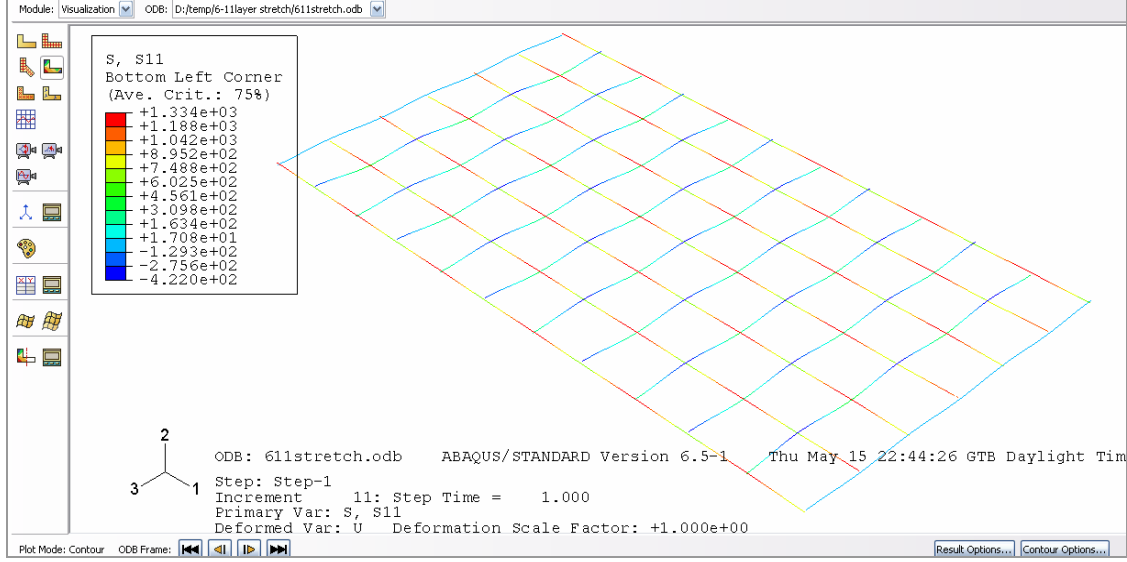
Şekil 4.12 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi yerdeğiştirme değerleri sonuç ekranı (6-11 birim hücre modeli)

Aşağıda verilen çizelgeye göre diğer modelde farklılık gösteren değer toplam boyut yani L değeridir. Bu da model boyutlarını biraz daha büyütüldüğünün göstergesidir. Burada  $L = 11 * 1,375 = 15,1250$  mm olmuştur. Buna göre alan , x ve z değerleri de değişmiştir.

Çizelge 4.7 Basit dokumalı kompozitte model ölçüleri çizelgesi (6-11 birim hücre)

Toplam Boyut		Elyaf Boyutu		x	z
<b>L(mm)</b>	15,1250	<b>Ly(mm)</b>	1,3750	14,4375	0,6875
<b>b(mm)</b>	9,6250	<b>Hy(mm)</b>	0,0550		
<b>t(mm)</b>	0,1100	<b>Ay(mm)</b>	0,0756		
<b>Alan(mm2)</b>	1,0588				

6-11 birim hücre modelindeki basit dokumalı kompozit modelde 6-7 birim hücre modeline göre gerilmenin bu sefer alttan birleşme noktalarında değil de boyuna doğrultudaki üstten birleşme noktalarında daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.(Şekil 4.13)



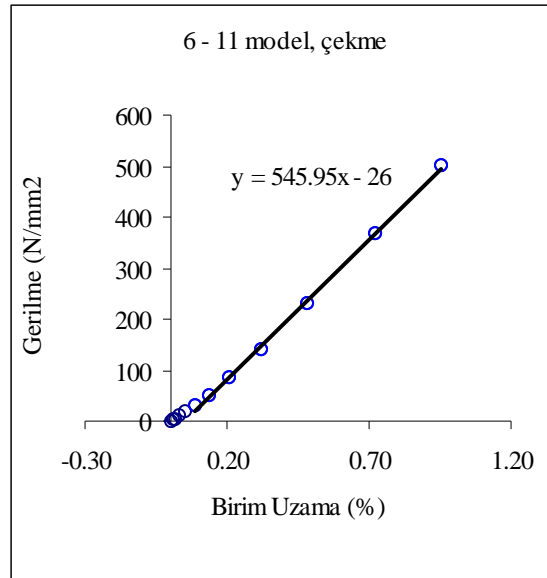
Şekil 4.13 Basit dokumalı kompozit modelde gerilme değerleri (6-11 birim hücre)

Gerilme değeri 6-7 birim hücre modelinde  $1982 \text{ N/mm}^2$  iken şekil 4.13’ te görüldüğü gibi gerilme değeri azalarak  $1334 \text{ N/mm}^2$ ’ ye düşmüştür. Gerilmenin yoğun olduğu bölge de azalmaya bağlı olarak birleşmenin üstten olduğu noktalara kaydığı gözlemlenmektedir. Bu karşılaştırma modelin 11. adımdaki değerlerinin karşılaştırmasıdır.

Ancak genel anlamda bütün değerlerin incelenmesiyle modeldeki değişiklikler incelenecek olursa aşağıda verilen şekil 4.14’ te  $E_c$  değerinin 6-7 modeline göre çok fazla değişmediği gözlemlenmektedir.

Bir önceki modelde bu değer  $56215 \text{ N/mm}^2$  iken şekilde 4.14’ te görüldüğü gibi 6-11 birim hücre modeli için  $E_c$  değeri  $54595 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır. 6-7 birim hücreli modele göre 6-11 birim hücreli modelin elastik modülü yaklaşık  $2000 \text{ N/mm}^2$  azalmıştır.

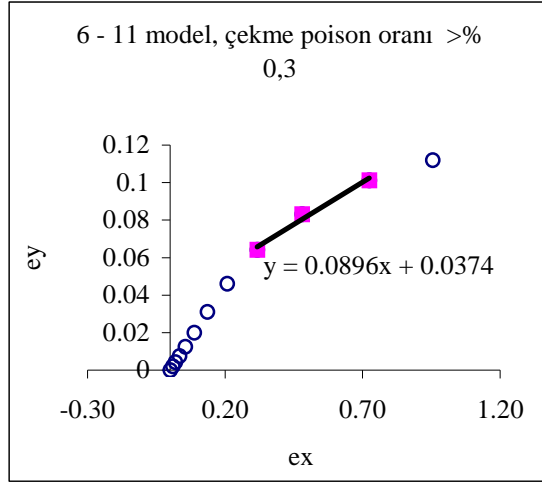
Yine aynı şekil incelenecek olduğunda % birim uzama değeri ile gerilme değeri doğrusal bir oranda artış göstermektedir. Bu sefer gerilme değerleri 0 ile 600 arasında değişirken, birim uzama değerleri yine 0 ile 1,2 arasında değişmektedir.



Şekil 4.14 Basit dokümalı modelde  $E_c$  değeri hesap grafiği (6-11 birim hücre modeli)

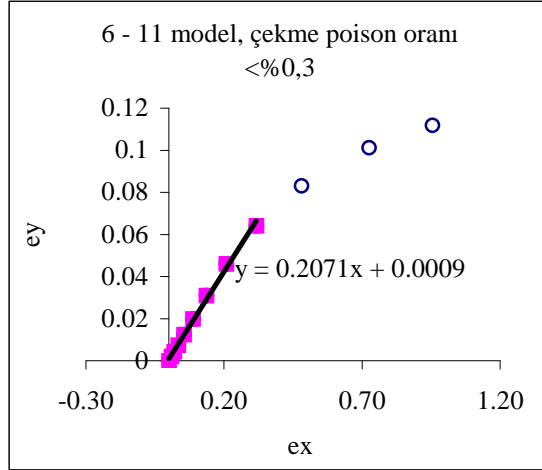
Aşağıda verilen şekil 4.15'e göre poisson oranlarının hesaplamaları yapılmaktadır. Buna göre ele alınacak değerler  $e_x$  ve  $e_y$  değerleri olacaktır. %0,3' ten büyük kısmı ele alındığında poisson oranı doğrunun denkleminde 0,0896 olarak hesaplanmaktadır.

$e_y$  değerleri 0 ile 0,12 değerleri arasında , $e_x$  değerleri ise 0 ile 1,2 arasında değişmektedir. Aralarında doğrusal oranın belirli aralıklarda olduğu gözlemlenmektedir. Bu değerler  $e_x = 0,3$ 'e kadar doğrusal oranda artmaktadır denilebilir. Ancak buradan sonra aralarındaki bu doğrusallık bozulmaktadır. Bu yüzden  $e_x = 0,3$ 'ten yukarıdaki kısımda 0,3 ile yaklaşık 0,6 arasındaki değerler arasında bir doğru oluşturularak poisson oranı hesaplaması yapılmıştır.



Şekil 4.15 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (6-11 hücreli)

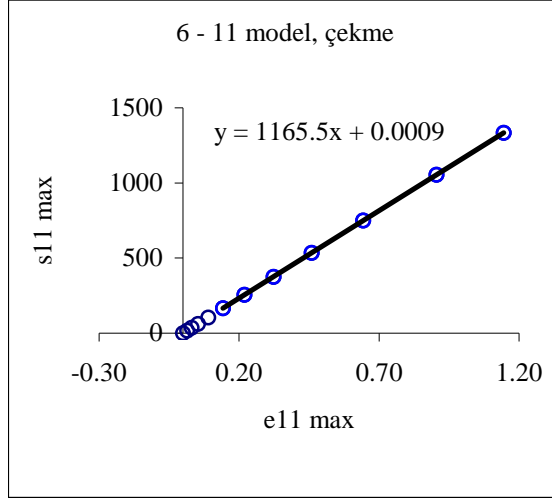
Basit dokumalı modelde 6-11 birim hücre modelinin çekme deneyi sonucunda oluşturulan ex-ey grafiğinin vermiş olduğu poisson oranının 0,3 değerinden önceki kısımları doğrusal oranda artarak denklem sonucu bu oranı 0,2071 olarak bulmayı sağlamıştır.



Şekil 4.16 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı (6-11 hücreli)

Modeli oluşturduktan sonra abaqus programı, istenilen her noktada ölçüm yapmayı sağlamaktadır. Deneyden malzeme özelliklerini incelemeye almak için uç sınırlar önemlidir. Buna göre aşağıda verilen tabloda her bir adımda max. seviyedeki gerilme

ve birim uzama değerleri incelenmiştir. Maximum orandaki ke noktalarda hesaplanan gerilme ve birim uzama değerleri doğrusal olarak artış göstermektedir. Grafiğe göre s11max değerleri 0-1500 arasında , e11max değeri ise 0-1,2 aradında değişmektedir.

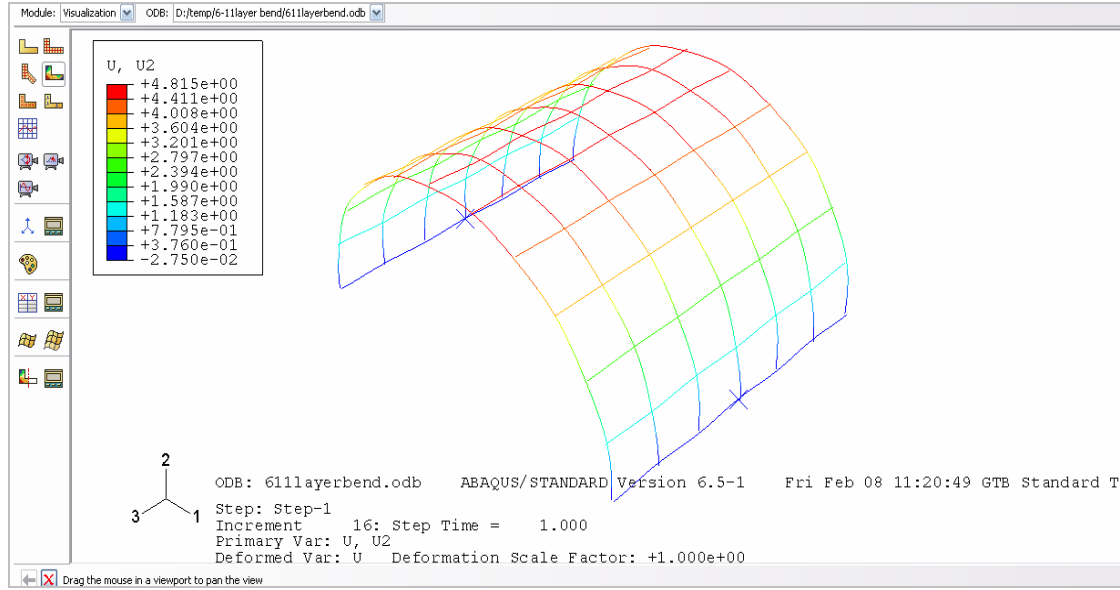


şekil 4.17 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-11 birim hücre modeli)

#### 4.1.4 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-11 Birim Hücre Modeli)

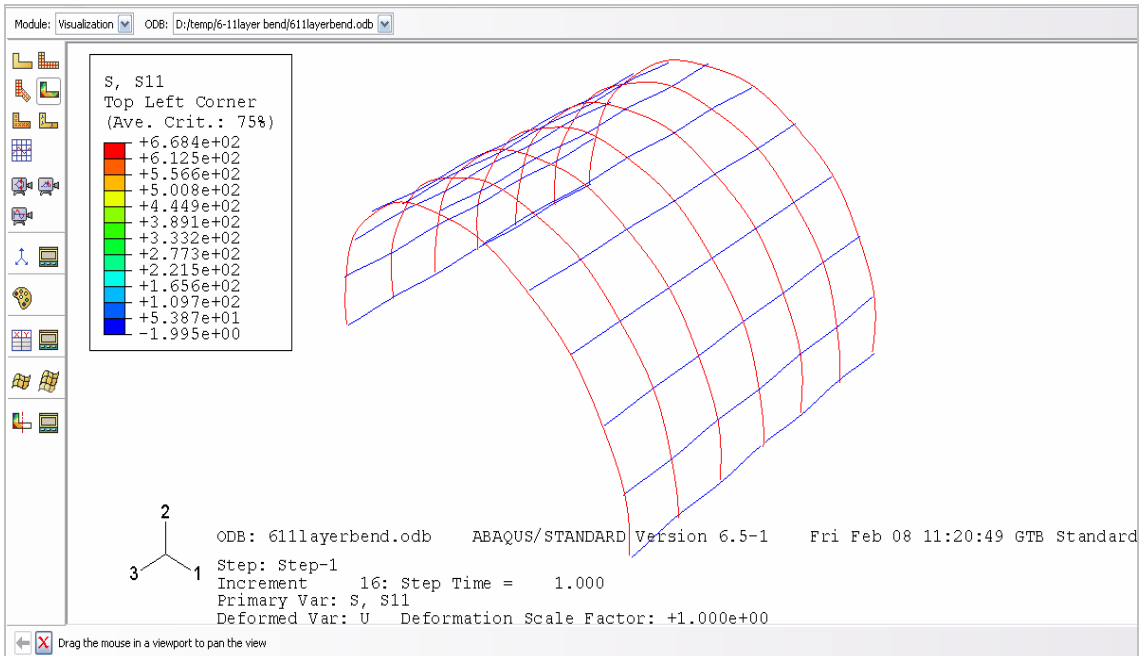
Eğilme deneyinde yer değiştirmenin en rahat gözlemleneceği eksen y eksenidir. Buna göre modelin incelemesini yaparken sonuç ekranında yer değiştirme için U , y ekseninde U değerini incelemek için 2 yani U2 değerinin seçilmesi gerekiyor. U2 değeri 6-7 birim hücre modelinde 3,064 iken 6-11 birim hücre modelinde modelin de boyuna uzamasıyla artarak 4,815 değerini almıştır.

şekil 4.18'de grldği gibi model eğilmeye maruz kaldığında, yüksek açı değerlerinde bir önceki modele göre daha fazla yer değiştirme gerçekleştirmiştir.



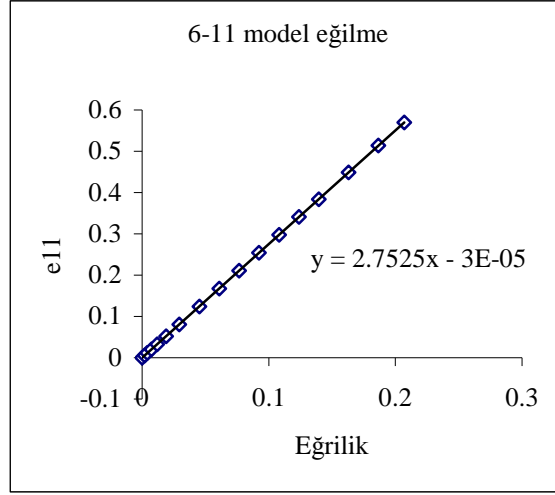
Şekil 4.18 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi yer değiştirme değerleri sonuç ekranı (6-11 birim hücre modeli)

Aşağıda şekil 4.19’da gerilmelerin incelendiği ekrana bakılacak olursa daha önceki modelde de olduğu gibi, gerilmelerin en çok boyuna doğrultuda olduğu gözlemlenmektedir. Şekle göre S11 değerinin 11. adımda 668,4 olduğu gözlemlenir.



Şekil 4.19 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi gerilme değerleri sonuç ekranı (6-11 birim hücre modeli)

Aşağıda verilen şekil 4.20’de eğilme deneyi sonucu elde edilen birim uzama ve eğrilik karşılaştırıldığında, grafikte görüldüğü gibi eğilme derecesi arttıkça birim uzama da doğrusal oranda artış göstermiştir. Şekilde e11 değeri 0 ile 0,6 arasında , eğrilik ise 0 ile 0,3 arasında değişmektedir. 6-7 birim hücre modelinde e11 değerinin 0 ile 1 arasındaki değişimi ile eğriliğin 0 ile 0,35 değeri arasındaki değişimi , modelin boyunun uzaması ve buna bağlı eğrilik derecesinin azalması sonucu birim uzamanın da aynı oranda bir önceki modele göre daha az olduğu gözlemlenmektedir.

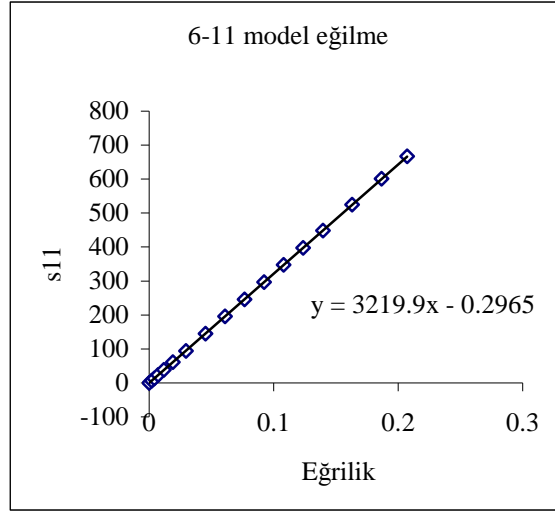


Şekil 4.20 Basit dokumalı kompozitte birim uzama-eğrilik grafiği (6-11 birim hücre)

Aşağıda gerilme- eğrilik grafiği incelendiğinde gerilme değerlerinin 0-800 arası olduğu gözlemlenir. 6-7 birim hücre modelinde 0-1200 arası olan gerilme değerleri birim uzamada olduğu gibi gerilmeye de eğrilikle doğru orantılı bir şekilde azalma göstermektedir.

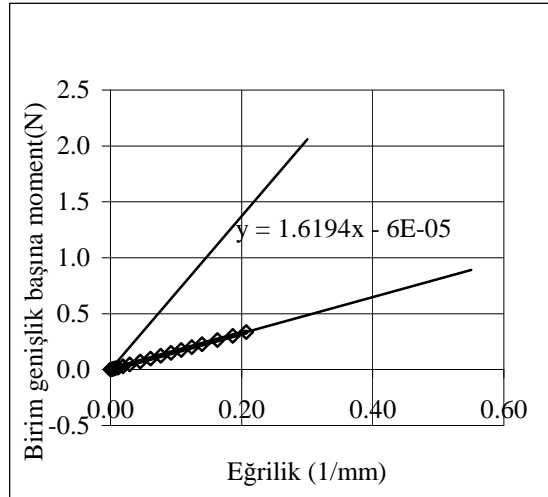
Eğrilik, daha önce de söylendiği gibi abaqus’ten alınan koordinatlara yani modelin eğilmeye maruz kaldığındaki değişen yerlerinin koordinatlarına bağlı olarak , eğilen modelin yarıçapı hesaplandıktan sonra 1/yarıçap olarak hesaplanır. Buna göre modeli büyüttükçe belli oranda yarıçap da büyüyor ancak buna karşılık eğrilik de azalıyor demektir. 6-11 model birim hücre modelinde şekil 4.19’da görülebileceği gibi şekilde eğrilik yarıçapı şekil 4.8’e göre daha geniş ve böylece daha büyük bir değere sahip olduğunu görülebilir.





Şekil 4.21 Basit dokumalı kompozitte gerilme-eğrilik grafiği (6-11 model birim hücre)

Aşağıda verilen moment –eğrilik grafiğinde klasik laminant teorisi ile sonlu elemanlar metodu arasındaki farkın 6-7 birim hücre modelinde olduğu gibi aynı oranda fark gösterdiğini gözlemlemek mümkün. Sonlu elemanlar metodunda moment 0-1 arasında değişirken, klasik teoride 0-2,1 arasında değişiklik göstermektedir. Klasik teoride bulunan değerlerin yine çok büyük olduğu gözlemlenmiştir.



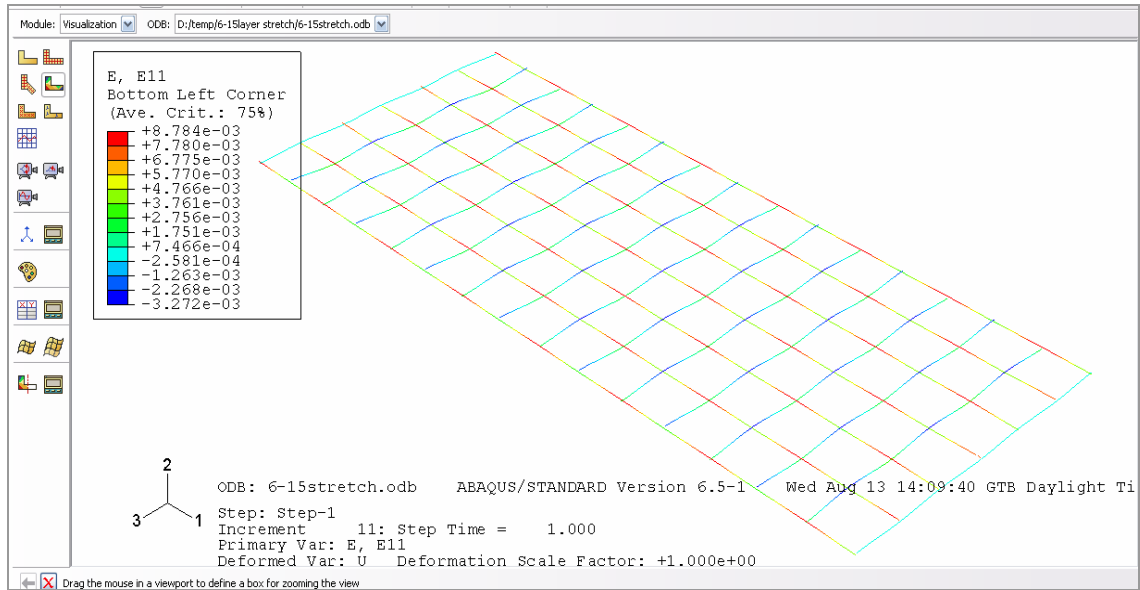
Şekil 4.22 Basit dokumalı kompozit modelde moment - eğrilik grafiği (6-11 birim hücre)

Basit dokumalı 6-11 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.22'de görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerleri karşılaştırıldığında , birim genişlik

başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,5 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,3 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6194 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 6-11 modelinde değerler daha düşüktür.

#### 4.1.5 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-15 Birim Hücre Modeli)

6-15 birim hücreli basit dokumalı kompozit modelde toplam boyutta L değeri değişmektedir. Burada  $L = 15 * 1,375 = 20,625$  mm olmuştur. Buna göre alan , x ve z değerleri de değişmiştir. Alan  $1,0588$  mm<sup>2</sup> olmuştur. L' nin değişimi ile  $x = 19,9375$  olmuş ,z değeri ise 0,6875 olarak değişmiştir.

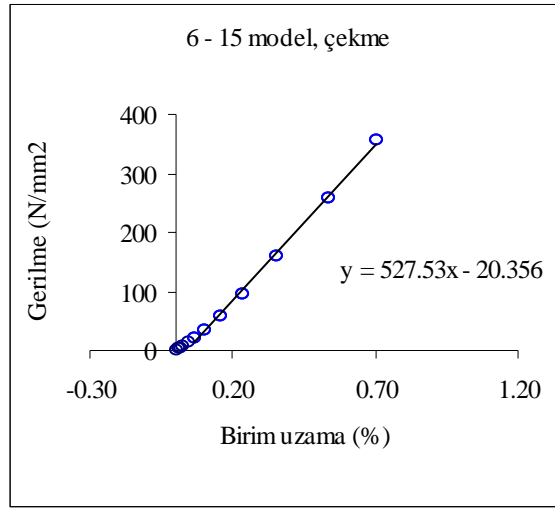


Şekil 4.23 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama değerleri (6-15 birim hücre)

Şekil değişikliğine bağlı olarak yeni şeklin birim uzama değeri incelendiğinde şekil 4.24'te görüldüğü gibi birim uzama değerleri , 6-11 birim hücre modelindeki değerlere göre azalma göstererek % değer hesaplandığında 0,8784 olarak hesaplanmıştır. Bu en son adımda elde edilen değerdir. Şekil dikkatle incelendiğinde birim uzamanın boyuna doğrultudaki kirişlerin üstten bağlanan noktalarında daha fazla olduğu gözlemlenir.

Hesaplamalara göre modelin boyu uzadıkça gerilme ve birim uzama değerlerinin aynı oranda azaldığı görülmektedir.

Aşağıda verilen grafikte gerilme–birim uzama değerleri incelendiğinde gerilme değerleri 0-400 arasında , birim uzama değerleri ise 0-0,7 arasında değişim göstermektedir. Gerilme – birim uzama değerleri arasında doğrusal değişim vardır. Elastik modülü( $E_c$ ) 52753 olarak hesaplanmıştır. Modelin boyu uzadıkça elastik modülü değeri de azalmaktadır.

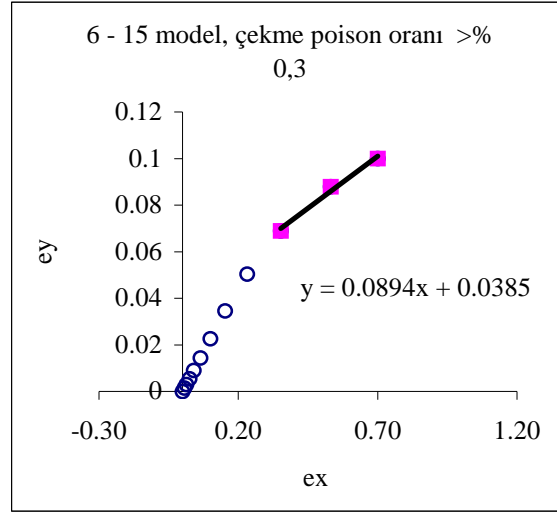


Şekil 4.24 Basit dokumalı modelde  $E_c$  değeri hesap grafiği (6-15 birim hücre modeli)

Daha önce de belirtildiği gibi boyuna doğrultuda uzatılan kompozit modellerin gerilme değerleri bir önceki modellere göre daha fazla olmaktadır. Bu artış elastik modülün üzerindeki boyuna uzatmanın etkisini de ayrıca göstermektedir.

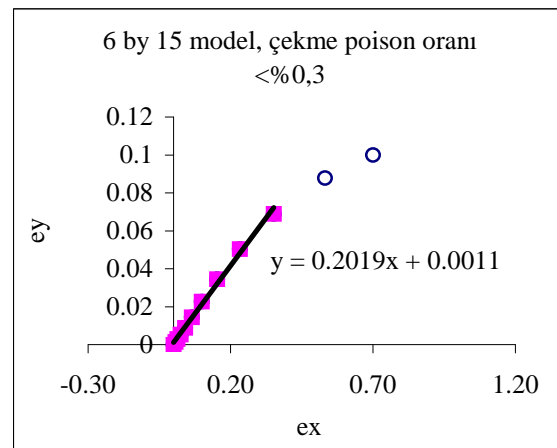
Genel olarak incelendiğinde elastik modülün, kompozit model boyuna uzadıkça üzerinde değerini arttırıcı bir etki göstermektedir, denilebilir.

Basit dokumalı kompozit modelde 6-15 birim hücre şekli oluşturulduğunda çekme deneyi sonucu elde edilen  $e_x$  ve  $e_y$  değerleri karşılaştırması şekil 4.26 – 4.27’de verilmiştir.



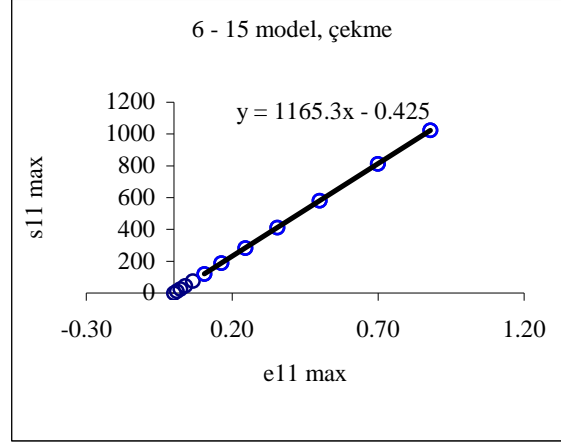
Şekil 4.25 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poison oranı (6-15 hücreli)

Çizilen grafiklerde doğruları %0,3'ten büyük ve küçük olan kısımları olmak üzere iki parçada incelendiğinde %0,3'ten büyük kısımda poison oranının 0,0894 , %0,3'ten küçük kısımda ise 0,2091 olduğu görülür. Burada ey değeri 0-0,1 arasında , ex değeri ise 0-0,7 arasındadır. Bu değerlerin yine bir önceki modele göre azaldığı gözlemlenir. Bu şekilde incelendiğinde ex ve ey değerlerinin U değerlerine bağlı olduğunu düşünürsek , yer değiştirme model değişikliğine göre azalma gösterdiğinde ex ve ey değerleri de aynı oranda azalma gösterir denilebilir.



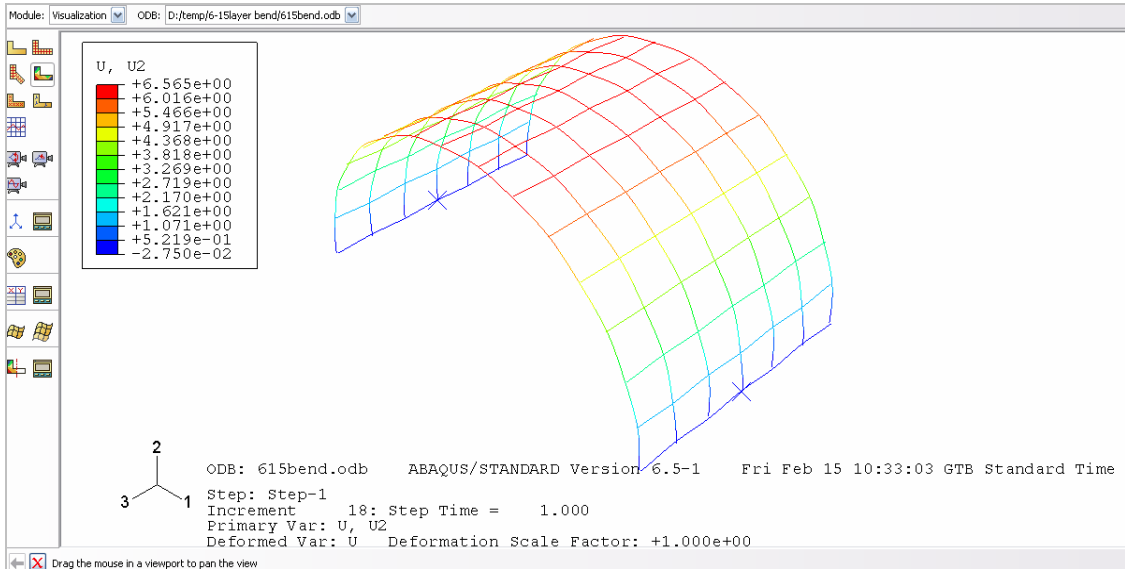
Şekil 4.26 Basit dokumalı modelde % 0,3 'den küçük kısım için poison oranı (6-15 birim hücre)

Basit dokumalı kompozit model 6-15 birim hücreli olarak şekillendirildiğinde e11 max ve s11 max değerlerin de bir önceki modellere göre değerlerinin azaldığını söylemiştik. Şekil 4.27’de de görülebileceği gibi bu azalan değerlere rağmen e11 ve s11 değerleri arasındaki doğrusal oranın değişmeden belli oranda azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.27 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-15 birim hücre modeli)

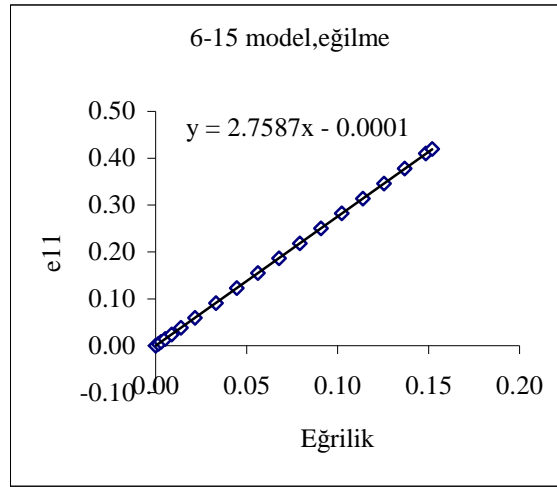
#### 4.1.6 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-15 Birim Hücreli Model)



Şekil 4.28 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi yerdeğiştirme değerleri sonuç ekranı (6-15 birim hücre modeli)

Eğilmeye maruz bırakılan 6-15 birim hücreli kompozit modelin U2 değerleri incelendiğinde 18. adımda bu değer son noktaya ulaşmış ve 6,565 olduğu gözlemlenir.

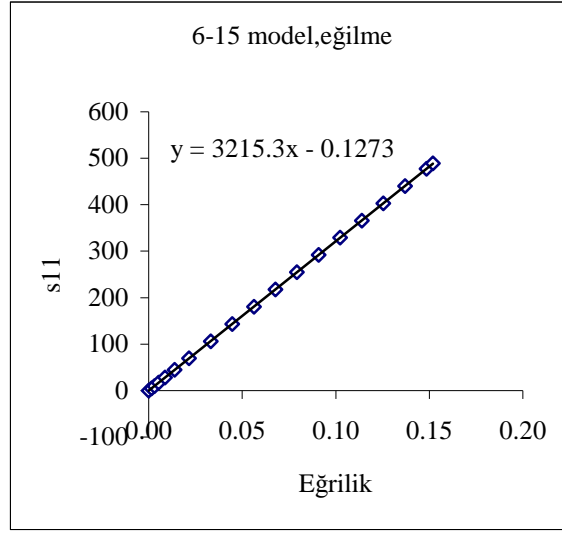
Eğilen modelin tepe noktasında gözlemlenen değer 6-11 birim hücreden, 6-15 birim hücreye çıkarılan modelde daha yüksek değere sahip olması istenilen bir durumdur. Model doğru şekillendirildiğinde sonuçlar orantılı ve düzgün olarak gözlemlenebilmektedir. U değerinin artmasının ilerdeki grafiklerde  $e_x$  ve  $e_y$  değerlerinin azalmasına sebep olacağı gözlemlenecektir.



Şekil 4.29 Basit dokumalı modelde birim uzama ve eğrilik grafiği (6-15 birim hücre modeli)

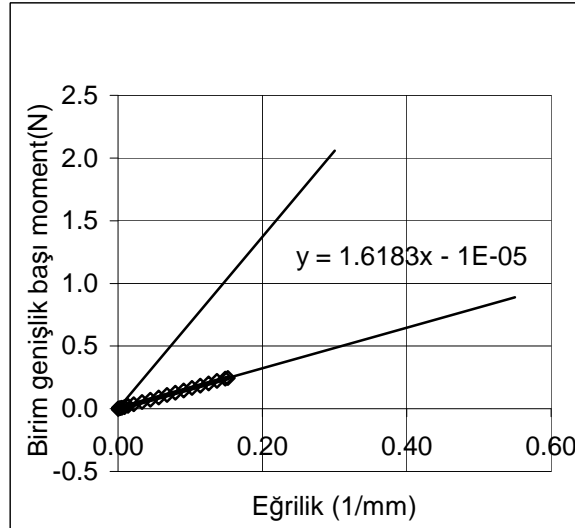
Basit dokumalı 5-15 birim hücre modeli kompozit için birim eğrilik ve birim uzama değerlerinin inceleme grafiği Şekil 4.29 da verilmiştir. Şekilde  $e_{11}$  değeri 0-0,4 arasında, eğrilik ise 0-0,2 arasında değişmektedir. Aralarında doğrusal bir ilişki vardır. Değerlerin diğer modellere göre azaldığı gözlemlenmektedir.

Gerilme değerlerinin eğrilik ile karşılaştırıldığı Şekil 4.30'da ise gerilmenin 0-500 arası, eğrilik ise 0-0,16 arası değiştiği gözlemlenmektedir. Birim uzamada olduğu gibi gerilme değerleri de bir önceki modellemelere göre azalma göstermektedir. Çekme deneyine göre de daha az miktarda gerilme değerine sahip olan eğilme deneyi sonucu gerilmeler, normal olarak şekil değişikliğine göre de gerilme miktarı azalması göstermektedir.



Şekil 4.30 Basit dokumalı modelde gerilme - eğrilik grafiği (6-15 birim hücre modeli)

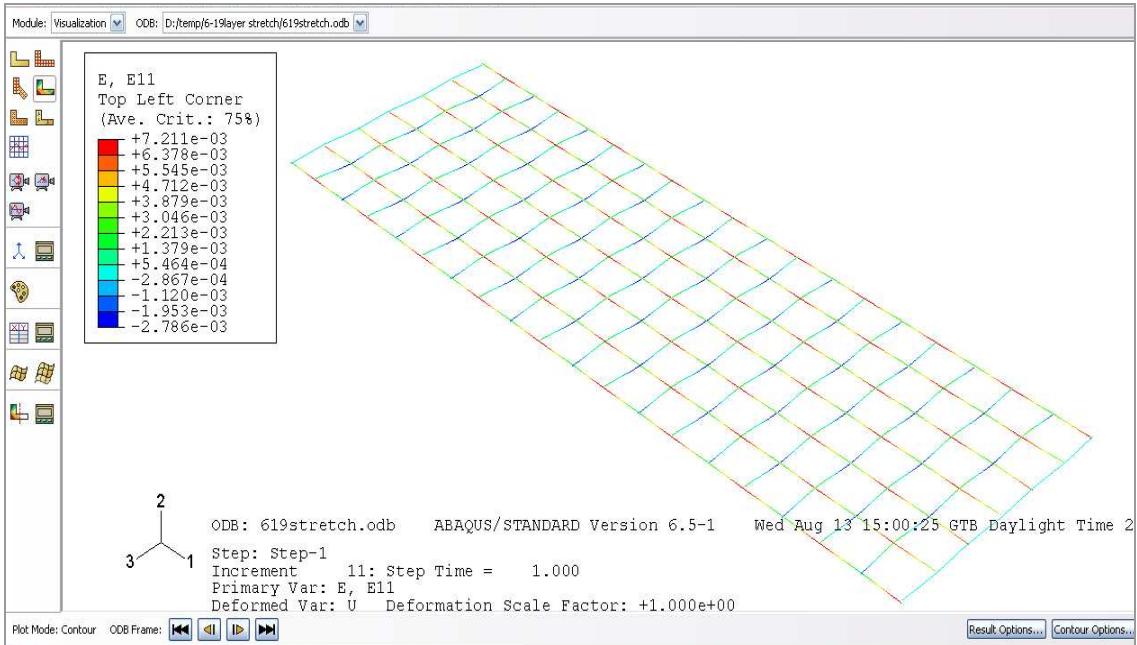
Aşağıda verilen şekil 4.31’de moment –eğrilik grafiğinde klasik laminant teorisi ile sonlu elemanlar metodu arasındaki farkın 6-11 birim hücre modelinde olduğu gibi aynı oranda fark gösterdiğini gözlemlemek mümkün. Sonlu elemanlar metodunda moment 0-0,7 arasında değişirken, klasik teoride 0-2,1 arasında değişiklik göstermektedir. Klasik teoride bulunan değerlerin yine çok büyük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.31 Basit dokumalı kompozit modelde moment ve eğrilik grafiği (6-15 birim hücre modeli)

Basit dokumalı 6-15 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.31'de görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerleri karşılaştırıldığında , birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,5 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,2 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6183 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 6-15 modelinde değerler daha düşüktür.

#### 4.1.7 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-19 Birim Hücreli Model)

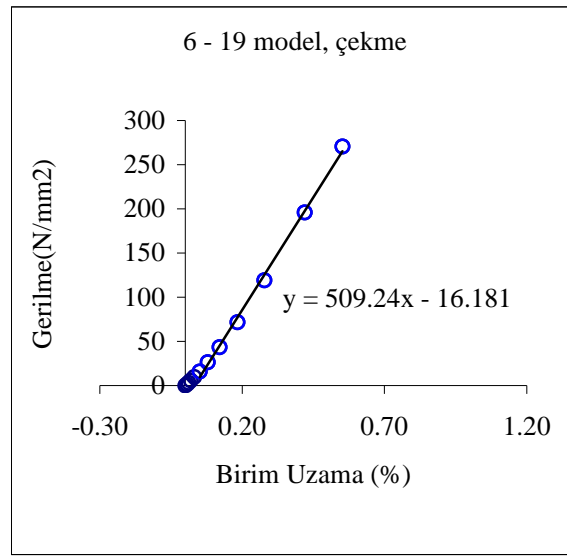


Şekil 4.32 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama değer ekranı (6-19 birim hücre modeli)

6-15 birim hücreli basit dokumalı kompozit modelde toplam boyutta L değeri değişmektedir. Burada  $L = 19 \times 1,375 = 26,1250\text{mm}$  olmuştur. Buna göre alan , x ve z değerleri de değişmiştir. Alan  $1,0588\text{mm}^2$  olmuştur. L' nin değişimi ile  $x=25,4375$  olmuş , z değeri ise 0,6875 olarak aynı kalmıştır.



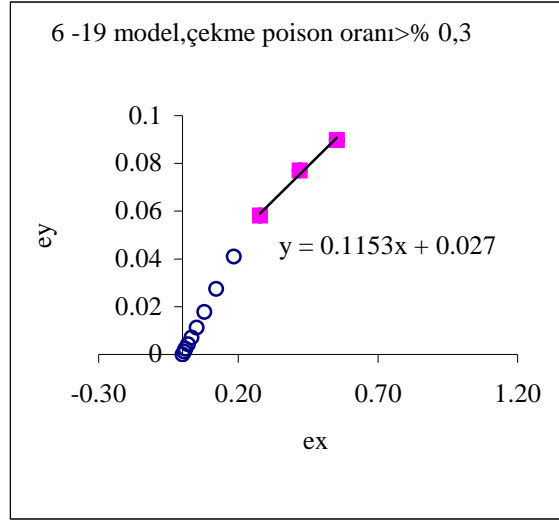
6-19 birim hücreli model için şekil 4.32’de birim uzama değerleri incelemeye alınmıştır. Buna göre birim uzama değerinin 11. adım sonunda % 0,7211 olarak hesaplandığı görülür. Bir önceki modelde 0,8’lerde olan bu değer modeli boyuna uzatıldığında azalma göstermiş olmaktadır. Ayrıca gerilmelerin şekil üzerinde birleşme noktalarının alttan bağlantı kısımlarında daha çok gerilmenin olduğu da görülmektedir. Şekil değişikliğine göre modelin bağlantı noktalarına binen yük miktarı da değişim göstermektedir. Buna göre de şeklin alttan veya üstten birleşme noktalarındaki hassasiyet her ayrı modelde farklılık gösterir denilebilir.



Şekil 4.33 Basit dokumalı modelde  $E_c$  değeri hesap grafiği (6-19 birim hücre modeli)

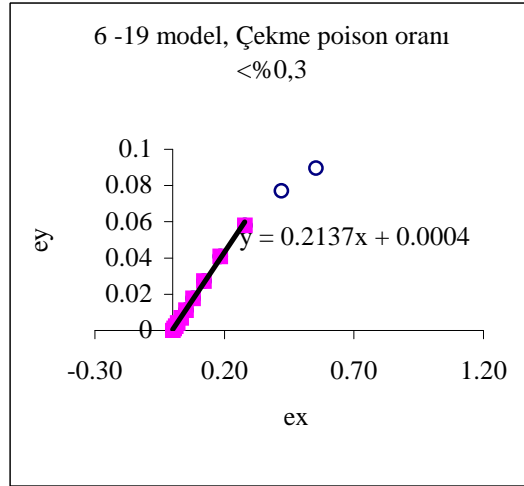
$E_c$  değerinin hesaplamasını aşağıda verilen şekil 4.33’de görmek mümkündür. Grafikteki doğrusal eğim çizgisinin denklemi “ $y = 509.24x - 16,181$ ” dir. Buna göre  $E_c$  değeri de  $509.24 \cdot 100 = 50924 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanır. Üretici elastik modül değeri ( $E_c$  üretici) ise bulunan  $E_c$  değerinin yuvarlak hesabıdır. Bu değer 6-19 birim hücre modeli için yaklaşık olarak  $51000 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanır.

Aşağıda verilen şekil 4.34 ve 35’e göre poisson oranlarının hesaplamaları yapılmaktadır. Buna göre ele alınacak değerler  $\epsilon_x$  ve  $\epsilon_y$  değerleri olacaktır. %0,3’ ten büyük kısmı ele alındığında poisson oranı doğrunun denkleminde 0,1153 olarak hesaplanmaktadır.  $\epsilon_y$  değerleri 0 ile 0,09 değerleri arasında,  $\epsilon_x$  değerleri ise 0 ile 0,6 arasında değişmektedir. Aralarında doğrusal oranın belirli aralıklarda olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.34 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poison oranı (6-19 hücreli)

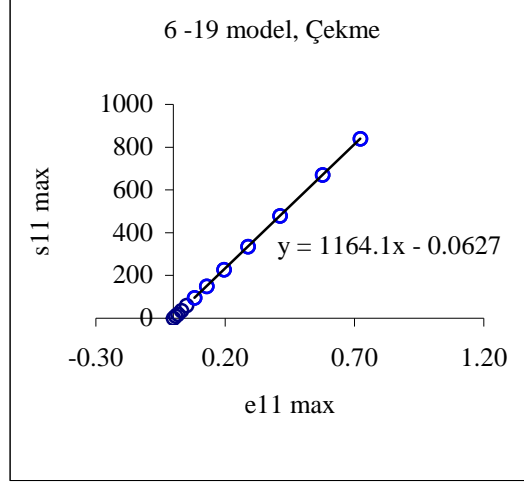
%0,3'ten küçük kısımda ise poison oranının 0,2137 olduğu görülmektedir. Ex ve ey değerleri U değerlerine bağlı olarak değişmektedir demiştir. Buna göre azalan ex ve ey değerlerine göre poison oranı da azalma göstermeye başlamıştır. Poison oranlarının her model için karşılaştırması sonuç bölümünde tekrar ele alınacaktır.



Şekil 4.35 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poison oranı (6-19 hücreli)

Basit dokumalı kompozit model 6-19 birim hücreli olarak şekillendirildiğinde e11 max ve s11 max değerlerin de bir önceki modellere göre değerlerinin azaldığı söylenmişti.

Grafik üzerinde şekil 4.36'da da görülebileceği gibi bu azalan değerlere rağmen e11 ve s11 değerleri arasındaki doğrusal oranın değişmeden belli oranda azaldığı görülmektedir. Modelde s11 değeri 0- 830 arası , e11 değeri ise 0-0,7 arasında değişmektedir.



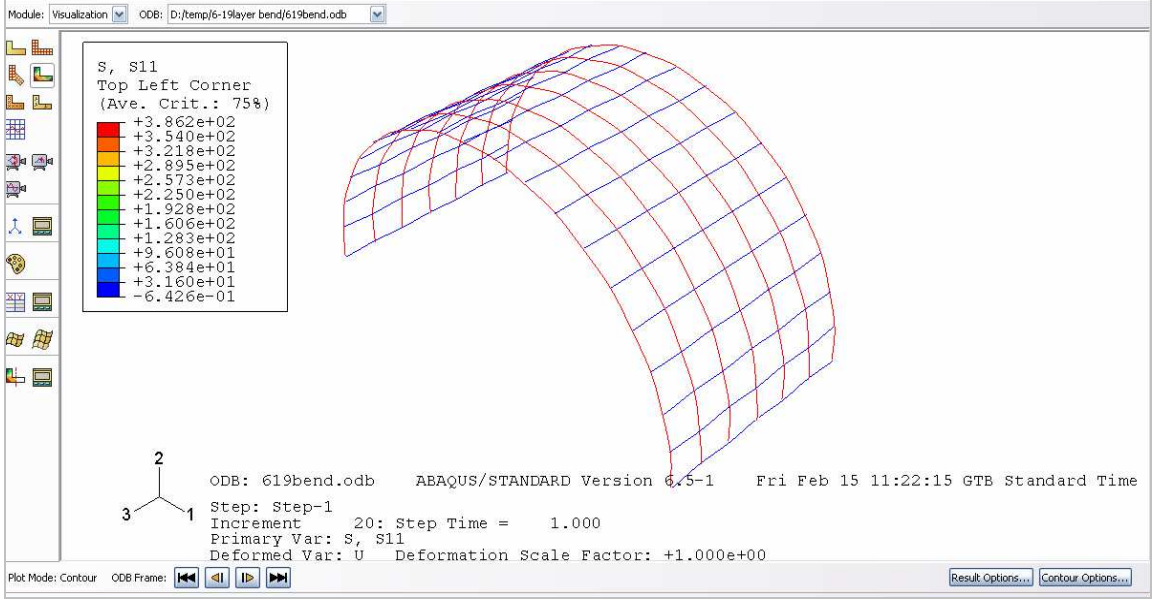
Şekil 4.36 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-19 birim hücre modeli)

Genel anlamda basit dokumalı kompozit bir modeli boyuna doğrultuda uzatıldığında çekme deneyi ile elde edilen gerilme ve birim uzama değerleri azalmaktadır. Bu da lineer bir modelde beklenen bir davranıştır. 6-11 ile 6-19 arasında çekme deneyi sonuçları doğru oranda gerilmeler üzerindeki azalmayla düzgün davranış sergilemiştir.

#### 4.1.8 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-19 Birim Hücreli Model)

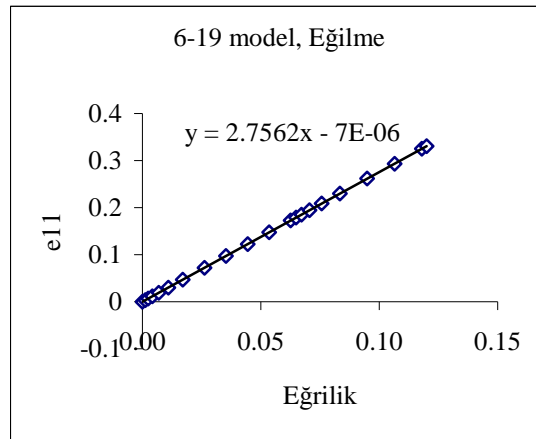
6-19 birim hücreli basit dokumalı kompozit modelin eğilme deneyi sonucu gerilme değerleri incelenecek olduğunda diğer modeller üzerinde olduğu gibi gerilme değerlerinde azalma olduğunu gözlemlenmektedir. Şekil 4.37'de görüldüğü gibi gerilmeler boyuna doğrultuda en büyük değere sahip olmaktadır. Yine şekle göre eğilme deneyi sonuçlarına 20 adımda ulaşıldığı görülür. 20. adımdaki gerilme değerinin 386,2 olduğu görülür. Model boyu uzadıkça eğilme deneyi sonucu tepe noktadaki

gerilme de aynı oranda azalmaktadır. 6-15 birim hücre modeline bakılacak olursa bu değerin 1023 olduğu görülür. Yani gerilme yaklaşık %35 azalma göstermiştir.

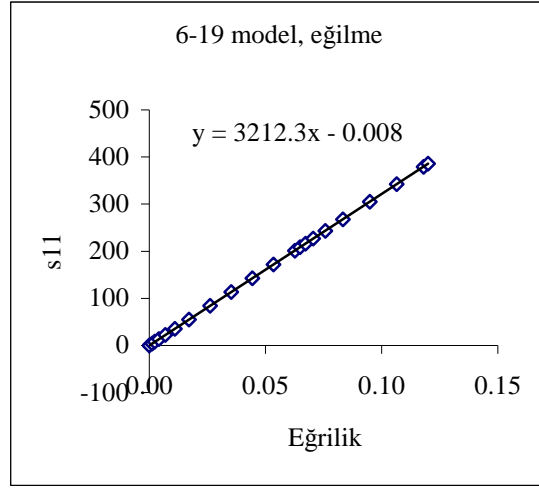


Şekil 4.37 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme sonucu gerilme değerleri (6-19 hücreli)

Basit dokumalı 5-19 birim hücre modeli kompozit için birim eğrilik ve birim uzama değerlerinin inceleme grafiği şekil 4.38 da verilmiştir. Şekilde e11 değeri 0-0,3 arasında, eğrilik ise 0-0,13 arasında değişmektedir. Aralarında doğrusal bir ilişki vardır. Değerlerin diğer modellere göre azaldığı gözlemlenmektedir.

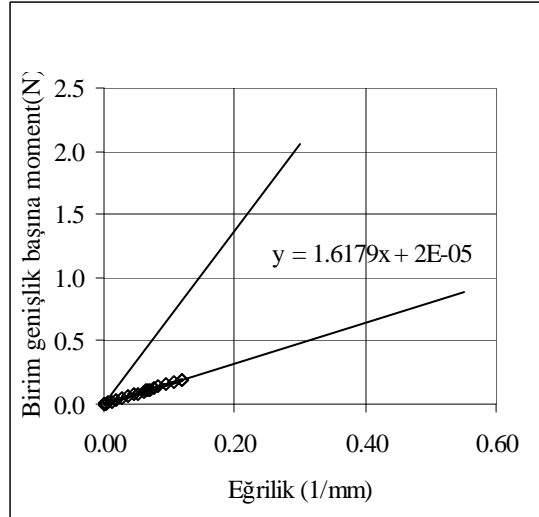


Şekil 4.38 Basit dokumalı modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)



Şekil 4.39 Basit dokumalı modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)

Gerilme değerlerinin eğrilik ile karşılaştırıldığı şekil 4.39'da ise gerilmenin 0-400 arası, eğriliğin ise 0-0,13 arası değiştiği gözlemlenmektedir. Birim uzamada olduğu gibi gerilme değerleri de bir önceki modellemelere göre azalma göstermektedir. Çekme deneyine göre de daha az miktarda gerilme değerine sahip olan eğilme deneyi sonucu gerilmeler, normal olarak şekil değişikliğine göre de gerilme miktarı azalması göstermektedir.



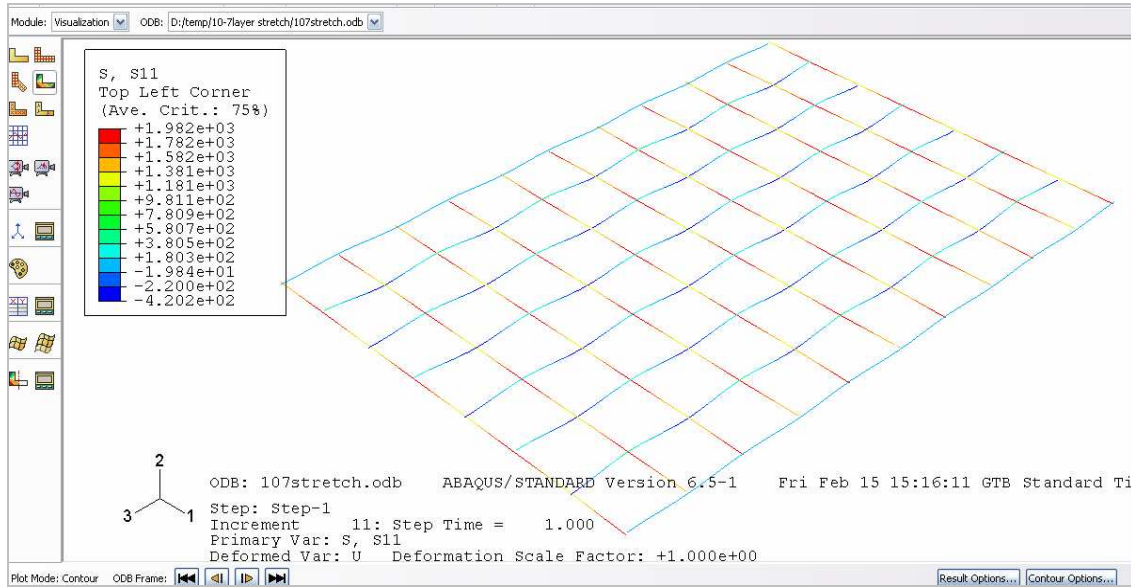
Şekil 4.40 Basit dokumalı kompozitte moment- eğrilik grafiği (6-19 hücreli)

Şekil 4.40'da moment –eğrilik grafiğinde klasik laminant teorisi ile sonlu elemanlar metodu arasındaki farkın 6-15 birim hücre modelinde olduğu gibi aynı oranda fark

gösterdiğini gözlemek mümkün. Sonlu elemanlar metodunda moment 0-0,7 arasında değişirken, klasik teoride 0-2,1 arasında değişiklik göstermektedir. Klasik teoride bulunan değer yine çok büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Basit dokumalı 6-19 birim hücreli kompozit modelde şekilde de görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerlerini karşılaştırıldığında , birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,5 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,2 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6179 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 6-19 modelinde değerler daha düşüktür.

#### 4.1.9 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (10-7 Birim Hücreli Model)



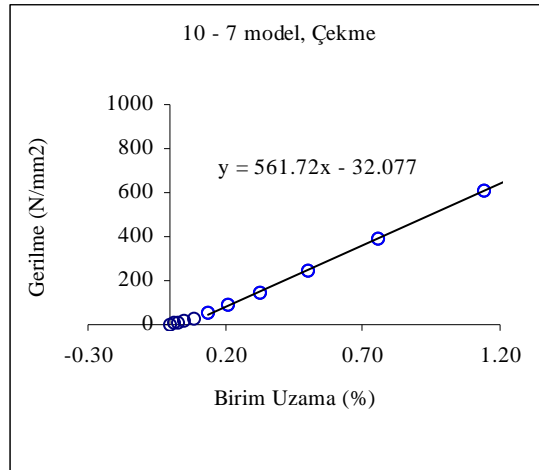
Şekil 4.41 Basit dokumalı kompozit model çekme deneyi gerilme sonuçları (10-7 hücreli)

Basit dokumalı kompozit modeli bu sefer de enine genişletme yapmak kaydıyla inceleme altına alınır. Bu şekilde, modelde değişikliklerin nasıl olduğu gözlemlenir. Bu seferki değişiklik L boyunda değil b eninde olacaktır. Endeki değişiklik  $b = 11 * 1,375$

olarak hesaplanacaktır. Yani b değeri 10-7 birim hücre modeli 15, 125 olacaktır. Buna göre alan 1,6638 mm<sup>2</sup> olarak hesaplanacaktır.

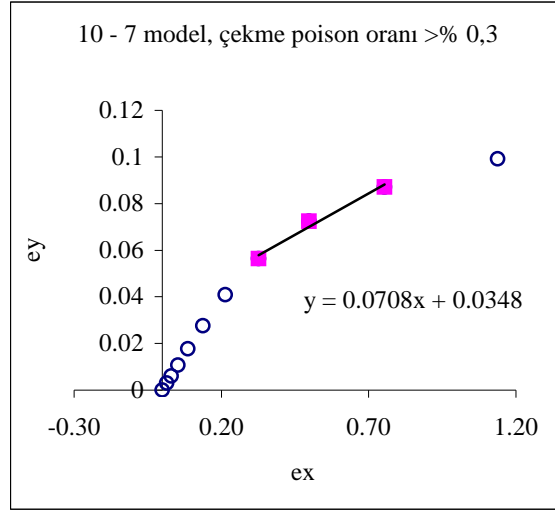
Şekil 4.41'e göre gerilmeleri gözlemlenecek olunursa ,gerilmelerin yine boyuna doğrultuda fazla olduğu görülür. Boyuna doğrultudaki kirişlerin alt birleşme noktalarında gerilmeler yüksek olacaktır.

Çözüm 11. adımda ulaşılan çekme deneyi sonucu 11. adımdaki gerilme değeri 1982 N/mm<sup>2</sup> olmaktadır. Buna göre şekli 6-7 birim hücre modeline göre kıyaslanacak olunursa gerilme değerlerinin aynı kaldığı gözlemlenir. Yaklaşık 5N/mm<sup>2</sup> lik fark gözlemlense de bu çok önemli bir fark değildir. Aynı durum birim uzama değerleri için de geçerlidir.



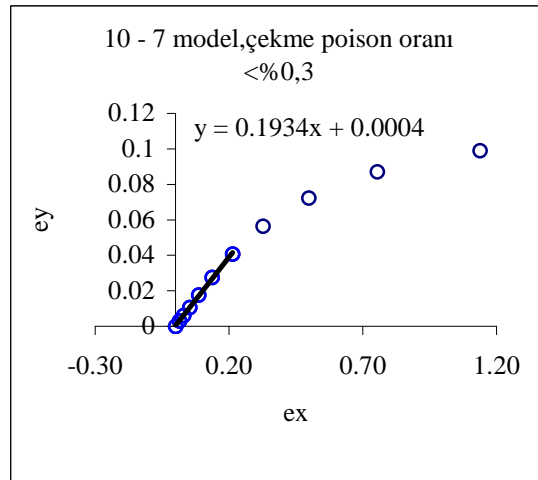
Şekil 4.42 Basit dokümalı modelde Ec değeri hesap grafiği (10-7 birim hücre modeli)

6-7 birim hücre modeline göre gerilme – birim uzama değeri değişmeyen 10-7 birim hücre modelinde elastik modülü de değişmemektedir. 6-7 birim hücre modelinde yaklaşık olarak 56200 N/mm<sup>2</sup> değerinde olan elastik modülü 10-7 birim hücre modelinde 56172 N/mm<sup>2</sup> olmuştur. Enine doğrultuda uzamanın gerilme ve birim uzamalara etkisinin çok fazla olmamasından dolayı modeller üzerinde , malzeme özelliği belirleyecek değerlerin çok fark göstermediği sonucuna varmış bulunulur. Bu sonucu açıklayıcı değerlere bir sonraki modellerde de ulaşılacaktır.



Şekil 4.43 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poison oranı (10-7 hücreli)

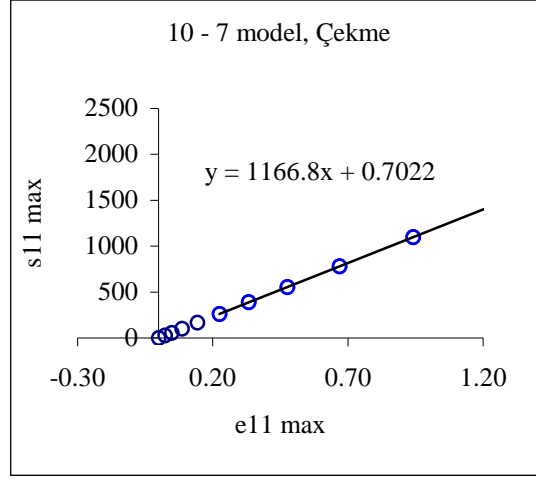
10-7 birim hücre modelini poison oranını bulmak için incelemeye alındığında  $ex$  değerlerinin çok değişmediğini ,  $ey$  değerlerinin ise kısmen değiştiği gözlemlenilir. Buna bağlı olarak %0,3'ten büyük kısımda şekil 4.43'te poison oranı 0,0708 iken şekil 4.44'e göre %0,3'ten küçük kısımda poison oranı 0,1934 olmaktadır. Poison oranları  $ey$  değerinin değişiklik gösteriyor olmasından dolayı 6-7 birim hücre modelinin poison oranlarına göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 4.44 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poison oranı (10-7 hücreli)

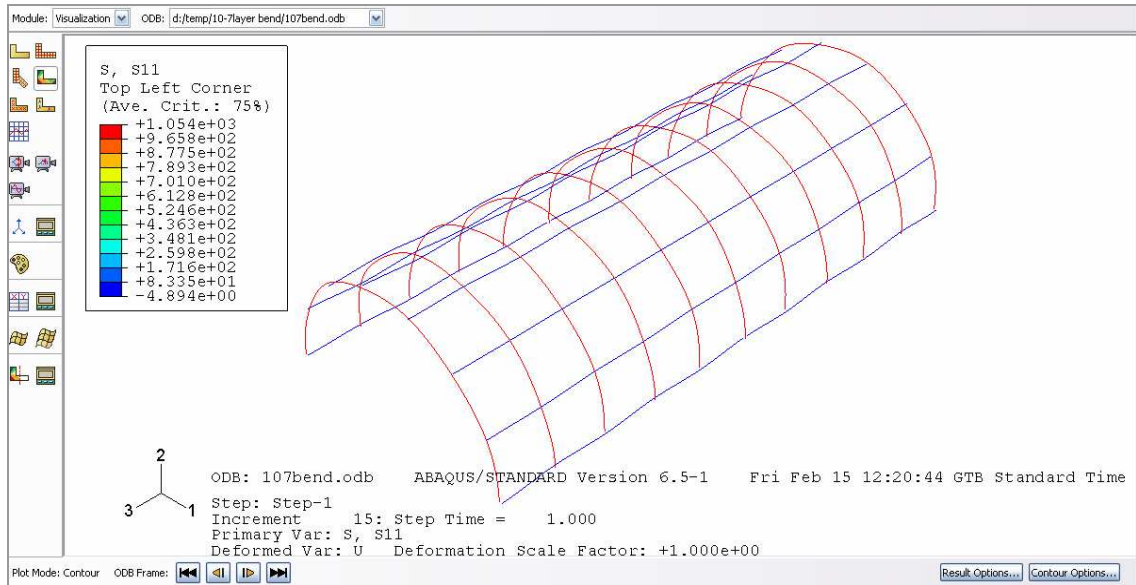


10-7 birim hücreli basit dokumalı kompozit modelin e11 max ve s11 max değeri 6-7 birim hücre modeli ile aynı olduğu için karşılaştırma sonucu da çok ufak farklarla aynı aralıklarda çıkmıştır. Aralarındaki doğrusal ilişki bozulmamıştır.



Şekil 4.45 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (10-7 birim hücre modeli)

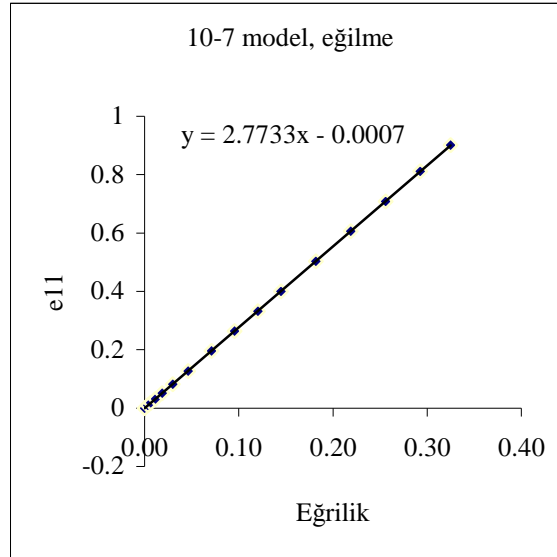
#### 4.1.10 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (10-7 Birim Hücreli Model)



Şekil 4.46 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi geilme değerleri sonuç ekranı (10-7 birim hücre modeli)

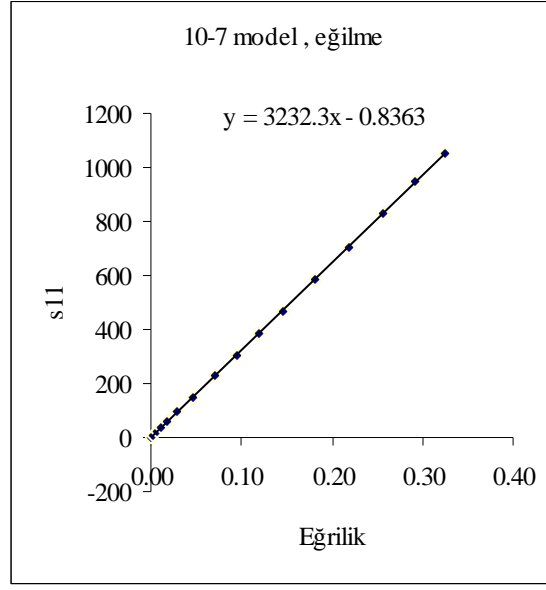
10-7 birim hücreli basit dokumalı kompozit modele eğilme deneyi uygulandığında gerilme değerinin en üst sınırına 15. adımda ulaşıldığı görülmektedir. Buna göre gerilme değeri  $1054 \text{ N/mm}^2$  olmaktadır. 6-7 birim hücreli modele göre karşılaştırma yapıldığında çözüme 14. adımda ulaşılan modelin sonuçlarının , 10-7 birim hücre modelinde 15. adımda ulaşıldığı gözlemlenir. 1 adım farkı değerlerin çok farklı olmasına etki etmemiştir. Gerilme ve birim uzama değerleri 6-7 birim hücre modelinde olduğu gibidir.

Eğilme deneyine göre birim uzama-eğrilik değerleri karşılaştırılacak olduğunda doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir.Şekil 4.47' de gözlemlenebileceği gibi e11 değeri 0-1 arasında , eğrilik değeri ise 0-0,4 arasındadır. Eğrilik değerleri de 6-7 birim hücre modeline göre aynı olduğu için tablo inceleme sonuçları aynı çıkacaktır.

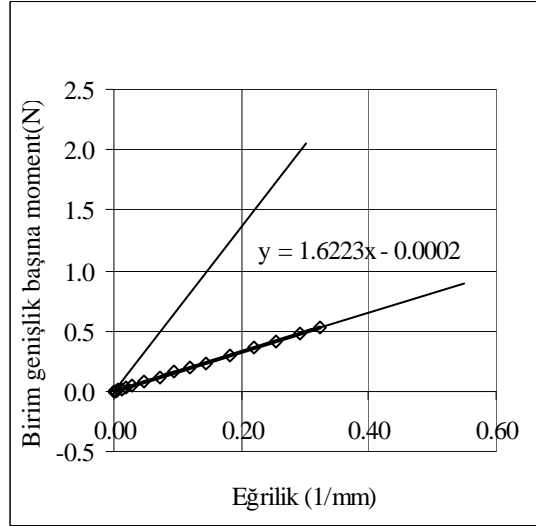


Şekil 4.47 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (10-7 hücreli)

Model için çizilen grafiklerden şekil 4.47 için söylenildiği gibi şekil 4.48 için de aynı durum söz konusudur. Gerilme ve eğrilik değerleri 6-7 birim hücre modeline göre aynı olduğu için sonuç da aynı çıkmıştır.



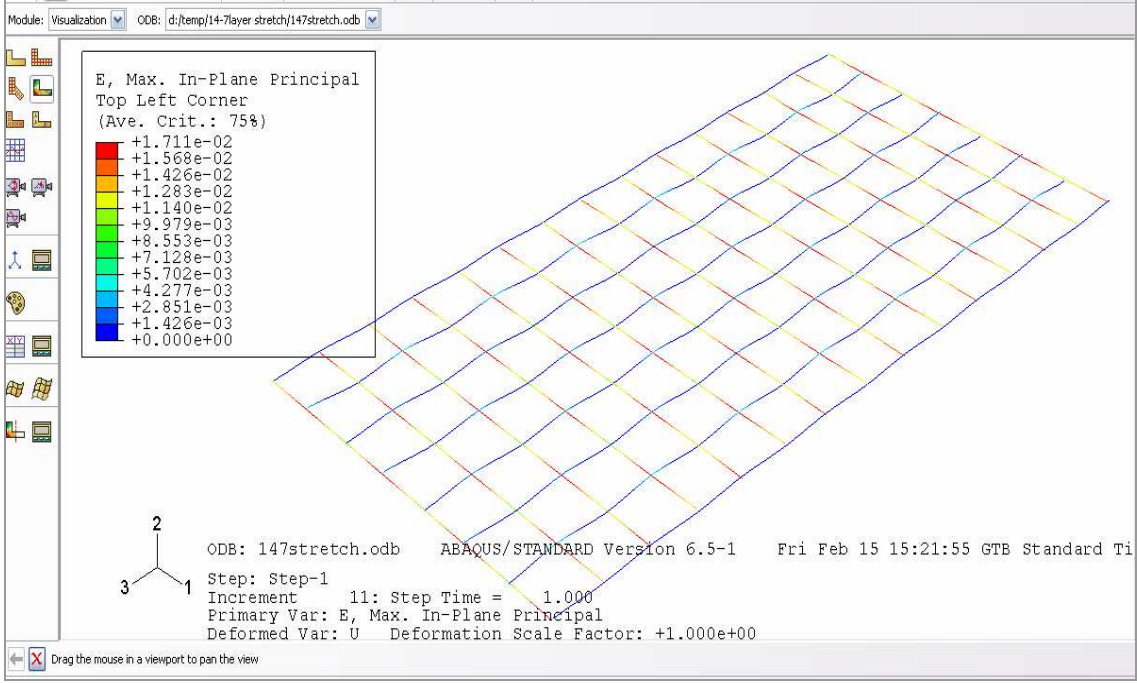
Şekil 4.48 Basit dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (10-7 hücreli)



Şekil 4.49 Basit dokumalı modelde moment-eğrilik grafiği (10-7 hücre)

Basit dokumalı 10-7 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.49'da görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerlerini karşılaştırıldığında , birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,6 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,4 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6223 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 10-7 modelinde değerler ayırdır.

#### 4.1.11 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (14-7 Birim Hücreli Model)

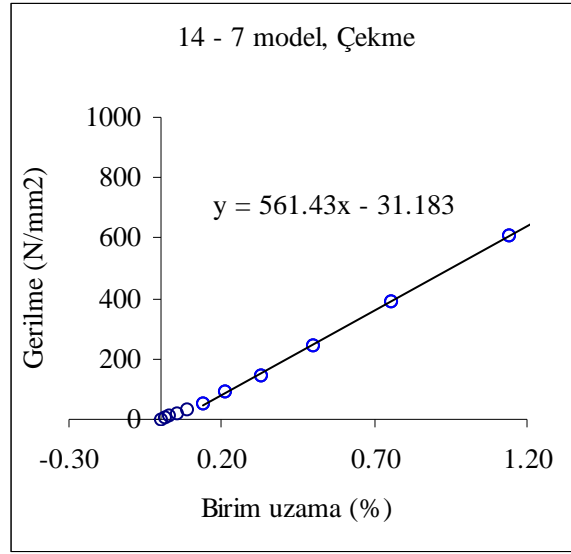


Şekil 4.50 Basit dokumalı kompozit modelde çekme deneyi birim uzama sonuç ekranı (14-7 hücre)

Bu bölümde model, en olarak yani b değerinde değişiklik yapılarak  $15 \times 1.375 = 20,625$  mm. olmuştur. Alan ise  $2.2688 \text{ mm}^2$  olarak hesaplanmıştır.

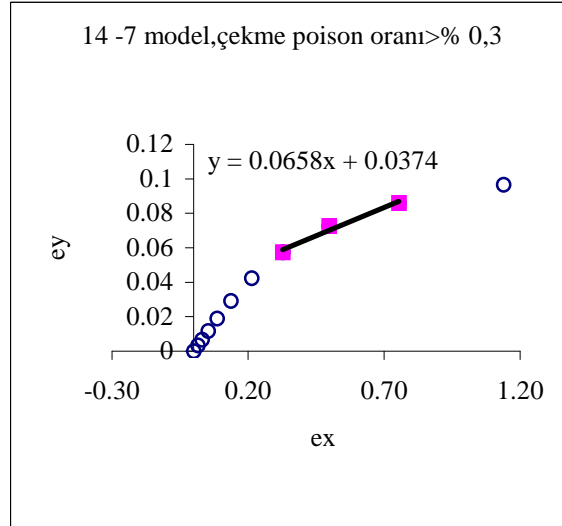
Birim uzama şekil 4.50'de de görülebileceği gibi daha çok boyuna doğrultudaki kirişlerin enine doğrultudaki kirişlerle alttan bağlandığı noktalarda yüksek değerler almaktadır. Modeli enine değiştirmek, gerilme ve birim uzama değerlerine fazla etkili olmamıştır. Kuvvetin uygulandığı doğrultular değişmeden modeldeki enine büyümeler modelde çok fazla bir etki göstermemektedir.

Elastik modülü şekil 4.51'de görüldüğü gibi 14-7 birim hücre modeli için  $E_c$  değeri 56143'tür. Bir önceki modele göre değerde çok fazla değişiklik olmadığı gibi ilk model olan 6-7 birim hücre modelinde bulunan değerlere de yaklaşık olduğu gözlemlenir. Bu sonuçlar daha önce 10-7 birim hücre modelindeki görüşü de doğrulamaktadır.



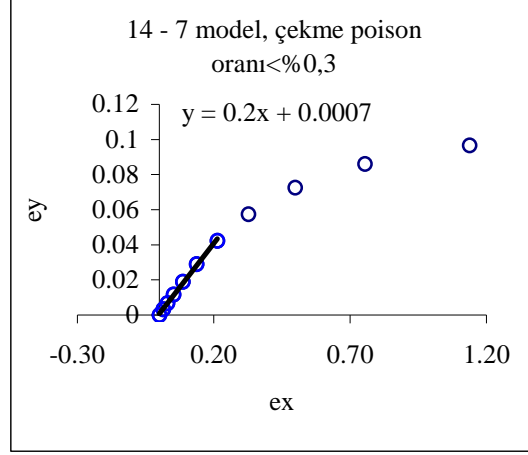
Şekil 4.51 Basit dokumalı modelde  $E_c$  değeri hesap grafiği (14-7 birim hücre modeli)

14-7 birim hücre modeli için poisson oranları değişiklik göstermektedir. Şekil 4.52'ye bakıldığında %0,3'te büyük kısımda poisson oranı 0,0658 iken , %0,3'te küçük kısımda poisson oranı 0,2'dir. Bu değerler yine  $U$  değerlerinin boya bağlı değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır.  $U$  değeri değiştikçe  $e_x$  ve  $e_y$  değerleri de değişmektedir.



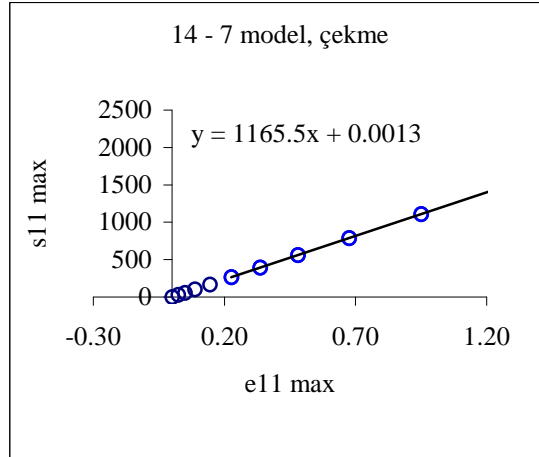
Şekil 4.52 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (14-7 hücreli)

Basit dokumalı kompozit modelin 14-7 hücreli şekilde biçimlendirmesinde ey değerlerinin %0,2 ye kadar doğrusal şekillendiği görülmektedir. Şekil 4.53'te ey değerlerinin 0-0,12 arasında, ex değerlerinin 0-1,2 arasında değiştiği görülür.



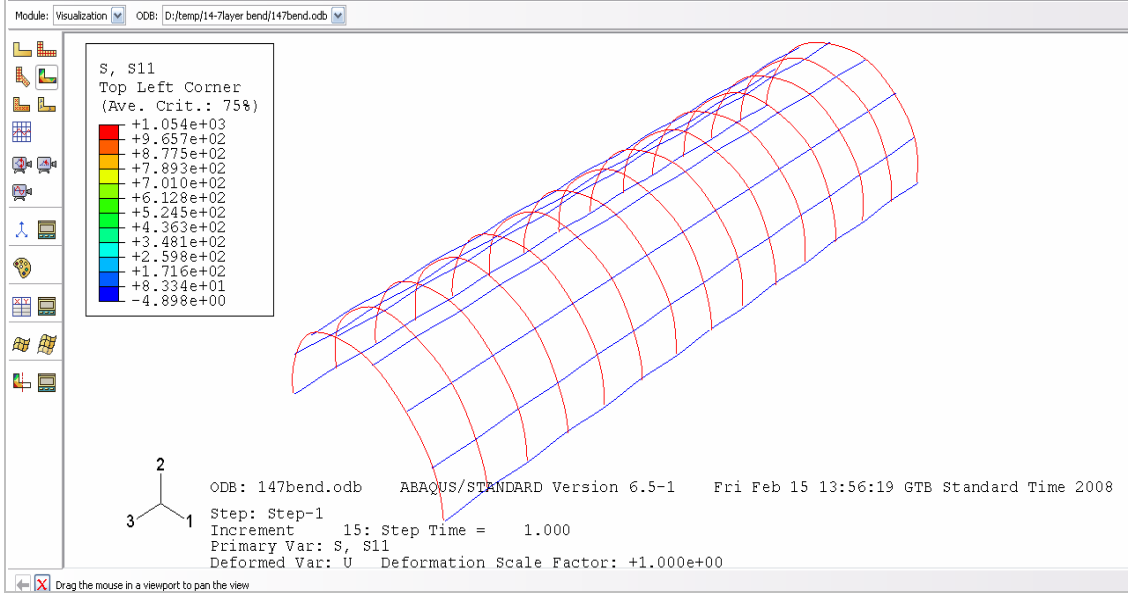
Şekil 4.53 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı (14-7 hücreli)

Şekil 4.53 ve 4.54' te basit dokumalı modelinin 14-7 hücreli şekillendirmesinde gerilme ve birim uzama değerlerinin değişmemesi sonucu karşılaştırmada diğer 6-7 ve 10-7 modellerle aynı sonuç vermesi sonucunu oluşturur.



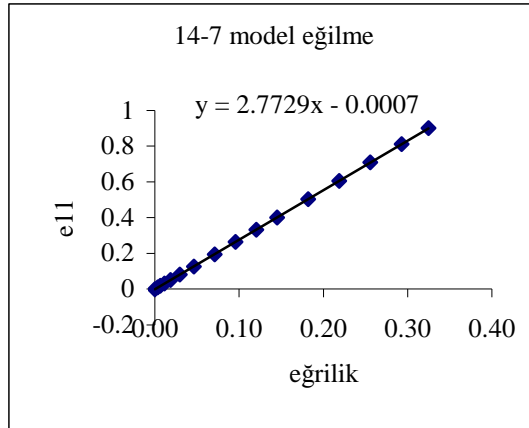
Şekil 4.54 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (14-7 birim hücre modeli)

#### 4.1.12 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (14-7 Birim Hücreli Model)



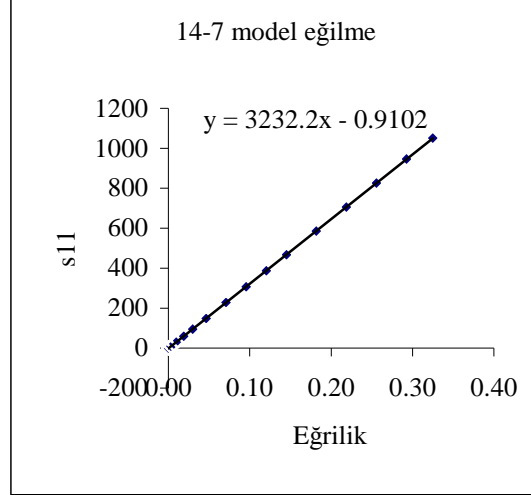
Şekil 4.55 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyinde gerilme sonuç ekranı (14-7 hücre)

14-7 birim hücreli basit dokumalı kompozit modele şekil 4.55’de görüldüğü gibi eğilme deneyi uygulandığında gerilme değerinin 15. adımda  $1054 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülmektedir. Bu değer 10-7 birim hücre modeliyle aynıdır.



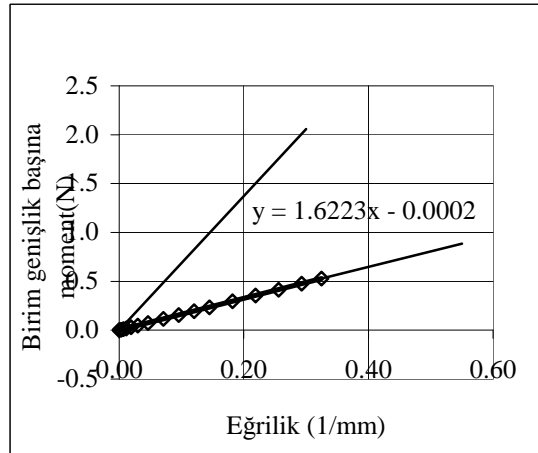
Şekil 4.56 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (14-7 hücreli)

Eğilme deneyine göre birim uzama-eğrilik değerleri karşılaştırılacak olduğunda doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir.Şekil 4.56’da gözlemlenebileceği gibi e11 değeri 0-1 arasında , eğrilik değeri ise 0-0,4 arasındadır. Eğrilik değerleri de 10<sup>-7</sup> birim hücre modeli ile aynı olduğu için tablo inceleme sonuçları aynı çıkacaktır.



Şekil 4.57 Basit dokumalı modelde gerilme- eğrilik grafiği (14-7 hücreli)

Model için çizilen grafiklerden şekil 4.56 için söylendiği gibi şekil 4.57 için de aynı durum söz konusudur. Gerilme ve eğrilik değerleri 10<sup>-7</sup> birim hücre modeline göre aynı olduğu için sonuç da aynı çıkmıştır.



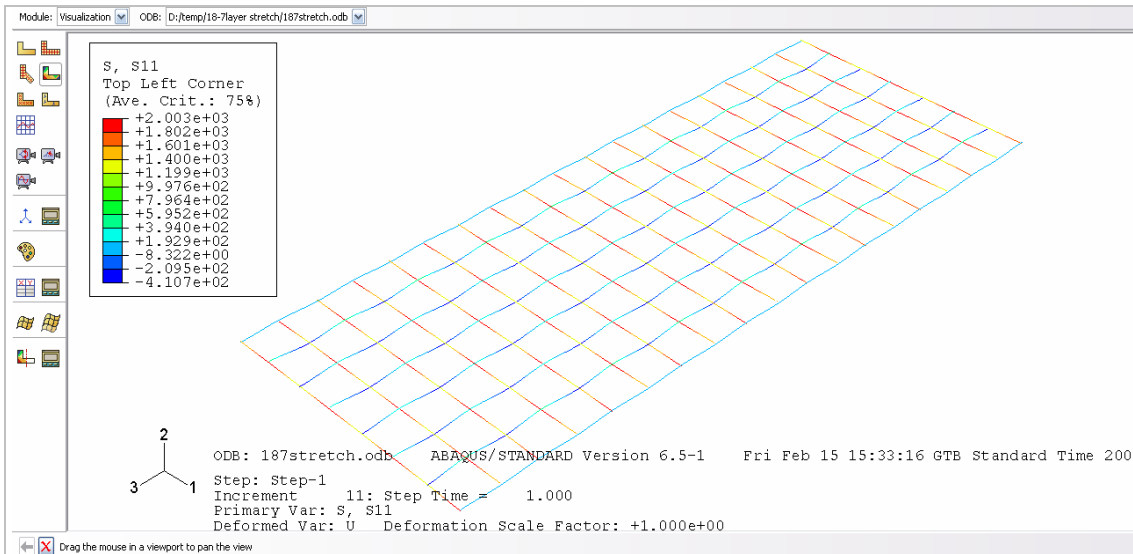
Şekil 4.58 Basit dokumalı kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (14-7 hücreli)



Basit dokumalı 14-7 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.58’de görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerleri karşılaştırıldığında , birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,6 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,4 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6223 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 14-7 modelinde D11 değerleri aynıdır.

#### 4.1.13 Basit Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (18-7 Birim Hücre Modeli)

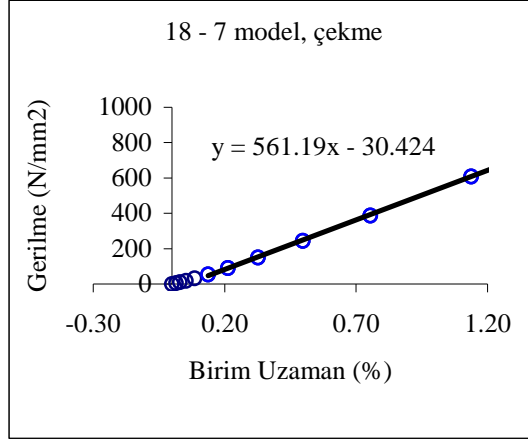
Basit dokumalı kompozit modelin 18-7 hücreli yapıda oluşumu b değeri değiştirerek yapılır. Buna göre b değeri değişken olup  $19 * 1,375 = 26,1250$  olmaktadır. Alan ise  $2,8738 \text{ mm}^2$  olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 4.59 Basit dokumalı kompozit model çekme deneyi gerilme değerleri ekranı (18-7 hücreil)

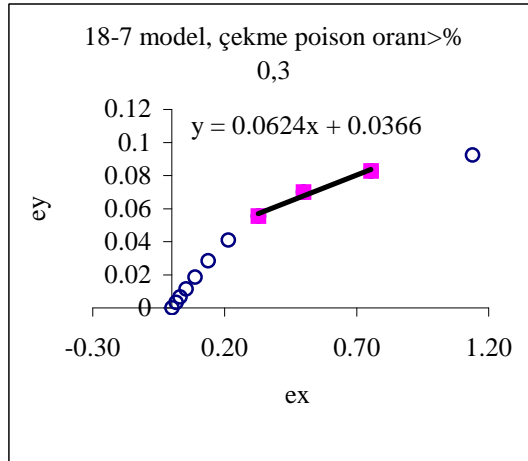
Basit dokumalı kompozit modeli 18-7 hücreli olacak şekilde modellendiğinde gerilme değerlerinin şekil 4.59’da görüldüğü gibi 11. adımda 2003 değerine ulaştığını görülmektedir. Çekme deneyi sonucu elde edilen bu değer diğer modellere göre kısmen değişiklik gösterdiği görülmektedir. Modelde boyuna doğrultuda alttan

birleşme noktalarında gerilmenin yüksek olduğu gözlemlenir. Birim uzama değerleri incelenecek olduğunda değerlerin diğer modellemelerden farklı olmadığı görülmektedir. Birim uzama – gerilme değerleri karşılaştırması sonucu şekil 4.60’da görüldüğü gibi elastik modülü değeri bakımından değerde çok fazla bir değer değişikliği görülmemektedir.



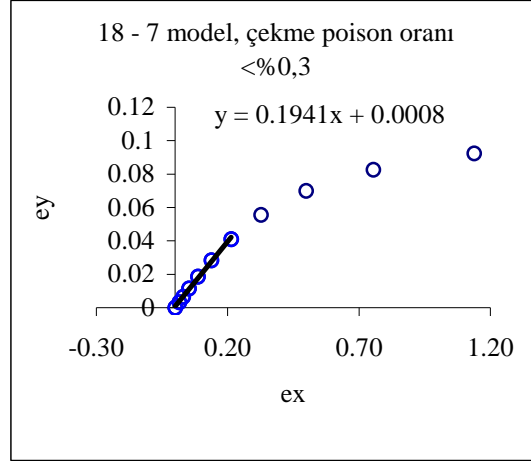
Şekil 4.60 Basit dokumalı modelde  $E_c$  değeri hesap grafiği (18-7 birim hücre modeli)

Basit dokumalı kompozit modelin 18-7 hücreli şekildeki biçimlendirmesinde  $e_y$  değerlerinin %0,2 ye kadar doğrusal şekillendiği görülmektedir. Şekil 4.61’de  $e_y$  değerlerinin 0-0,1 arasında,  $e_x$  değerlerinin 0-1,2 arasında değiştiği görülür.



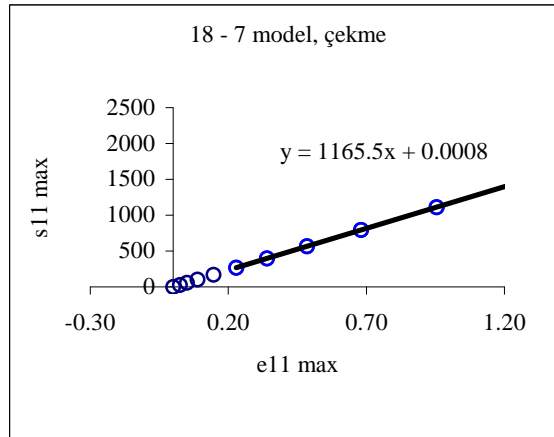
Şekil 4.61 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı (18-7 hücreli)

18-7 birim hücre modeli için poisson oranları değişiklik göstermektedir. Şekil 4.62'e bakıldığında %0,3'te büyük kısımda poisson oranı 0,0624 iken , %0,3'te küçük kısımda poisson oranı 0,1941'dir. Bu değerler yine U değerlerinin boya bağlı değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır. U değeri değiştikçe ex ve ey değerleri de değişmektedir.



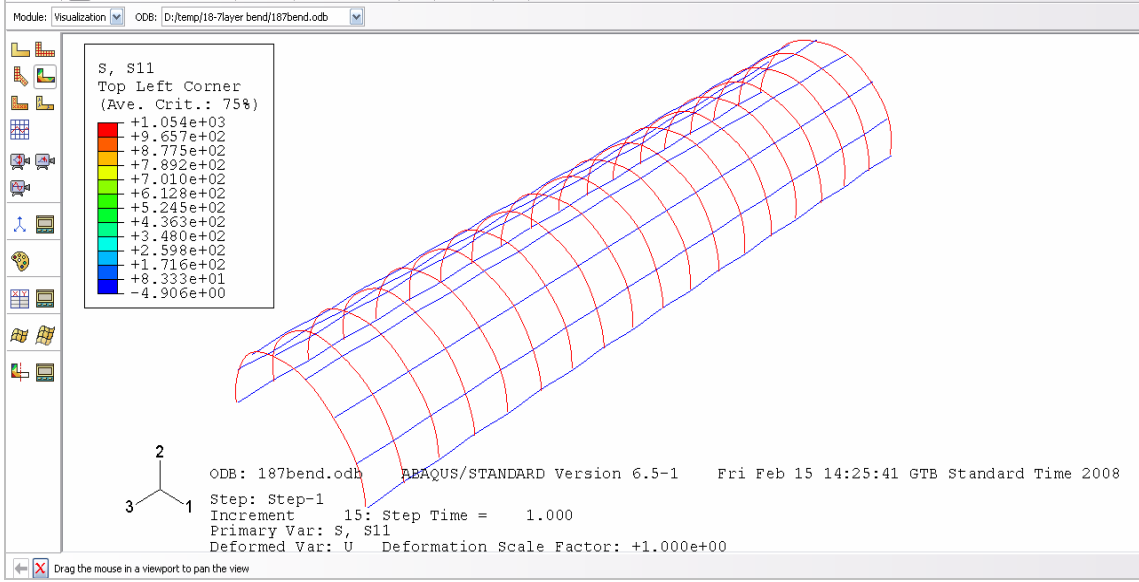
Şekil 4.62 Basit dokumalı modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı (18-7 hücreli)

Diğer modellemelerde olduğu gibi gerilme ve birim uzama değerlerinde çok fazla bir değişiklik olmadığından diğer modellemelerde olduğu gibi değerler aynı ve değerler arası ilişki doğrusaldır.



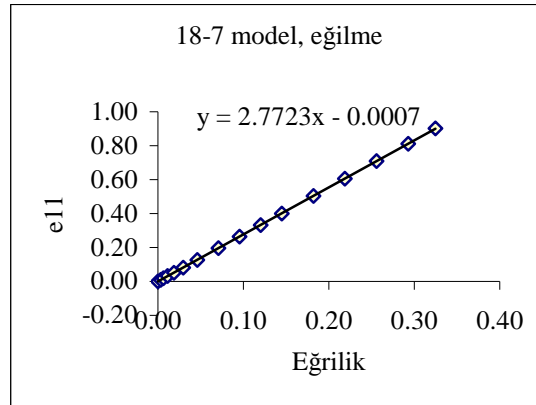
Şekil 4.63 Basit dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (18-7 birim hücre modeli)

#### 4.1.14 Basit Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (18-7 Birim Hücre Modeli)



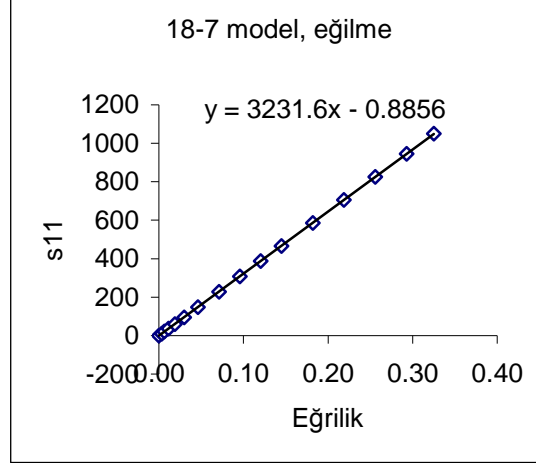
Şekil 4.64 Basit dokumalı kompozit modelde eğilme deneyi gerilme sonuç ekranı (18-7 model birim hücreli )

Bütün enine uzatma yapılan modellerde olduğu gibi 18-7 birim hücre modelin de gerilme ve birim uzama değerleri aynı çıkmıştır. Buna göre işlemlerde enine uzamanın etkisiz bir olduğunu gözlemlenmiş olunur. Şekil 4.64'te gözlemlendiği gibi eğilmeye maruz kalmış modelin 15. adımdaki gerilme değeri 1054 olarak diğer modellerin değerleriyle aynıdır.



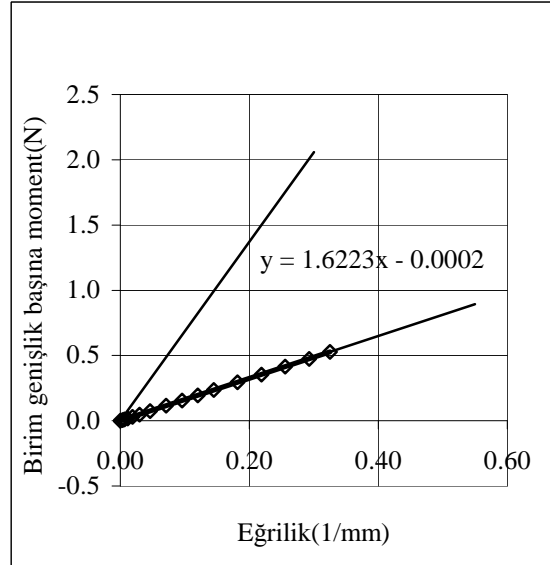
Şekil 4.65 Basit dokumalı kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (18-7 hücreli)

Eğrilik, gerilme ve birim uzama değerleri diğer modellerle aynı değerlere sahip olduğu için şekil 4.65 ve 4.66'daki grafikler diğer model grafikleriyle aynı değere sahiplerdir.



Şekil 4.66 Basit dokumalı modelde gerilme- eğrilik grafiği (18-7 hücreli)

Aşağıda verilen şekil 4.67'de moment –eğrilik grafiğinde klasik laminant teorisi ile sonlu elemanlar metodu arasındaki farkın 6-11 birim hücre modelinde olduğu gibi aynı oranda fark gösterdiğini gözlemlemek mümkün. Sonlu elemanlar metodunda moment 0-0,6 arasında değişirken, klasik teoride 0-2 arasında değişiklik göstermektedir. Klasik teoride bulunan değer yine çok büyük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.67 Basit dokumalı kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (18-7 hücreli)

Basit dokumalı 18-7 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.67’de görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerlerini karşılaştırıldığında , birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,6 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,4 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6223 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 18-7 modelinde değerler aynıdır.

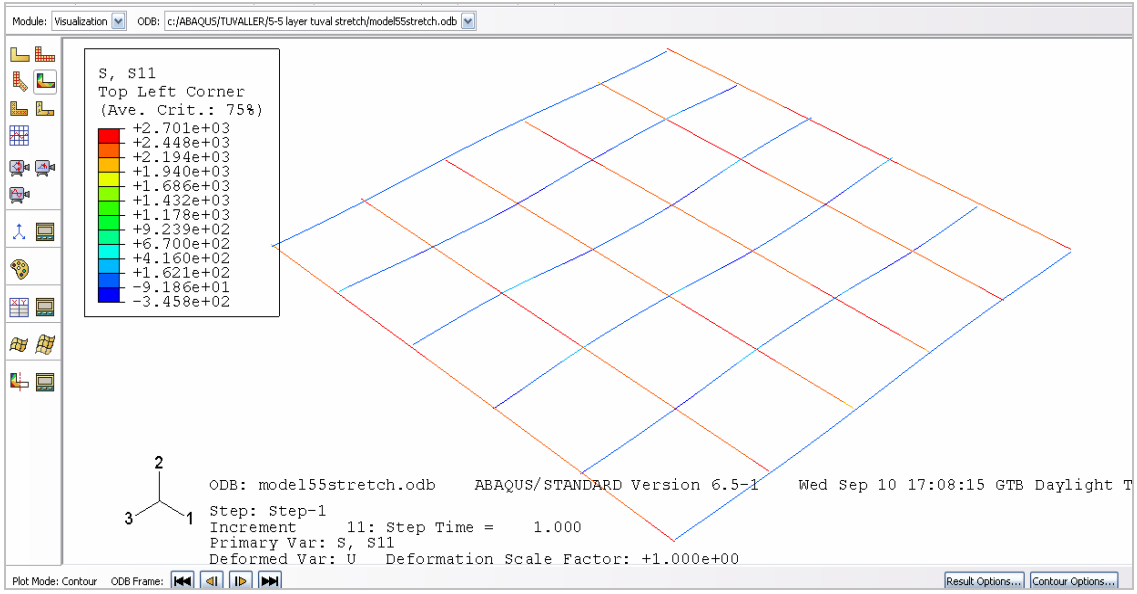
## **4.2 Farklı Büyüklüklere Sahip Tuval Dokumalı Kompozit Modeller**

### **4.2.1 Tuval Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (5-5 Birim Hücre Modeli)**

Bu kısımdan sonra dokuma şekli basit dokumadan tuval dokumaya geçiş olacaktır. Modelin nasıl oluşturulduğu bir önceki bölümde anlatılmıştı. Bu kısımda ise modelleme yapıldıktan sonraki değerlerin hesaplamalarını ele almak olacaktır. Tuval dokuma modeli oluştururken lineerliği sağlamak zor olduğu için , kısmen sonuç alabilmek adına model 5-5 ,5-10, 5-15 ve 5-20 ölçülerinde hücrelere ayrıldı.

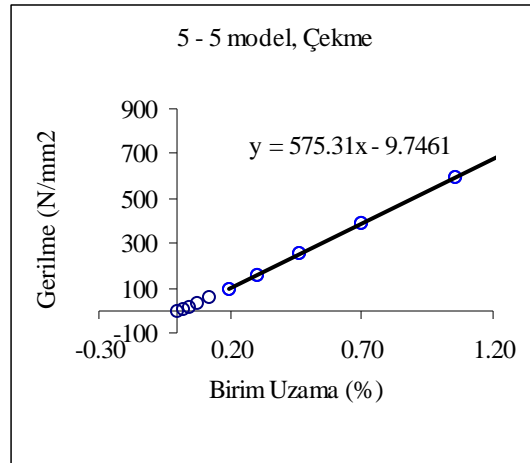
Buna göre ilk hücre modeli olan 5-5 üzerinde çekme deneyi sonucu elde edilen değerleri incelenecek olunursa şekil 4.68’de görüldüğü gibi 11. adımda gerilme değerinin  $2701 \text{ N/mm}^2$  olduğunu görülmektedir. Lineer olmayan bir modelde çekme deneyi sonuçlarını incelemek zor olmasa da bunun eğilme değeri için aynı olduğu söylenemez. Şekli oluştururken L değeri,  $5 \cdot 1,375 = 6,875$  mm olarak, b ise  $6 \cdot 1,375 = 8,25$  mm olarak hesaplandı. Toplam alan ise  $0,9075$  mm<sup>2</sup> olarak hesaplandı.

Tuval dokumalı kompozit modelin 5-5 hücreli modelinde gerilme değerlerinin şekil 4.68’de görüldüğü gibi boyuna doğrultuda alttan birleşme noktalarında daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Tuval dokumada basit dokumaya göre değişiklik gösteren kısım modelin 2 alttan 2 üstten kirişlerin birbirine bağlanarak oluşturulması sonucu modellenmiştir. Buna göre koyu kırmızı olan yerleri modelde yan yana farklı kirişlerin alttan bağlantı noktasında olduğu gözlemlenmektedir.



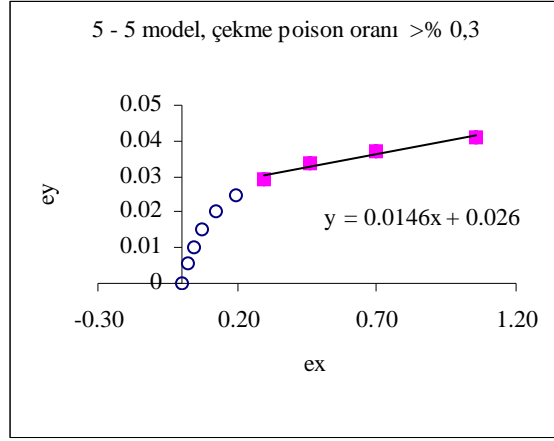
Şekil 4.68 Tuval dokuma kompozit modelde çekme gerilme değerleri ekranı (5-5 hücreli)

Basit dokumalı modele göre tuval dokumalı modelde gerilme ve birim uzama değerleri yaklaşık  $800 \text{ N/mm}^2$  daha büyük çıkmaktadır. Model farklı şekillerde dokunduğunda modelde gerilmelerin arttığı gözlemlenmektedir.



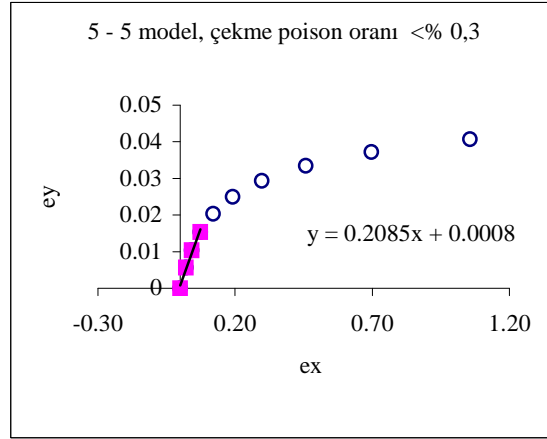
Şekil 4.69 Tuval dokuma kompozit modelde  $E_c$  değeri grafiği (5-5 Hücreli)

Modelin elastik modülünü bulmak için değerlendirmeye alınan gerilme ve birim uzama değerlerini incelenecek olunursa, gerilme değerlerinin 0-700 arası, birim uzama değerlerinin ise 0-1,2 arasında olduğu gözlemlenmektedir. Buna göre şekil 4.69'da görülebileceği gibi elastik modülü  $57531 \text{ N/mm}^2$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.70 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'den büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-5 hücreli)

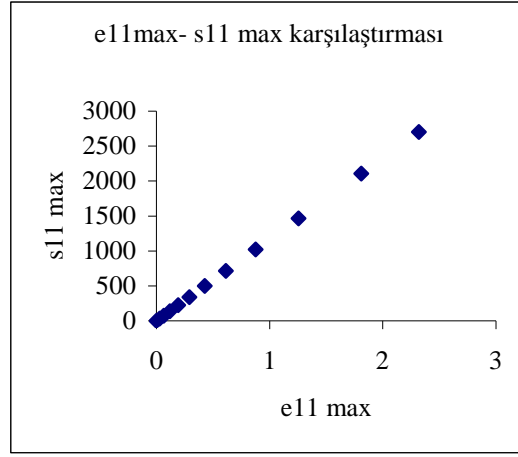
Tuval dokuma kompozit modelde poisson oranlarını incelerken modelin grafiğinde doğrusallığı yakalamak için grafiği yine %0,3'ten büyük ve küçük kısmı olmak üzere 2 kısımda incelendi. 5-5 birim hücre tuval dokumalı modelde şekil 4.70'e göre ey değerlerinin 0-0,04 arasında ex değerlerinin ise 0-1,2 değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir. Modelin ex-ey grafiğini incelendiğinde % 0,3'ten büyük kısımda poisson oranı 0,0146 olduğunu, %0,3'ten küçük kısımda ise 0,2085 olduğu görülür.



Şekil 4.71 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,2 'den küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-5 hücreli)

Gerilme ve birim uzama değerleri karşılaştırıldığında aralarında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir.





Şekil 4.72 Tuval dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (5-5 birim hücre modeli)

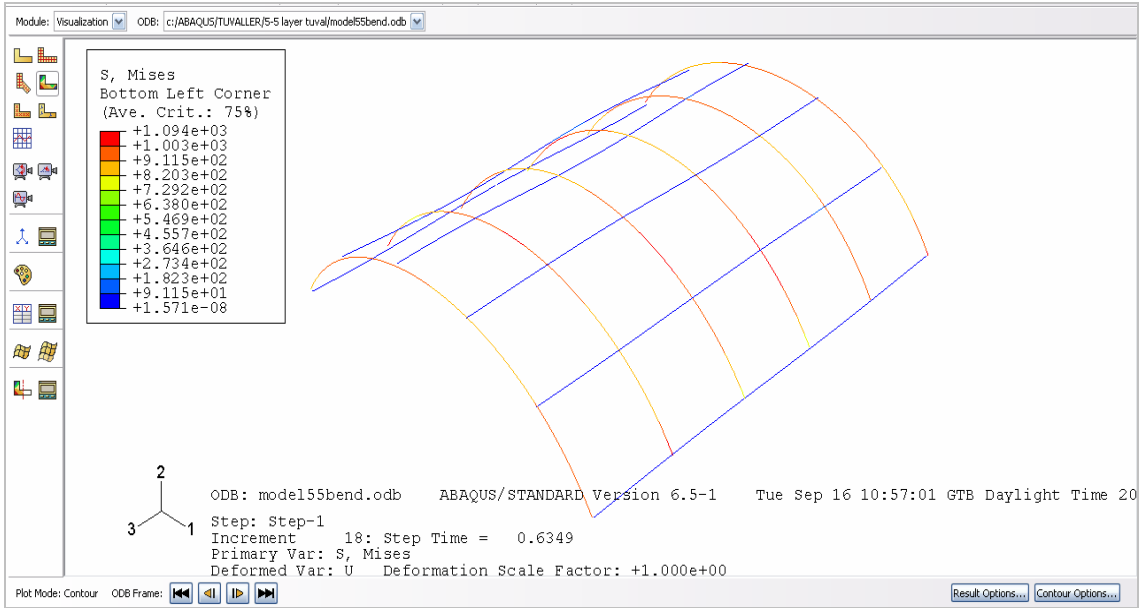
Şekil 4.72'yi incelendiğinde s11max değerlerinin 0-2700 arasında, e11 max değerlerinin ise 0-2,5 değerleri arasında olduğu görülür. Bu değerler basit dokumalı kompozit modeldeki değerlere göre artış göstermektedir. Basit dokumalı kompozit modelde en yüksek gerilme değeri 2000 iken model dokuma şekli değişince bu değer 2700 civarında olmuştur. Birim uzama değerleri incelendiğinde basit dokumalı modelde en yüksek 1,5 olan bu değer tuval dokumalı kompozitte 2,28'e ulaşmıştır. Bu da model yapısını değiştirmenin gerilmelere olan etkisini göstermiş olmaktadır.

#### 4.2.2 Tuval Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (5-5 Birim Hücre Modeli)

Tuval dokuma kompozit model , eğilme deneyinde şekil 4.74'ü incelendiğinde 18. adımda step time'ın bire ulaşmadığını ancak 0,6349'a ulaşıp çözümü sonlandırdığı görülmektedir. İncelemelerde gerilme değerinin 18. adımda 1094'e ulaştığını görülmektedir. Basit dokumalı kompozit modelde, eğilme deneyi sonucu gerilme değeri maksimum 1050 iken 5-5 birim hücreli tuval dokumalı modelde bu değer yaklaşık aynı çıkıyor. Aynı step time'da basit modelde gerilme değeri 706 iken aynı adımda tuval dokumalı modelde 1094 olmaktadır. Arada bir miktar fark bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu karşılaştırmaları 5-5 tuval dokuma ve 6-7 basit dokumalı model için yaptığı düşünülürse , en küçük boyutta şekillendirilen modellerde en yüksek gerilme ve birim uzama değerleri görüldüğü için bu modeller arasında karşılaştırma

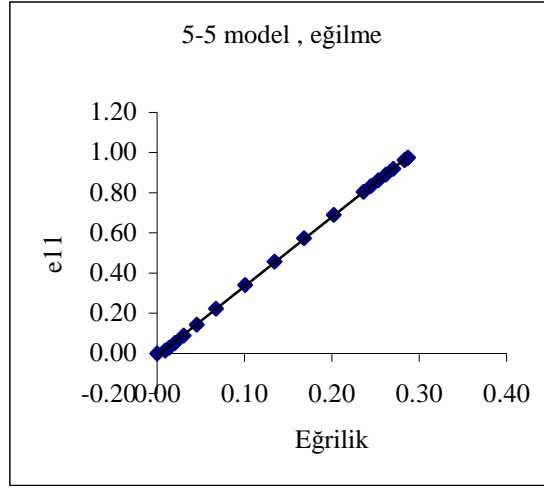
yapıldığı söylenebilir. Aynı step time'da karşılaştırma yapıldığı değerlerin tuval dokumalı kompozit modelde daha yüksek olduğu bir önceki çekme deneyinde karşılaştırılan duruma uygun olduğu gözlemlenmektedir. Yani çekme deneyinde tuval dokumalı modelde gerilme ve birim uzama değerlerinin daha büyük çıktığı gibi, eğilme deneyi sonucunda da tuval dokuma modelin aynı step time'a göre karşılaştırılmasında gerilme ve birim uzam değerleri de daha büyük olmaktadır.

Model ekranı incelendiğinde, tuval dokumalı modelin henüz tam olarak eğildiği söylenemez. Modelde lineerlik yakalama adına 5-5 ölçülerinde hücrelendirme yapılmasına karşılık tam sonuçlar alınamasa da gerilme ekranında en fazla gerilmenin boyuna doğrultuda olduğunu ve üstten birleşme noktalarında gerilmenin daha etkili olduğu görülmektedir. Sarı olarak görülen kısımlarda gerilmeler yaklaşık 100 birim daha düşüktür.

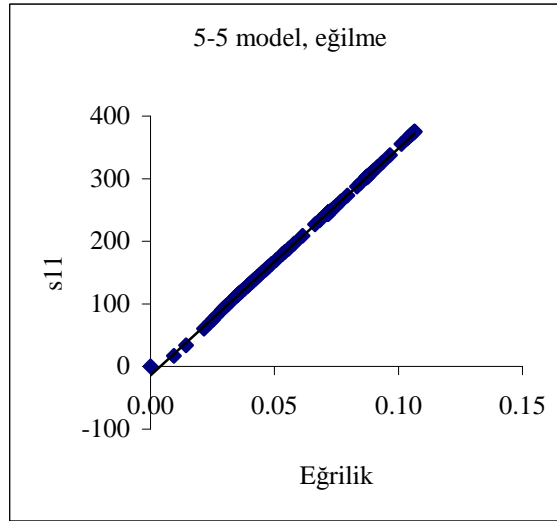


Şekil 4.73 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme değerleri (5-5 hücreli)

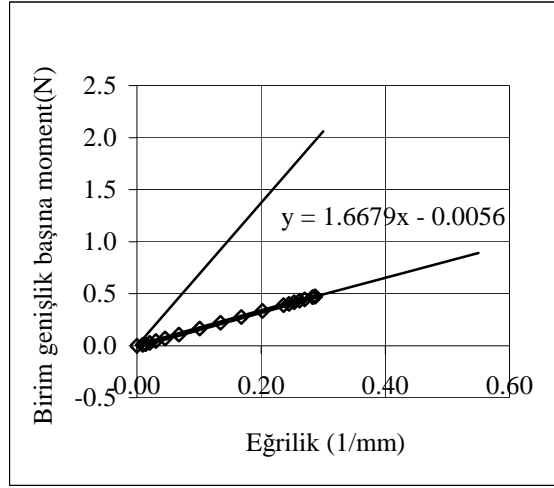
Eğilme deneyinde önemli incelemelerden bir diğeri eğrilik ve gerilme – birim uzama değerlerinin karşılaştırmasıdır. Buna göre 5-5 hücreli tuval dokumalı modelde birim uzama – eğrilik değerlerini incelendiğinde, eğrilik değerlerinin şekil 4.74'te görüldüğü gibi 0-0,3 arasında, birim uzama değerlerinin ise 0-1 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Aralarında doğrusal bir ilişki vardır.



Şekil 4.74 Tuval dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (5-5 hücreli)  
Gerilme- eğrilik değerleri incelendiğinde şekil 4.75'e bakıldığında gerilme değerlerinin 0-400 arasında değiştiği görülmektedir. Aralarında doğrusal ilişki olduğu da sonuçların normal değerler olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.75 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (5-5 hücreli)  
Yukarıda verilen grafiklerin eğrilik derecesi değerlerini aynı step time'da basit dokumalı kompozit modele göre incelendiğinde aynı zamanlarda basit dokumalı modelde eğrilik 0,06 iken tuval dokumalı modelde 0,975 olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.76 Tuval dokuma kompozit modelde moment- eğrilik grafiği (5-5 hücreli)

Tuval dokumalı 5-5 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.76'da görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerleri karşılaştırıldığında, birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,5 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,3 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6679 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir.

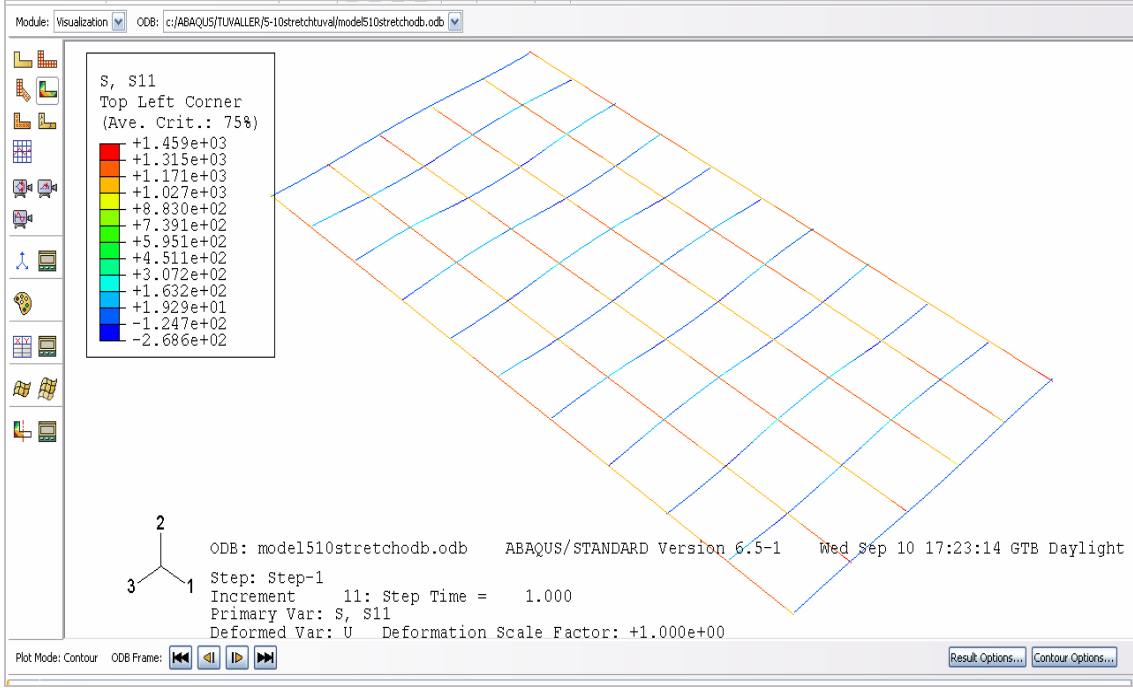
Bu değer bir önceki modellere göre 5-5 modelinde kısmen büyük çıkmıştır. Basit dokumalı modele göre malzemenin D11 eğrilik değerlerinin tuval dokumalı modelde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.2.3 Tuval Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (5-10 Birim Hücre Modeli)

Tuval dokumalı kompoziti boyuna doğrultuda uzatıp 5-10 birim hücre modelini oluştururken L değerini  $10 \cdot 1.375 = 13,75$  mm olarak, b ise  $6 \cdot 1.375 = 8,25$  olarak hesaplandı.

Tuval dokumalı kompozit modelin 5-10 hücreli modelinde gerilme değerlerinin şekil 4.77'de görüldüğü gibi boyuna doğrultuda bir alttan bir de üstten birleşme noktalarında daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Buna göre koyu kırmızı olan yerleri modelde yan yana farklı kirişlerin bir alttan bir üstten olan bağlantı noktalarında olduğu gözlemlenmektedir.

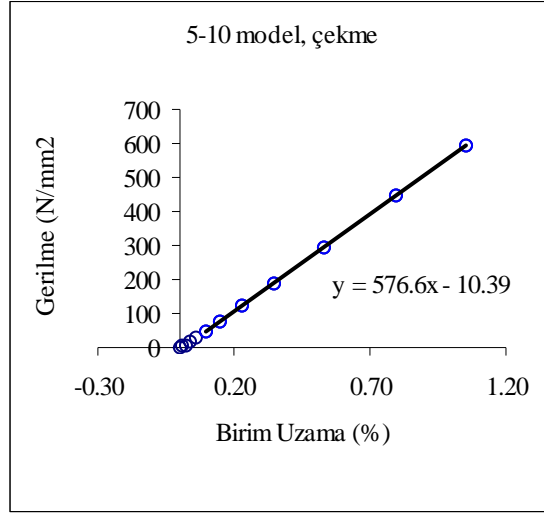


Şekil 4.77 Tuval dokuma kompozit modelde çekme deneyi gerilme sonuç ekranı (5-10 hücreli)

11. adımda step time 1 iken gerilme değerinin 1459 olduğu görülmektedir. 5-5 birim hücre modeline göre karşılaştırıldığında gerilmenin 2653 değerinden 1459'a düştüğü görülmektedir. Modeli boy olarak büyütüldüğünde gerilme değerlerinin azaldığı, bu azalışın yaklaşık yarısı kadar bir azalış olduğu hesaplanmaktadır.

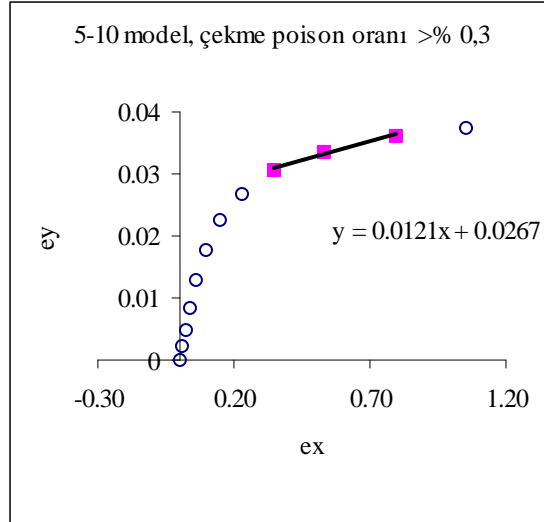
Gerilme – birim uzama değerlerini karşılaştırarak hesaplanılan elastik modülü değeri şekil 4.78'de görüldüğü gibi  $57660 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Gerilme değerleri 0-600 arası, birim uzama değerleri ise 0-1,2 arası değişmektedir.

Değerlerin 5-5 birim hücre modeline göre arttığı gözlemlenmektedir. Bu artış diğer hesaplamalara da yansıyan bir artış olacaktır. Bu artışın elastik modülü, poisson oranı ve D11 üzerinde etkileri artış veya azalış olarak ilerleyen hesaplamalarda inceleme altına alınacaktır.



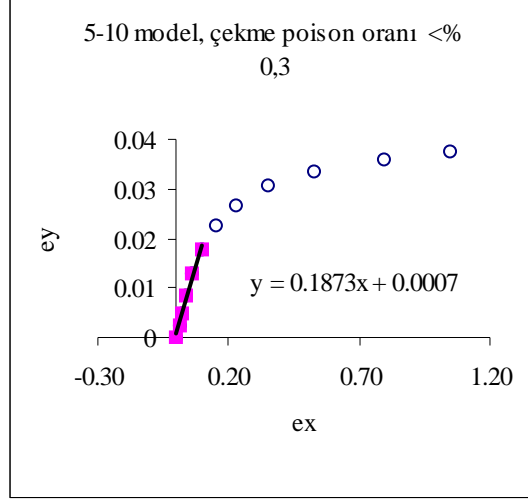
Şekil 4.78 Tuval dokuma kompozit modelde  $E_c$  değeri grafiği (5-10 Hücreli)

5-5 birim hücre tuval dokumalı modelde şekil 4.79'a göre  $e_y$  değerlerinin 0-0,04 arasında  $e_x$  değerlerinin ise 0-1,2 değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir. Bu değerlerin  $U$  değerlerine yani yer değiştirmeye bağlı olduğunu düşünülecek olunursa model boyutları büyüdükçe yer değiştirmenin de azaldığını ve buna bağlı olarak  $e_x$  ve  $e_y$  değerlerinin de azaldığı görülmektedir.



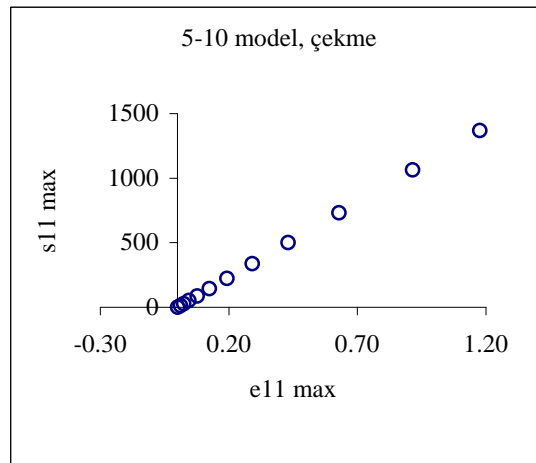
Şekil 4.79 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-10 hücreli)

Modelin ex-ey grafiği incelendiğinde % 0,3'ten büyük kısımda poisson oranı 0,0121 olduğunu, %0,3'ten kk kısımda ise 0,1873 olduğu görülür. Poisson oranları 5-5 birim hücre modeline göre kısmen azalma göstermiştir.



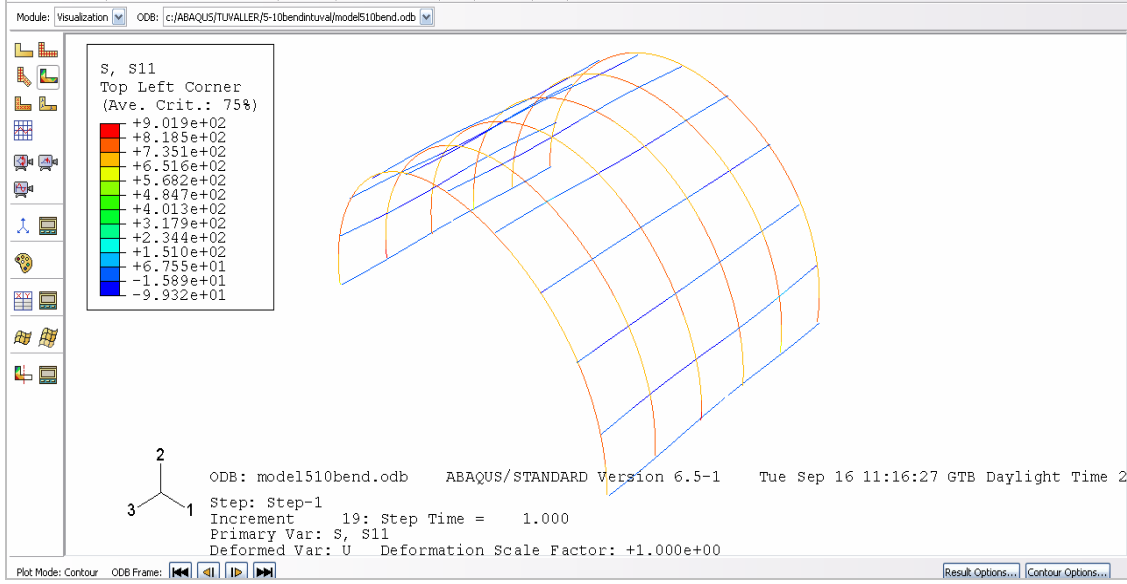
şekil 4.80 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten kk kısımda için poisson oranı hesap grafiği (5-10 hücreli)

Gerilme ve birim uzama değerleri karşılaştırıldığında aralarında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. şekil 4.81 incelendiğinde s11max değerlerinin 0-1500 arasında, e11 max değerlerinin ise 0-1,2 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Modeldeki değerler 5-5 birim hücre modeline göre daha az değerdedir.



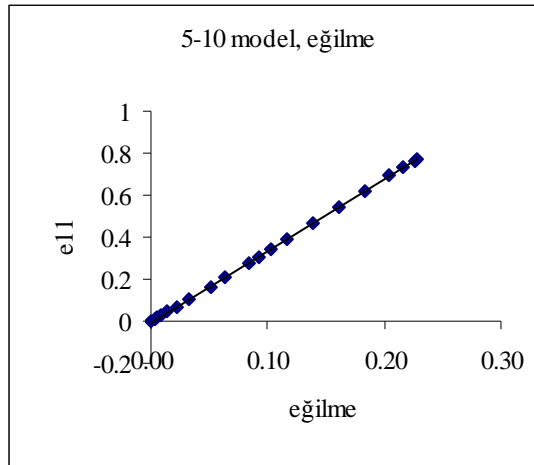
şekil 4.81 Tuval dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (5-10 birim hücre modeli)

#### 4.2.4 Tuval Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (5-10 Birim Hücre Modeli)



Şekil 4.82 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme değerleri (5-10 hücreli)

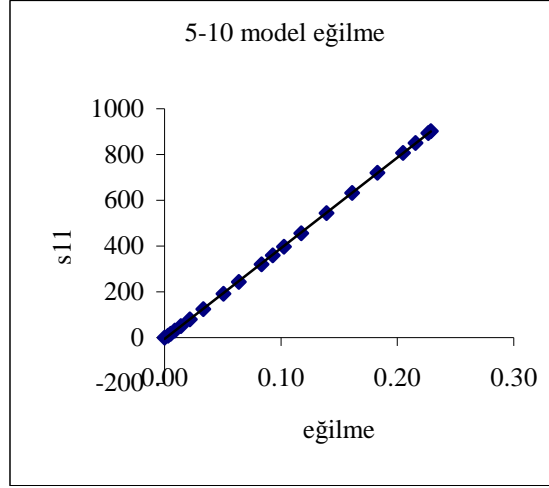
Tuval dokumalı modelin eğilme deneyinde 5-10 birim hücre modeli sonlu elemanlar metoduna göre 19. adımda çözüme ulaşmıştır. Gerilmelerin boyuna doğrultuda daha fazla olduğu şekil 4.82’de görülmektedir. Şekil 4.82 incelendiğinde 19. adımda gerilme değerinin  $901,9 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülmektedir. Bir önceki model olan 5-5 birim hücre modelinde  $1136,69 \text{ N/mm}^2$  olan bu değer 901’e düştüğü gözlemlenir.



Şekil 4.83 Tuval dokuma kompozit modelde birim uzama - eğrilik grafiği (5-10 hücre)

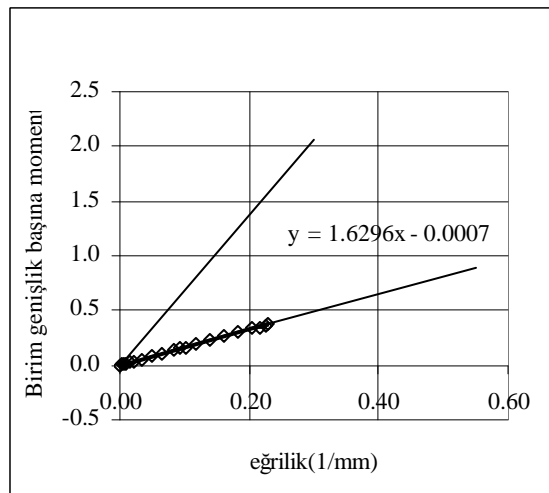


Tuval dokumalı model eğilmeye maruz kaldığında belli bir eğrilik derecesinde gerilme ve birim uzamalara maruz kalmaktadır. Bunların aralarındaki ilişkiyi incelemek için şekil 4.83'e bakıldığında  $\epsilon_{11}$  yani birim uzama değerlerinin 0-0,8 arasında, eğriliğin ise 0-0,3 arasında değiştiği gözlemlenir. Bu değerlerle grafik oluşturulduğunda aralarında doğrusal bir ilişki olduğu görülür.



Şekil 4.84 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme - eğrilik grafiği (5-10 hücre)

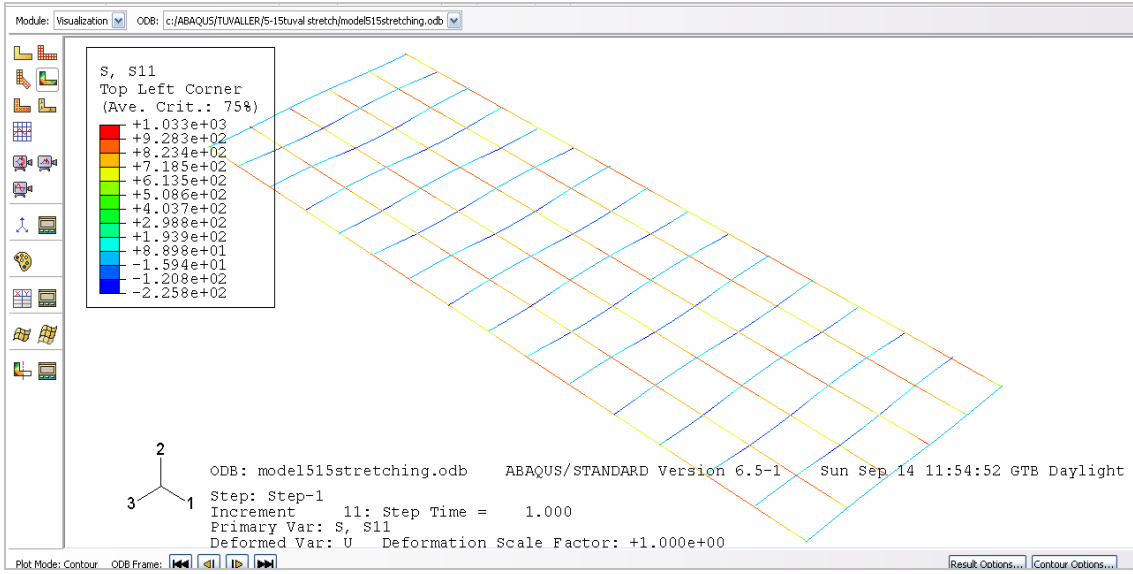
Modelde gerilme- eğrilik grafiğini şekil 4.84'e bakarak incelendiğinde ,  $\epsilon_{11}$  yani gerilme değerlerinin 0-800 arası değiştiği görülmektedir. Modelin gerilme değeri diğer modele göre azalmış olsa da eğrilik ile yine doğrusal bir ilişki göstermektedir.



Şekil 4.85 Tuval dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (5-10 hücre)

Tuval dokumalı 5-10 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.85'te görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerlerini karşılaştırıldığında , birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,5 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,3 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek , eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6296 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 5-10 modelinde kısmen küçük çıkmıştır.

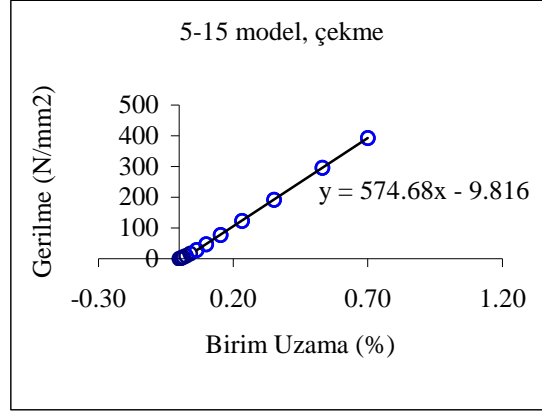
#### 4.2.5 Tuval Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (5-15 Birim Hücre Modeli)



Şekil 4.86 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme sonuç ekranı (5-15 hücreli)

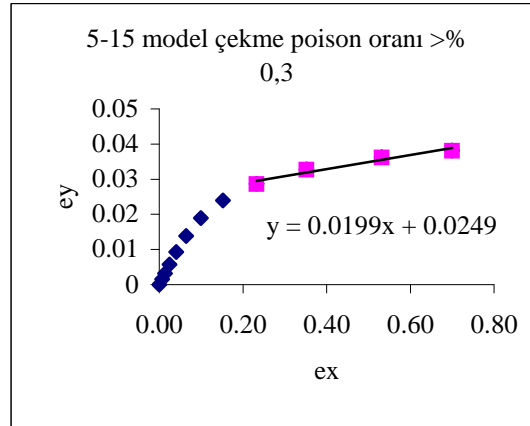
Tuval dokumalı kompoziti boyuna doğrultuda uzatıp 5-15 birim hücre modelini oluştururken L değeri  $15 \times 1,375 = 20,625$  mm olarak hesaplanır. Tuval dokumalı kompozit modelin 5-15 hücreli modelinde gerilme değerlerinin şekil 4.86'da görüldüğü gibi boyuna doğrultuda alttan birleşme noktalarında daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. 11. adımda step time 1 iken gerilme değerinin 1033 olduğu görülmektedir. 5-10 birim hücre modeline göre karşılaştırıldığında gerilmenin 1369 değerinden 1033'e düştüğü görülmektedir. Model boyuna genişletildiğinde gerilme değerlerinin yine azaldığı gözlemlenir.

Gerilme – birim uzama değerlerini karşılaştırarak hesaplanılan elastik modülü değeri, şekil 4.87’de görüldüğü gibi  $57468 \text{ N/mm}^2$ ’dir. Gerilme değerleri 0-400 arası, birim uzama değerleri ise 0-0,7 arası değişmektedir. Değerlerin 5-10 birim hücre modeline göre azaldığı gözlemlenmektedir. Yine model uzadıkça deneyler sonucu elde edilen gerilme ve birim uzama değerlerinde azalma görülmektedir.



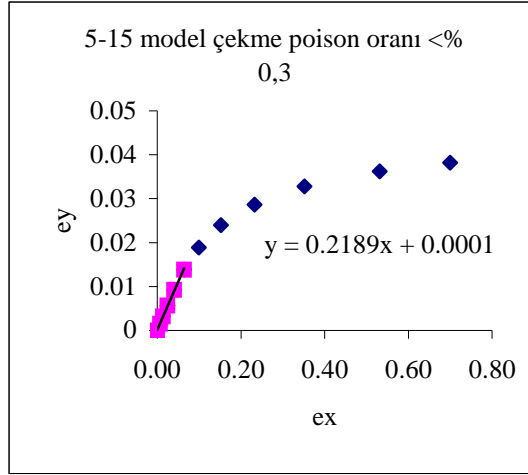
Şekil 4.87 Tuval dokuma kompozit modelde  $E_c$  değeri grafiği (5-15 Hücreli)

5-15 birim hücre tuval dokumalı modelde şekil 4.88’e göre  $e_y$  değerlerinin 0-0,04 arasında  $e_x$  değerlerinin ise 0-1,2 değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir.



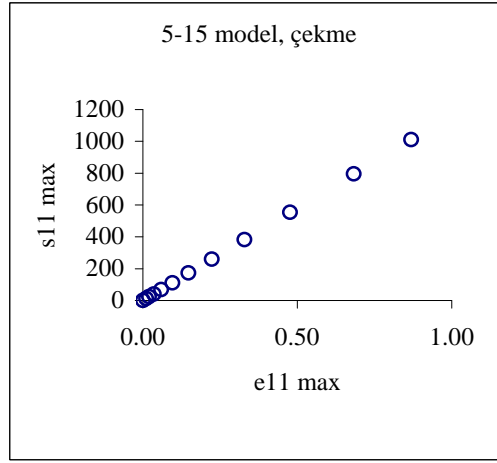
Şekil 4.88 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-15 hücreli)

5-15 birim hücre modelinin şekil 4.88 ve 4.89’a göre  $e_x$ - $e_y$  grafiği incelendiğinde % 0,3’ten büyük kısımda poisson oranı 0,0199 olduğunu, %0,3’ten küçük kısımda ise 0,2189 olduğu görülmektedir. Bir önceki modellere göre değerler artmıştır.



Şekil 4.89 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (5-15 hücreli)

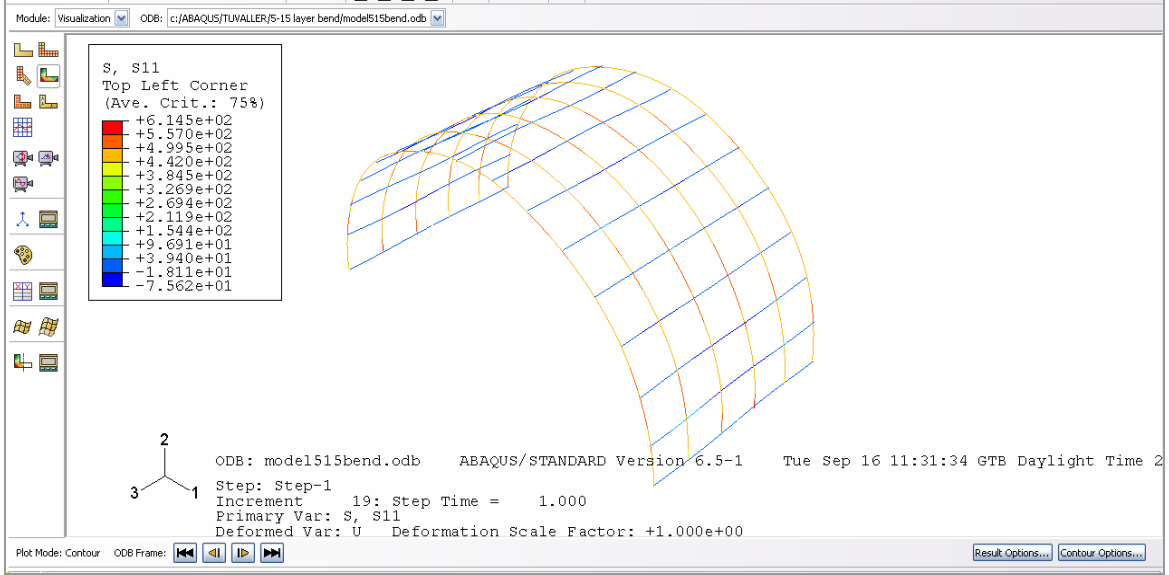
5-15 birim hücre modeli tuval dokuma kompozitin de gerilme ve birim uzama değerleri karşılaştırıldığında aralarında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.90 Tuval dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (5-15 birim hücre modeli)

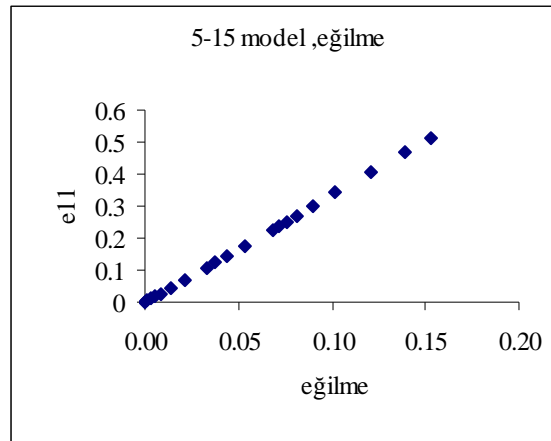
Şekil 4.90'ı incelendiğinde s11max değerlerinin 0-1000 arasında, e11 max değerlerinin ise 0-1 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Modeldeki değerler 5-10 birim hücre modeline göre daha az değerdedir. Gerilmeler ve birim uzamalar model uzadıkça azalma göstermektedir.

#### 4.2.6 Tuval Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (5-15 Birim Hücre Modeli)



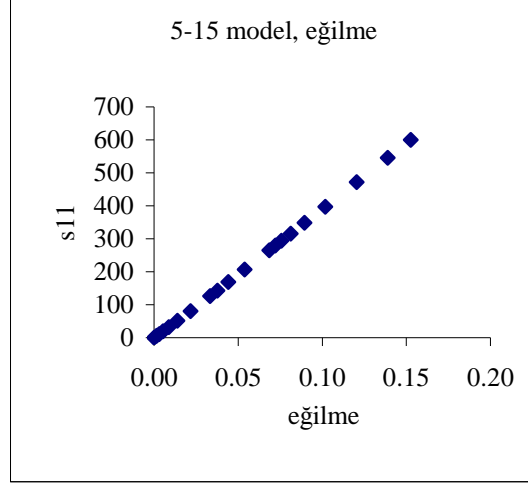
Şekil 4.91 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme sonuç ekranı (5-15 hücreli)

Yukarıdaki şekil 4.91 incelendiğinde gerilme değerinin 19. adımda  $614,5 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülmektedir. Bir önceki model olan 5-10 birim hücre modelinde 901 civarında olan bu değer 5-15 birim hücre modelinde azalma göstermektedir. Bir önceki modele göre değerler azalmıştır.



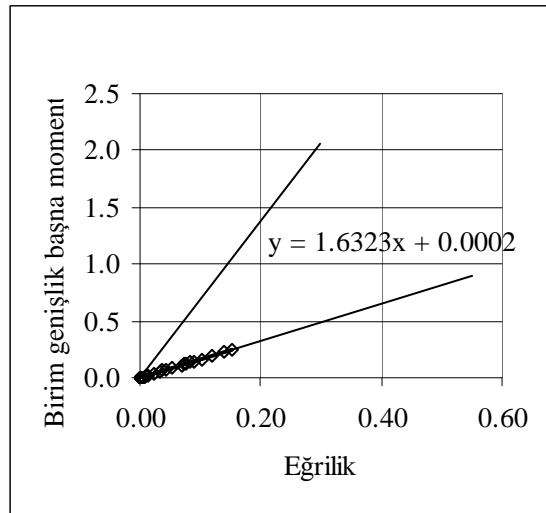
Şekil 4.92 Tuval dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (5-15 hücreli)

Tuval dokumalı model eğilmeye maruz kaldığında belli bir eğrilik derecesinde gerilme ve birim uzamalara maruz kalmaktadır. Bunların aralarındaki ilişkiyi incelemek için şekil 4.92'ye bakıldığında  $\epsilon_{11}$  yani birim uzama değerlerinin 0-0,5 arasında, eğriliğin ise 0-0,2 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Bu değerlerle grafik oluşturulduğunda aralarında doğrusal bir ilişki olduğunu görülür.



Şekil 4.93 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (5-15 hücreli)

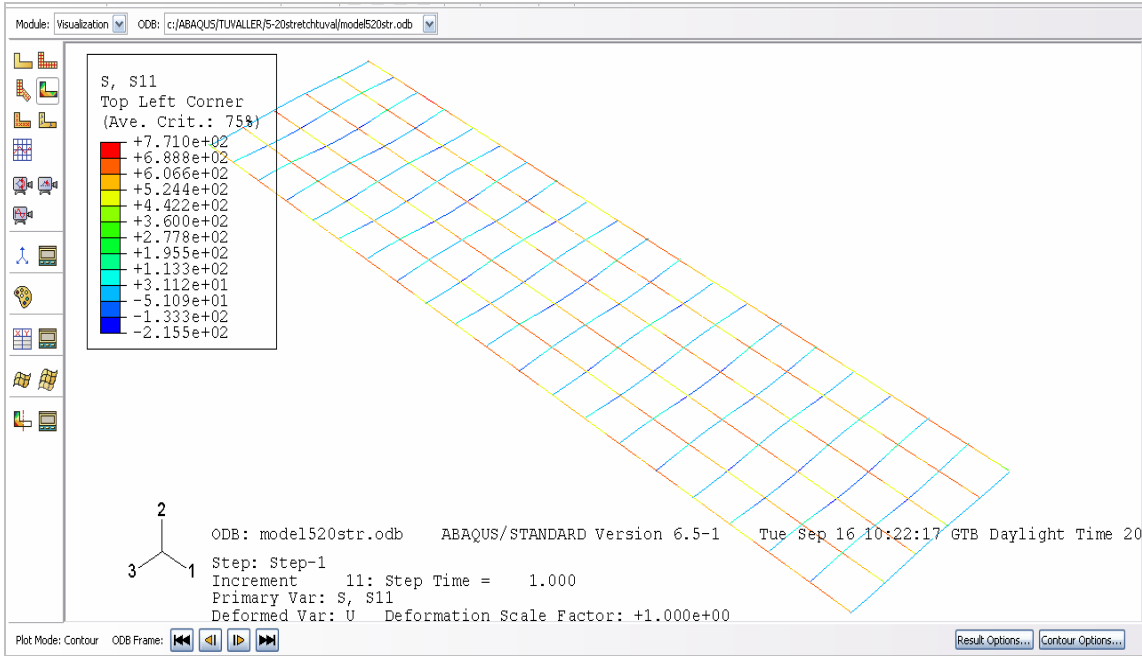
Modelde gerilme- eğrilik grafiğini şekil 4.93'e bakarak incelendiğinde , s11 yani gerilme değerlerinin 0-700 arası değiştiği görülmektedir. Modelin gerilme değeri diğer modele göre azalmış olsa da eğrilik ile yine doğrusal bir ilişki göstermektedir.



Şekil 4.94 Tuval dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (5-15 hücre)

Tuval dokumalı 5-15 birim hücreli kompozit modelde şekil 4.94'te görüldüğü gibi birim genişlik başına moment ve eğrilik değerleri karşılaştırıldığında, birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,5 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,2 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6323 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 5-15 modelinde kısmen büyük çıkmıştır.

#### 4.2.7 Tuval Dokuma Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (5-20 Birim Hücre Modeli)



Şekil 4.95 Tuval dokuma kompozit modelde gerilme değerleri (5-20 hücreli)

Tuval dokumalı kompoziti boyuna doğrultuda uzatıp 5-15 birim hücre modelini oluştururken L değerini  $20 \times 1,375 = 27,5$  mm olarak hesaplanır.

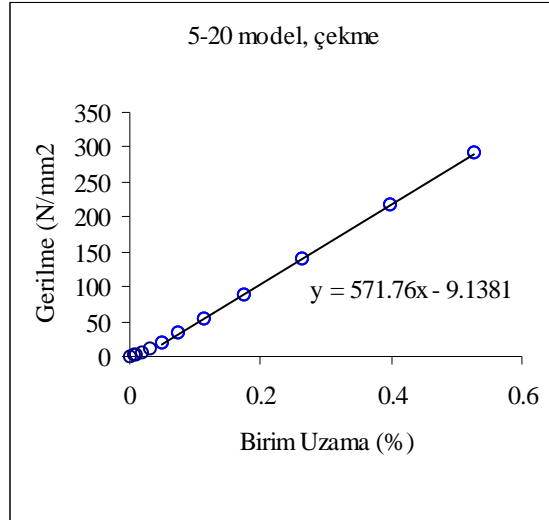
Tuval dokumalı kompozit modelin 5-20 hücreli modelinde gerilme değerlerinin şekil 4.95'te görüldüğü gibi boyuna doğrultuda 1 üst ve 1 alt birleşme noktalarında daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Buna göre koyu kırmızı olan yerleri modelde yan

yana olmayan farklı kirişlerin üstten ve alttan olan bağlantı noktalarında olduğu gözlemlenmektedir.

11. adımda step time 1 iken gerilme değerinin 710 olduğu görülmektedir. 5-10 birim hücre modeline göre karşılaştırıldığında gerilmenin 1011,69 değerinden 710'a düştüğü görülmektedir. Modeli boy olarak büyütüldüğünde gerilme değerlerinin yine azaldığı gözlemlenir.

5-20 birim hücre modelinde gerilme – birim uzama değerlerini karşılaştırarak hesaplanan elastik modülü değeri şekil 4.96'da görüldüğü gibi 57176 N/mm<sup>2</sup>'dir. Gerilme değerleri 0-300 arası, birim uzama değerleri ise 0-0,6 arası değişmektedir.

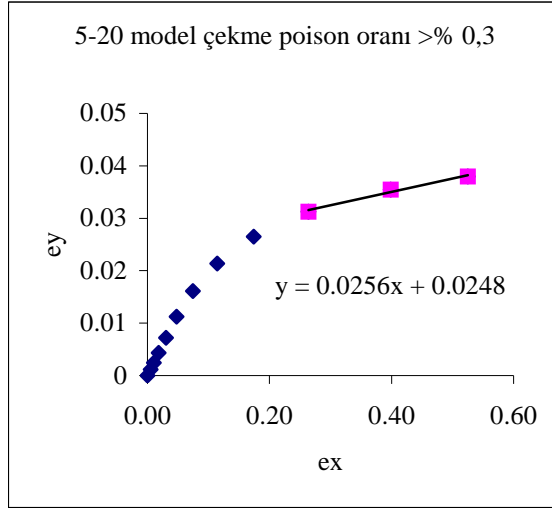
Genel olarak incelendiğinde değerlerin, 5-15 birim hücre modeline göre azaldığı gözlemlenmektedir. Yine model uzadıkça deneyler sonucu elde edilen gerilme ve birim uzama değerlerinde azalma görülmektedir.



Şekil 4.96 Tuval dokuma kompozit modelde  $E_c$  değeri grafiği (5-20 Hücreli)

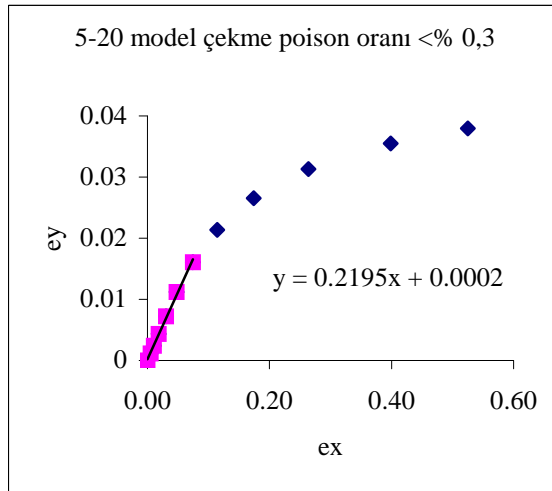
5-20 birim hücre tuval dokumalı modelde şekil 4.97'ye göre  $e_y$  değerlerinin 0-0,019 arasında  $e_x$  değerlerinin ise 0-0,3 değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir. Bir önceki modele göre  $e_y$  değerlerinin çok fazla değişmediği gözlemlenmektedir.





Şekil 4.97 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poison oranı hesap grafiği (5-20 hücreli)

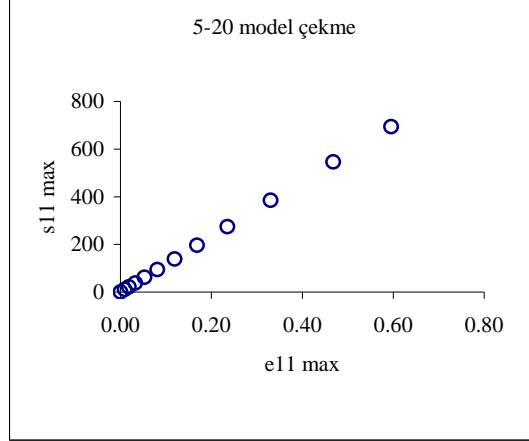
5-20 birim hücre modelinin şekil 4.97 ve 4.98'e göre ex-ey grafiğini incelendiğinde % 0,3'ten büyük kısımda poison oranı 0,0256 olduğunu, %0,3'ten küçük kısımda ise 0,2195 olduğu görülmektedir. Bu değerlerin önceki modellere göre artış gösterdiği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.98 Tuval dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poison oranı hesap grafiği (5-20 hücreli)

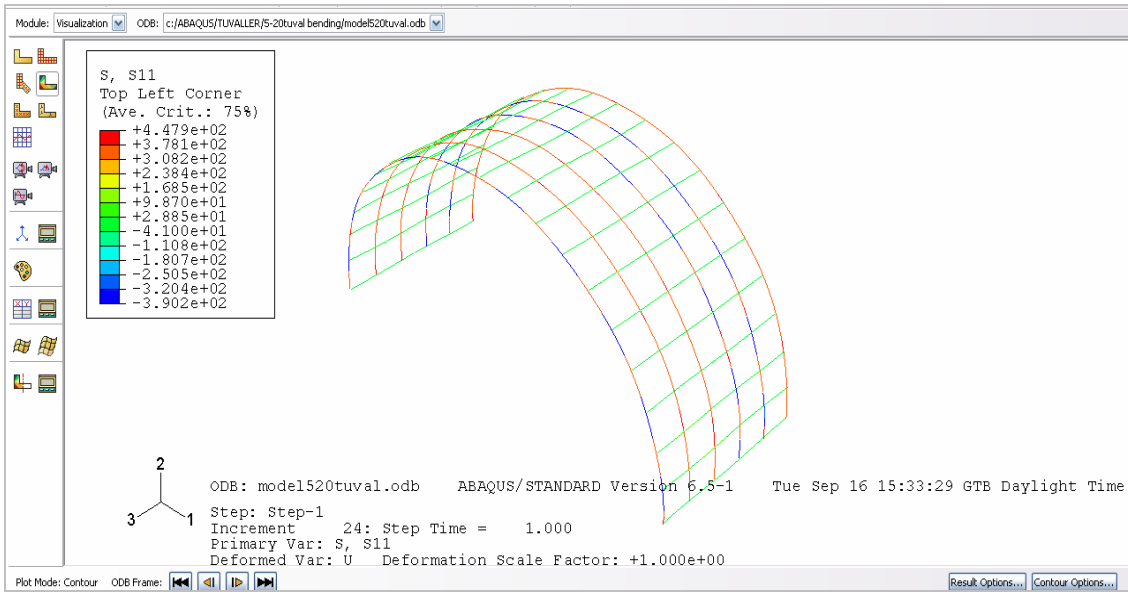
5-20 birim hücre modeli tuval dokuma kompozitin de gerilme ve birim uzama değerleri karşılaştırıldığında aralarında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Şekil

4.99'u incelendiğinde s11max değerlerinin 0-700 arasında, e11 max değerlerinin ise 0-0,8 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Modeldeki değerler 5-15 birim hücre modeline göre daha az değerdedir. Gerilmeler ve birim uzamalar, model uzadıkça azalma göstermektedir.



Şekil 4.99 Tuval dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (5-20 birim hücre modeli)

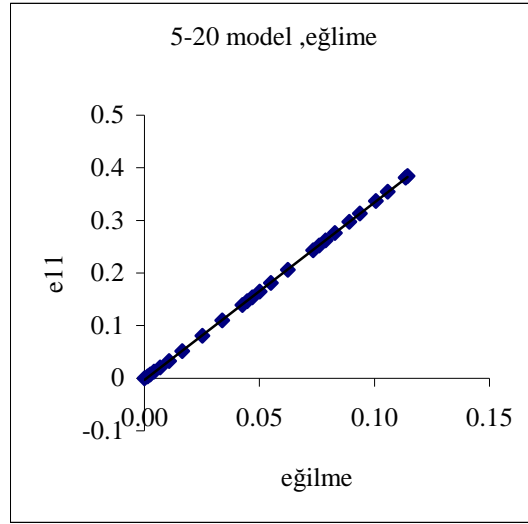
#### 4.2.8 Tuval Dokuma Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (5-20 Birim Hücre Modeli)



Şekil 4.100 Tuval dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (5-20 hücreli)

Tuval dokumalı 5-20 hücreli modelin eğilme deneyi sonuçları 24 adımda elde edilmiştir. Şekil 4.100 incelendiğinde 24. adımda gerilme değerinin 447,9 N/mm<sup>2</sup> olduğu görülmektedir.

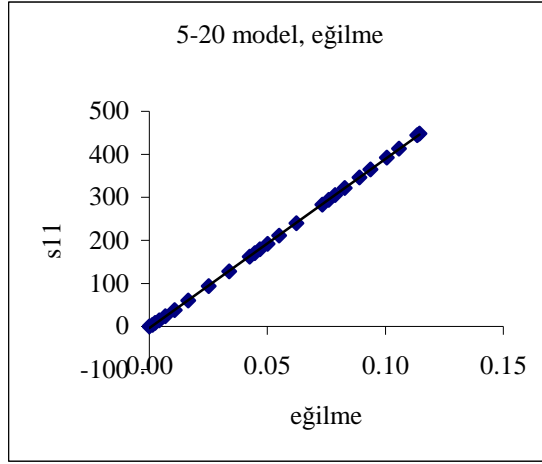
5-15 birim hücrenin gerilmeleri ile 5-20 birim hücreli modelin gerilmelerini karşılaştırılacak olunursa, 5-15 birim hücre modelinde gerilme 600 iken 5-20 birim hücre modelinde gerilme değeri 447,9'dur. Buna göre 5-20 birim hücre modelinde eğilmeye maruz kalan modelin gerilme değerlerinin bir önceki modele göre daha az olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 4.101 Tuval dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (5-20 hücreli)

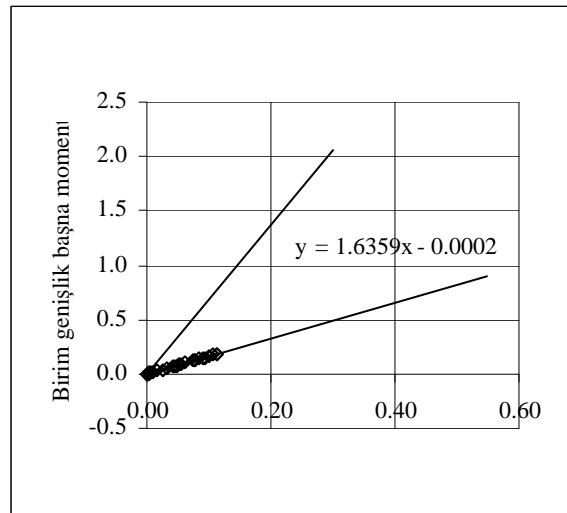
Tuval dokumalı model eğilmeye maruz kaldığında belli bir eğrilik derecesinde gerilme ve birim uzamalara maruz kalmaktadır. Bunların aralarındaki ilişkiyi incelemek için şekil 4.101'e bakıldığında e11 yani birim uzama değerlerinin 0-0,4 arasında, eğrilik ise 0-0,15 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Bu değerlerle grafik oluşturulduğunda aralarında doğrusal bir ilişki olduğu görülür.

Modelde gerilme- eğrilik grafiğini şekil 4.102'ye bakarak incelendiğinde , s11 yani gerilme değerlerinin 0-500 arası değiştiği görülmektedir. Modelin gerilme değeri diğer modele göre azalmış olsa da eğrilik ile yine doğrusal bir ilişki göstermektedir



Şekil 4.102 Tuval dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (5-20 hücreli)

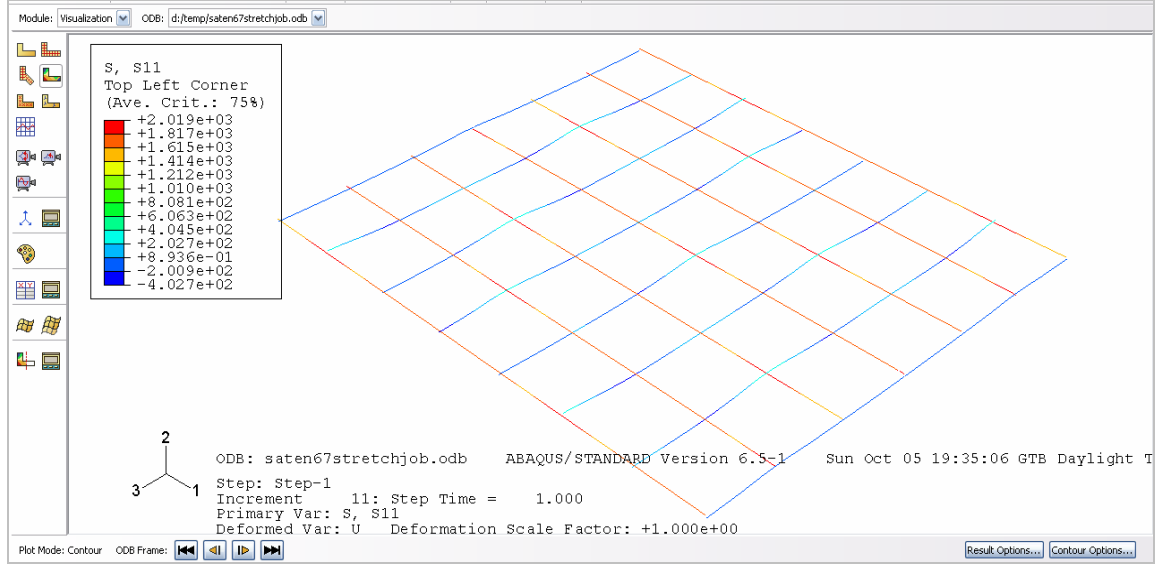
Tuval dokumalı 5-20 birim hücreli kompozit modelde birim genişlik başına moment ve eğrilik değerleri karşılaştırıldığında , birim genişlik başına moment değerlerinin bu modelde 0-0,5 arasında , eğrilik değerlerinin ise 0-0,2 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre grafik incelenerek eğimli doğrunun denklemi oluşturulduğunda elde edilen 1,6359 değeri malzemenin D11 eğrilik değerini vermektedir. Bu değer bir önceki modellere göre 5-20 modelinde kısmen büyük çıkmıştır.



Şekil 4.103 Tuval dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (5-20 hücreli)

### 4.3 Saten Dokumalı Kompozit Modeller

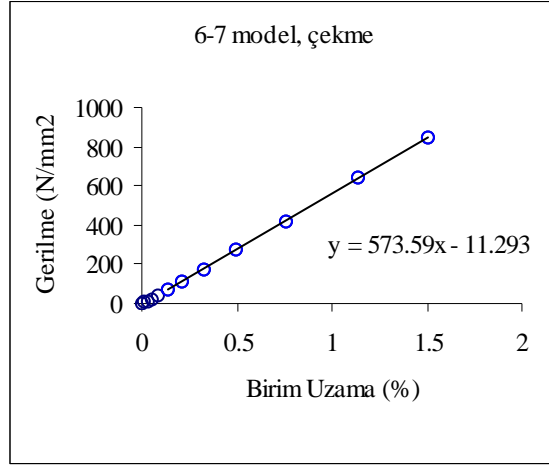
#### 4.3.1 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-7 Birim Hücre Modeli)



Şekil 4.104 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-7 hücreli)

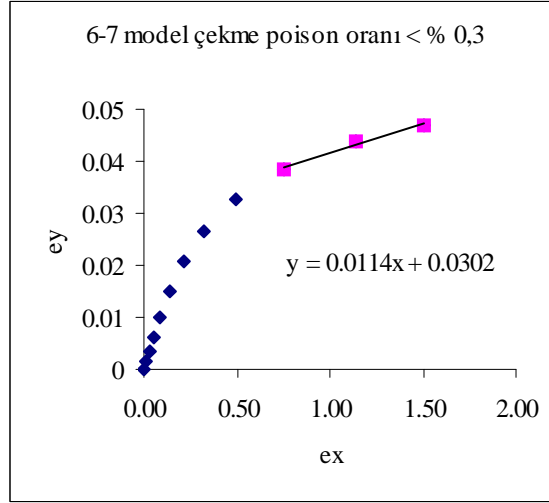
Saten dokumalı kompozit modelin 6-7 birim hücre modelini oluştururken L değerini  $7*1,375=9,625$  mm olarak hesaplanır. Modelin b değeri ise  $7*1,375=9,625$  mm olarak hesaplanır. Model oluşturulduktan sonra model üzerinde çekme deneyi hesaplamaları sonucu şekil 4.104'te görüldüğü gibi S11 değerinin boyuna doğrultuda en fazla olduğunu ve 11. adımda yaklaşık  $2019 \text{ N/mm}^2$  olduğu gözlemlenir. Basit dokumalı ve tuval dokumalı modele göre çekme deneyi sonucu oluşan gerilme değerlerinin basit dokumalı modeldeki gerilme değerlerine yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Gerilme – birim uzama değerlerini karşılaştırarak hesaplanılan elastik modülü değeri şekil 4.105'de görüldüğü gibi  $57359 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Gerilme değerleri 0-800 arası, birim uzama değerleri ise 0-1,7 arası değişmektedir. Gerilme değerlerinin basit dokumalı ve tuval dokumalı modellere göre basit dokumalı modelle yaklaşık aynı olduğu, tuval dokumalı modele göre de azaldığı gözlemlenmektedir.



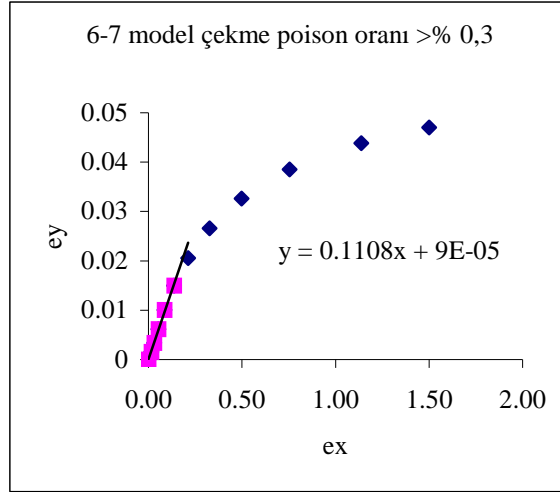
Şekil 4.105 Saten dokuma kompozit modelde Ec değeri grafiği (6-7 Hücreli)

6-7 birim hücre saten dokumalı modelde şekil 4.106'ya göre ey değerlerinin 0-0,05 arasında ex değerlerinin ise 0-2 değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir. Diğer modellemelere göre değerlerin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.



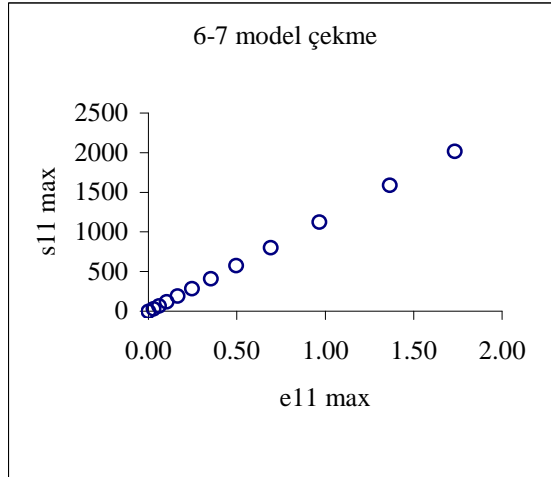
Şekil 4.106 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-7 hücreli)

6-7 birim hücre modelinin şekil 4.106 ve 4.107'ye göre ex-ey grafiği incelendiğinde % 0,3'ten büyük kısımda poisson oranı 0,0114 olduğunu, %0,3'ten küçük kısımda ise 0,1108 olduğu görülür. Basit ve tuval dokumalı modellere göre değerlerin azaldığı gözlemlenmektedir.



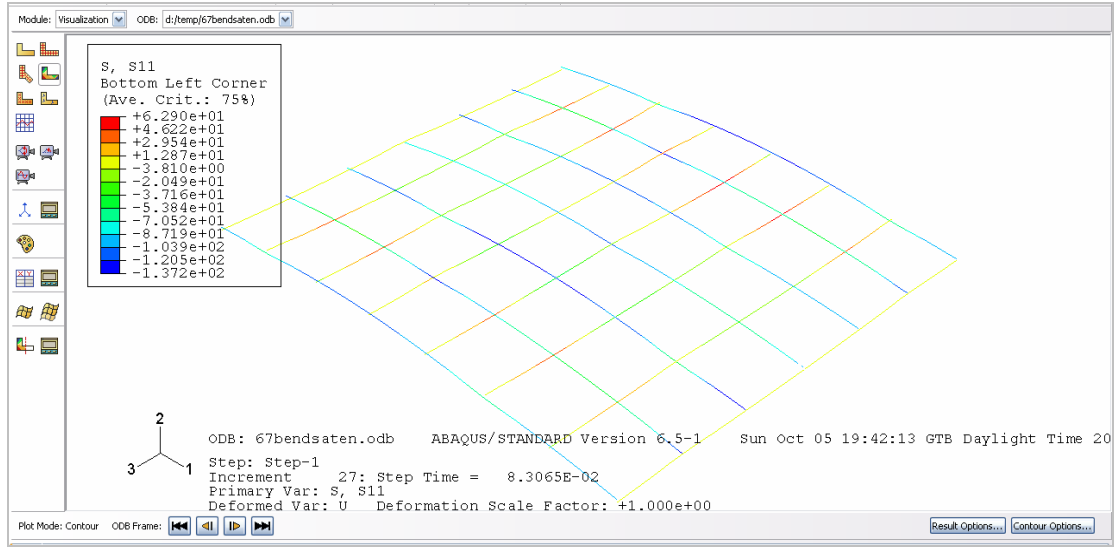
Şekil 4.107 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poison oranı hesap grafiği (6-7 hücreli)

6-7 birim hücre modeli saten dokuma kompozitin gerilme ve birim uzama değerleri karşılaştırıldığında aralarında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.108 incelendiğinde s11max değerlerinin 0-2000 arasında, e11 max değerlerinin ise 0-2 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Basit ve tuval dokumalı kompozit modellere göre karşılaştırma yapıldığında basit dokumalı modellere yakın değerlere sahip olduğu gözlemlendi.



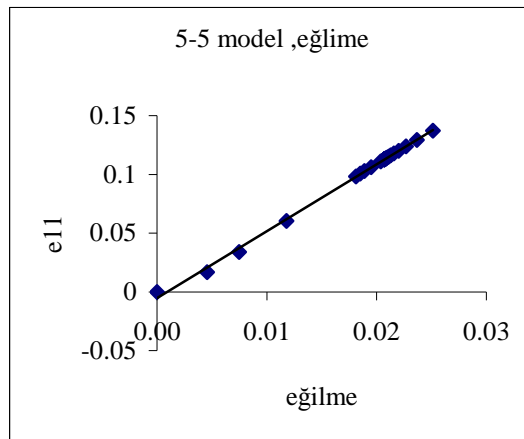
Şekil 4.108 Saten dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-7 birim hücre modeli)

### 4.3.2 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-7 Birim Hücre Modeli)



Şekil 4.109 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (5-20 hücreli)

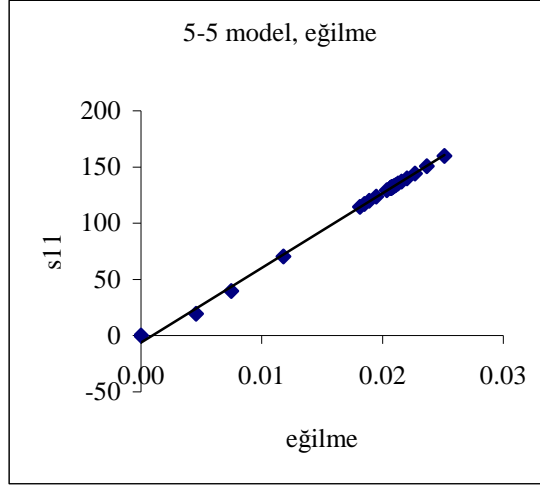
Saten dokumalı 6-7 birim hücreli modelin, şekil 4.109 incelendiğinde 27. adımda gerilme değerinin  $62,9 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülür. 6-7 birim hücre model basit dokumalı kompozitin 27. adımdaki 0,083 zamanında gerilme değerine bakıldığında bu değer 95,4 olduğu, tuval dokumalı modelde 5-5 birim hücre modelinin 0,083 zamanında 167,016 olduğu göze alındığında, basit dokumalı ve tuval dokumalı modellere göre saten dokumalı modelde gerilmelerin daha düşüktür.



Şekil 4.110 Saten dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-7 hücreli)

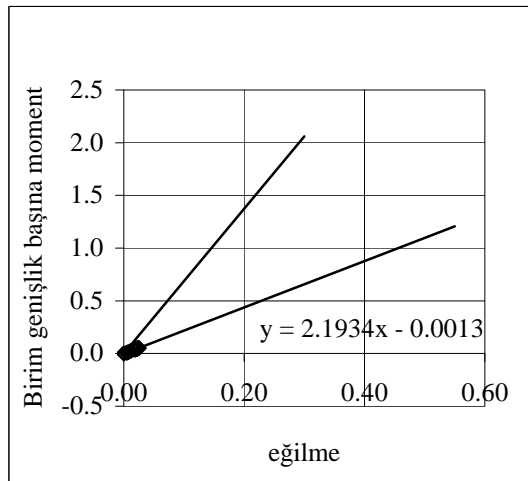


Saten dokumalı model eğilmeye maruz kaldığında belli bir eğrilik derecesinde gerilme ve birim uzamalara maruz kalmaktadır. Bunların aralarındaki ilişkiyi incelemek için şekil 4.110'a bakıldığında e11 yani birim uzama değerlerinin 0-0,16 arasında, eğriliğin ise 0-0,03 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Bu değerlerle grafik oluşturulduğunda aralarında doğrusal bir ilişki olduğu görülür.



Şekil 4.111 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-7 hücreli)

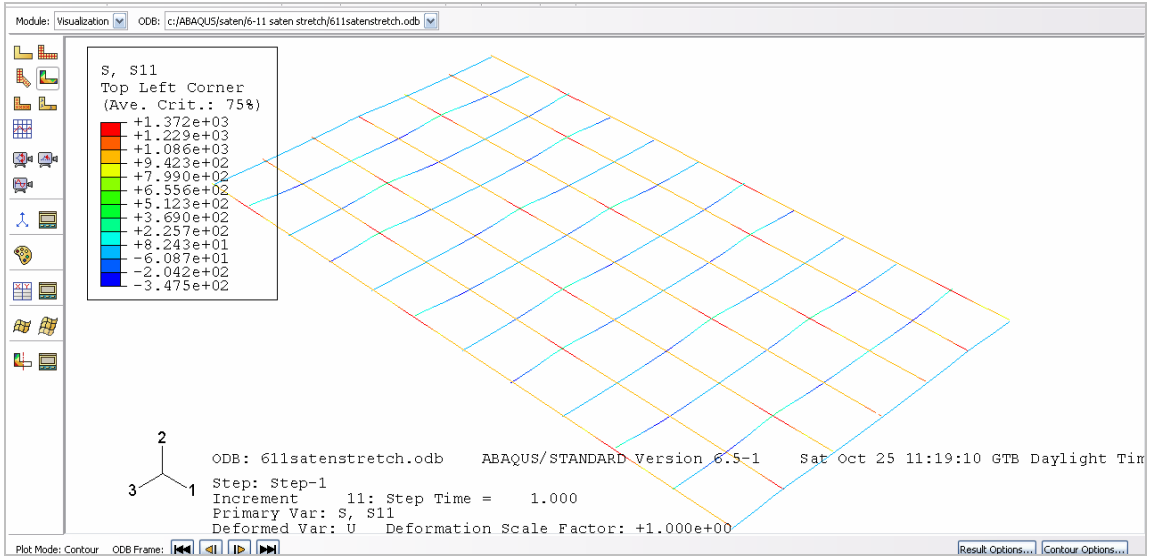
Modelde gerilme- eğrilik grafiğini şekil 4.111'e bakarak incelendiğinde , s11 yani gerilme değerlerinin 0-200 arası değiştiği görülmektedir. Modelin gerilme değerleri basit dokumalı ve kompozit modele göre azalmış olduğu gözlemlenir.



Şekil 4.112 Saten dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (6-7 hücreli)

Saten dokumalı modelde birim genişlik başına moment ve eğilme değerleri şekil 4.112'ye göre incelendiğinde birim genişlik başına momentin 0-0,5 değerleri arasında eğilme değerlerinin ise 0-0,2 değerleri arasında değiştiği gözlemlenir. Grafik şeklinde sık noktaların olduğu bölgede eğrilik denklemi oluşturulduğunda elde edilen 2,1934 değeri , malzemenin D11 eğilme değerini vermektedir. Basit dokumalı ve tuval dokumalı modellere göre karşılaştıracak olduğunda en yüksek D11 değerine saten dokumalı modelde ulaşılmış olunur.

### 4.3.3 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-11 Birim Hücre Modeli)

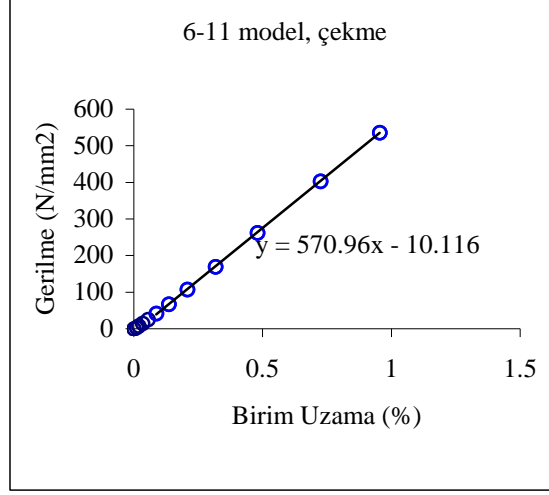


Şekil 4.113 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-11 hücreli)

Saten dokumalı kompozit modelin 6-11 birim hücre modelini oluştururken L değerini  $11 * 1.375 = 15.1250$  mm olarak hesaplanır. Model oluşturulduktan sonra model üzerinde çekme deneyi hesaplamaları sonucu şekil 4.113'te görüldüğü gibi S11 değerinin boyuna doğrultuda en fazla olduğunu ve 11. adımda yaklaşık  $1372 \text{ N/mm}^2$  olduğu gözlemlenir. Bir önceki modele göre gerilme değerinin azaldığı görülmektedir.

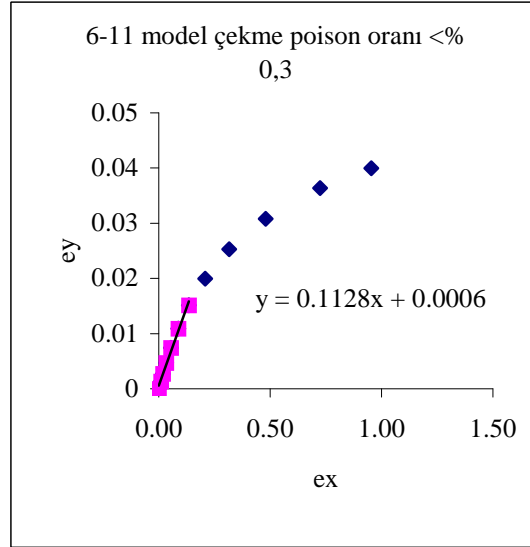
Gerilme – birim uzama değerlerini karşılaştırarak hesaplanılan elastik modülü değeri şekil 4.114'te görüldüğü gibi  $57096 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Gerilme değerleri 0-600 arası, birim

uzama değerleri ise 0-1,2 arası değişmektedir. Bir önceki modele göre elastik modüle azalma olduğu gözlemlenmektedir.



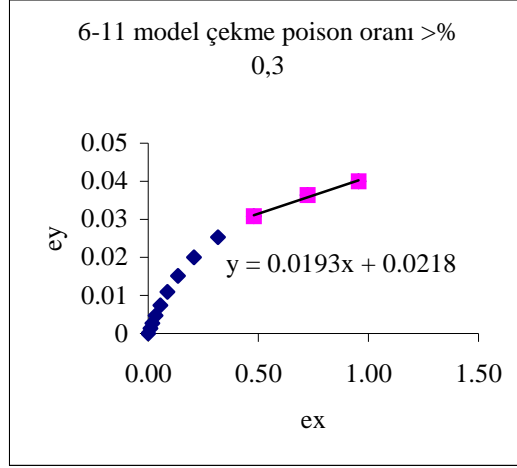
şekil 4.114 Saten dokuma kompozit modelde  $E_c$  değeri grafiği (6-11 Hücreli)

6-7 birim hücre saten dokumalı modelde şekil 4.115'e göre  $e_y$  değerlerinin 0-0,05 arasında  $e_x$  değerlerinin ise 0-1.5 değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir. Bir önceki modele göre  $e_x$  değerinin kısmen azaldığı gözlemlenmektedir.



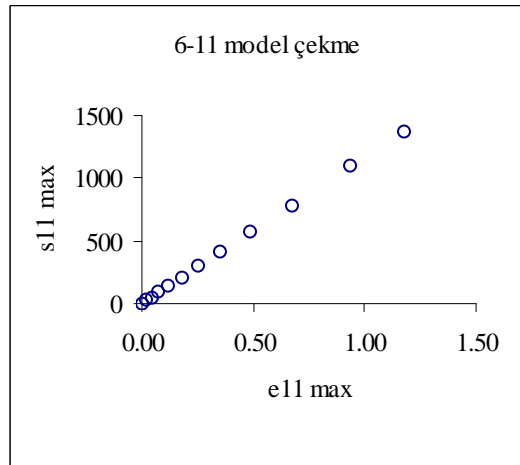
şekil 4.115 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-11 hücreli)

6-7 birim hücre modelinin şekil 4.115 ve 4.116'ya göre ex-ey grafiği incelendiğinde % 0,3'ten büyük kısımda poisson oranı 0,0193 olduğunu, %0,3'ten küçük kısımda ise 0,1128 olduğu görülmektedir. Bir önceki modele göre değerlerin artmıştır.



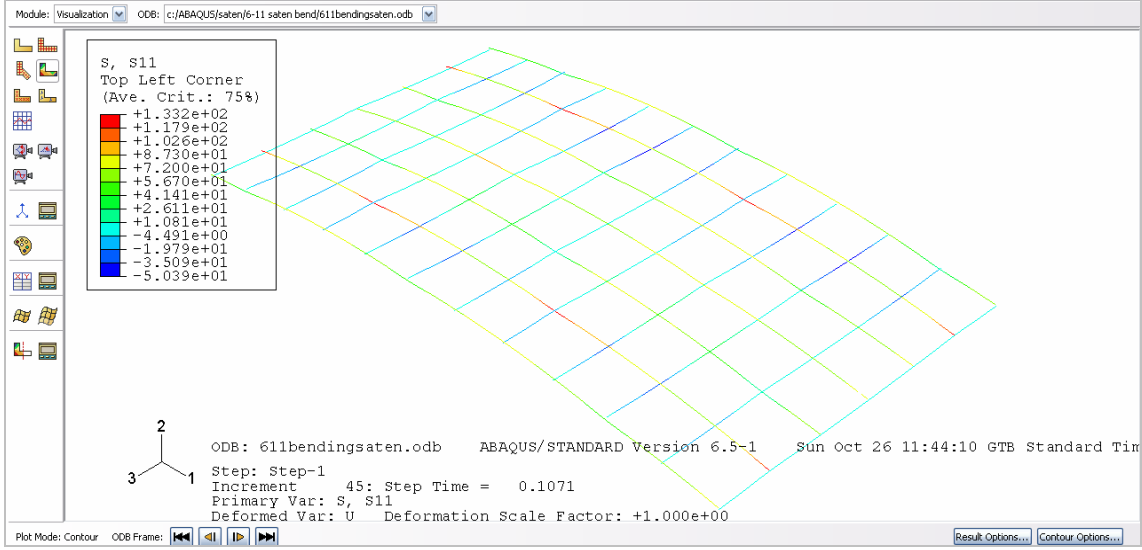
Şekil 4.116 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-11 hücreli)

6-11 birim hücre modeli saten dokuma kompozitin gerilme ve birim uzama değerleri aralasında doğrusal bir ilişki vardır. Şekil 4.117 incelendiğinde, s11max değerlerinin 0-1500 arasında, e11 max değerlerinin ise 0-1.5 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Bir önceki modele göre daha düşük değerlerde olduğu gözlemlenir.



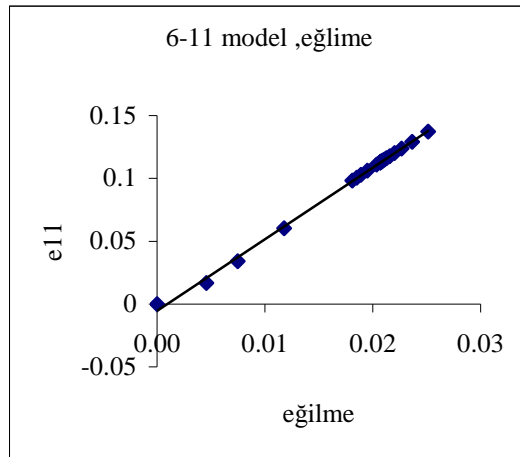
Şekil 4.117 Saten dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-11 birim hücre modeli)

#### 4.3.4 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-11 Birim Hücre Modeli)



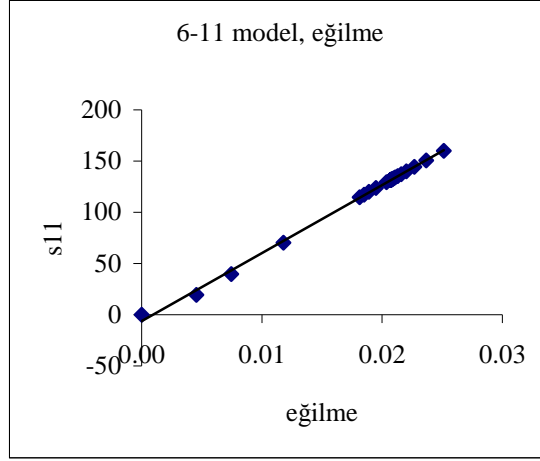
Şekil 4.118 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-11 hücreli)

Saten dokumalı 6-11 birim hücreli modelin, şekil 4.118 incelendiğinde 45. adımda gerilme değerinin  $133.2 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülmektedir. 6-11 birim hücre modelin 26. adımda step time 0,083'de 109.14 olan bu değer, 6-7 birim hücre modelinde step time 0,083'de 160 olduğu düşünüldüğünde, aynı step time'da bir önceki modelin gerilme değerinin daha fazla olduğu görülmektedir.

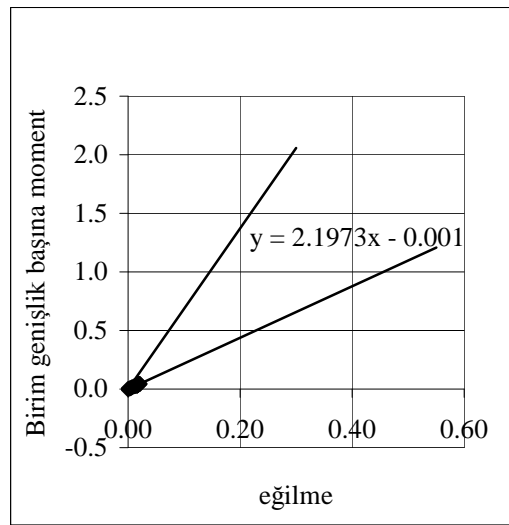


Şekil 4.119 Saten dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-11 hücreli)

Saten dokumalı model eğilmeye maruz kaldığında belli bir eğrilik derecesinde gerilme ve birim uzamalara maruz kalmaktadır. Bunların aralarındaki ilişkiyi incelemek için şekil 4.119'a bakıldığında e11 yani birim uzama değerlerinin 0-0,15 arasında, eğriliğin ise 0-0,03 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Bir önceki modeldeki değerlerle aynıdır.



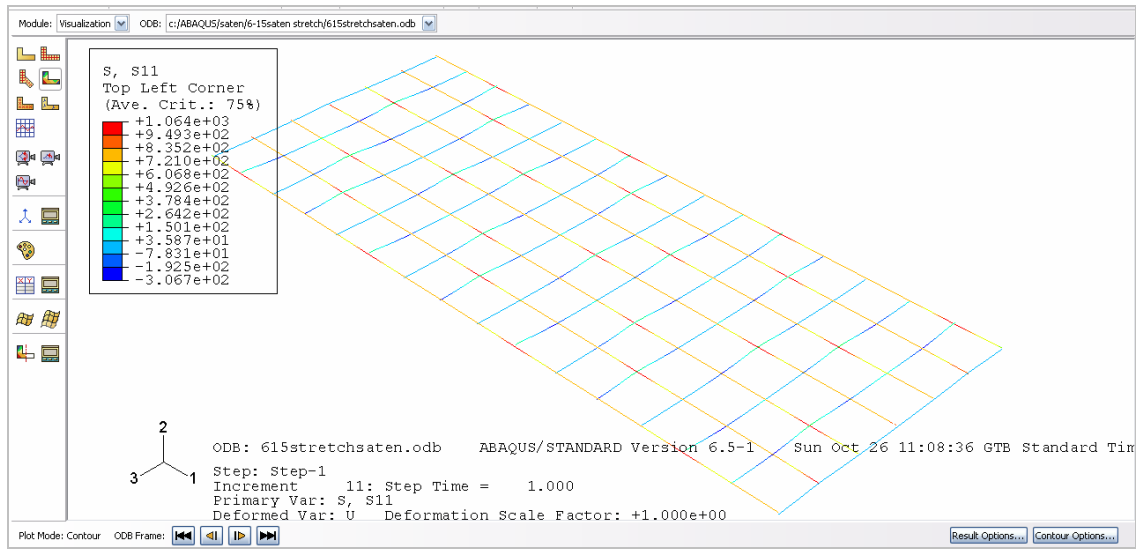
Şekil 4.120 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-11 hücreli) Modelde gerilme- eğrilik grafiğini şekil 4.120'ye bakarak incelendiğinde , s11 yani gerilme değerlerinin 0-200 arası değiştiği görülmektedir. Değerler yine bir önceki modele göre aynıdır.



Şekil 4.121 Saten dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (6-11 hücreli)

Saten dokumalı modelde birim genişlik başına moment ve eğilme değerleri şekil 4.121'e göre incelendiğinde birim genişlik başına momentin 0-0,5 değerleri arasında eğilme değerlerinin ise 0-0,2 değerleri arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Grafik şeklinde sık noktaların olduğu bölgede eğrilik denklemi oluşturulduğunda elde edilen 2,1973 değeri, malzemenin D11 eğilme değerini vermektedir. Bir önceki modele göre bu değerin arttığı gözlemlenmektedir.

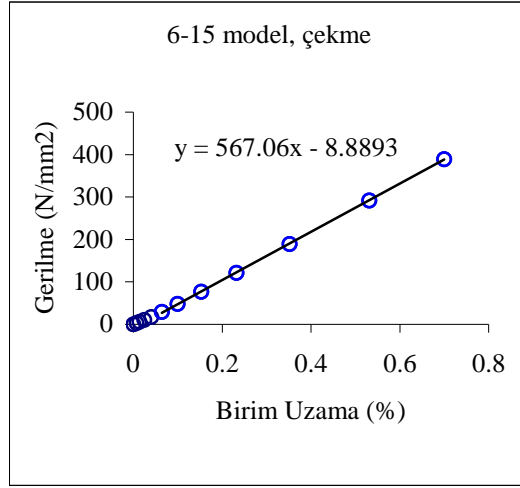
#### 4.3.5 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-15 Birim Hücre Modeli)



Şekil 4.122 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-15 hücreli)

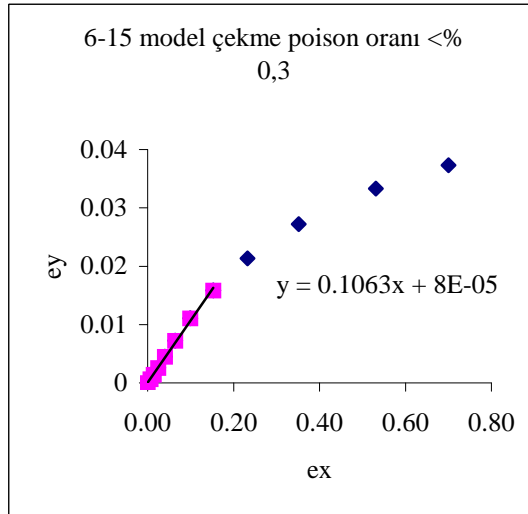
Saten dokumalı kompozit modelin 6-15 birim hücre modelini oluştururken L değerini  $15 \times 1.375 = 20.6250$  mm olarak hesaplanır. Model oluşturulduktan sonra model üzerinde çekme deneyi hesaplamaları sonucu şekil 4.122'de görüldüğü gibi S11 değerinin boyuna doğrultuda en fazla olduğunu ve 11. adımda yaklaşık  $1064 \text{ N/mm}^2$  olduğu gözlemlenir. Bir önceki modele göre gerilme değerinin azaldığı görülmektedir.

Gerilme – birim uzama değerlerini karşılaştırarak hesaplanılan elastik modülü değeri şekil 4.123'te görüldüğü gibi  $56706 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Gerilme değerleri 0-500 arası, birim uzama değerleri ise 0-0,8 arası değişmektedir. Bir önceki modele göre elastik modülde azalma olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.123 Saten dokuma kompozit modelde  $E_c$  değeri grafiği (6-15 Hücreli)

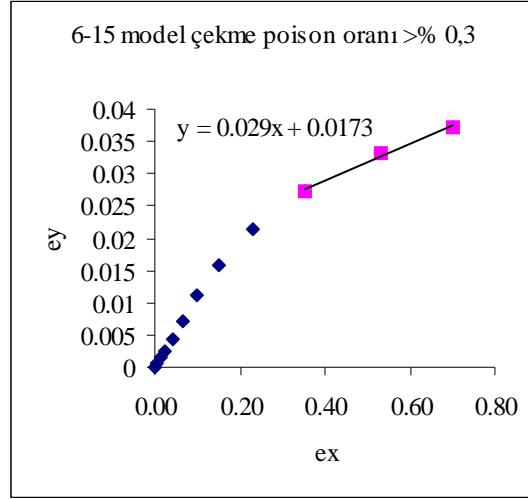
6-15 birim hücre saten dokumalı modelde şekil 4.124'e göre  $e_y$  değerlerinin 0-0,04 arasında  $e_x$  değerlerinin ise 0-0,8 değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir. Bir önceki modele göre  $e_x$  değerinin kısmen azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.124 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-15 hücreli)

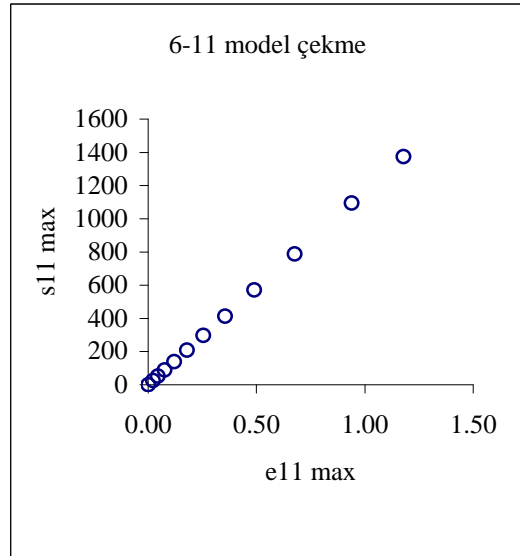
6-15 birim hücre modelinin şekil 4.124 ve 4.125'e göre  $e_x$ - $e_y$  grafiği incelendiğinde % 0,3'ten büyük kısımda poisson oranı 0,029 olduğunu, %0,3'ten küçük kısımda ise 0,1063 olduğu görülmektedir. Bir önceki modele göre değerler artmıştır.





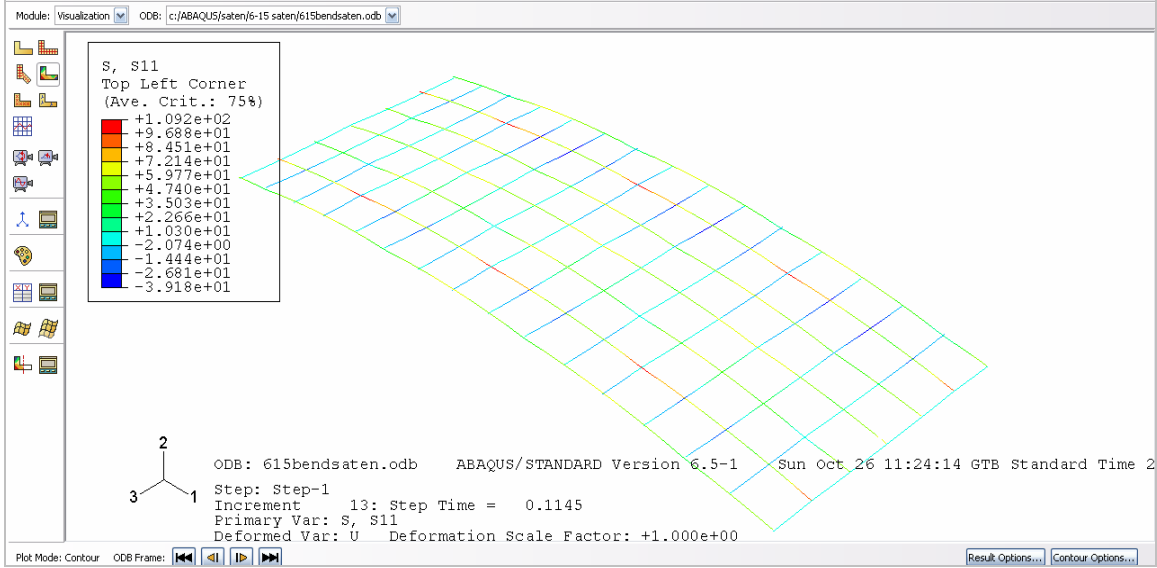
Şekil 4.125 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-15 hücreli)

6-15 birim hücre modeli saten dokuma kompozitin gerilme ve birim uzama değerleri aralasında doğrusal bir ilişki vardır. Şekil 4.126 incelendiğinde, s11max değerlerinin 0-1400 arasında, e11 max değerlerinin ise 0-1.5 değerleri arasında olduğu görülür. Bir önceki modele göre yaklaşık aynı değerlerde olduğu gözlemlenmektedir.



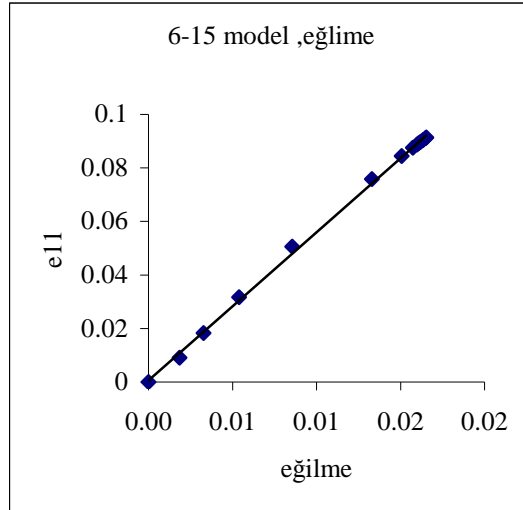
Şekil 4.126 Saten dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-11 birim hücre modeli)

### 4.3.6 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-15 Birim Hücre Modeli)



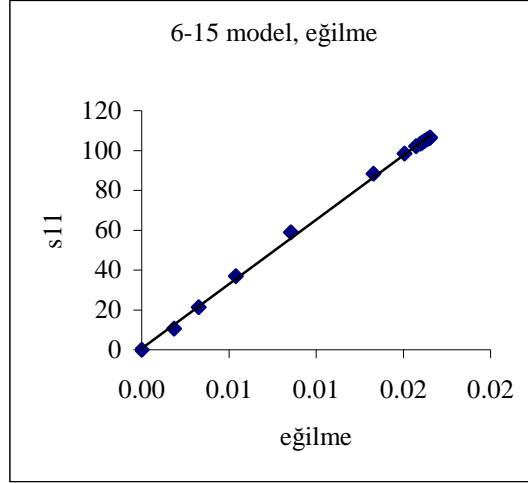
Şekil 4.127 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-15 hücreli)

Saten dokumalı 6-15 birim hücreli modelin, şekil 4.127 incelendiğinde 13. adımda step time değerinin 0,1145 olduğu noktada gerilme değerinin  $109.2 \text{ N/mm}^2$  olduğu görülmektedir. 6-11 birim hücre modelin step time 0.107115 iken 132.763 olan bu değer, 6-15 birim hücre modelinde daha az olduğu gözlemlenmiş olmaktadır.



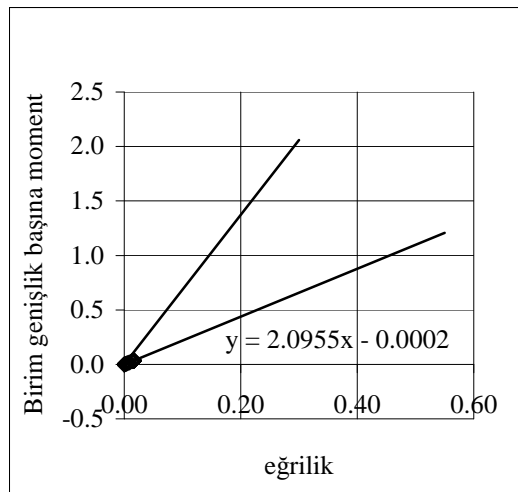
Şekil 4.128 Saten dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-15 hücreli)

Saten dokumalı 6-15 birim hücre modeli eğilmeye maruz kaldığında belli bir eğrilik derecesinde gerilme ve birim uzamalara maruz kalmaktadır. Bunların aralarındaki ilişkiyi incelemek için şekil 4.128'e bakıldığında e11 yani birim uzama değerlerinin 0-0,1 arasında, eğriliğin ise 0-0,02 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Bir önceki modeldeki değerlere göre azalma görülmektedir.



Şekil 4.129 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-15 hücreli)

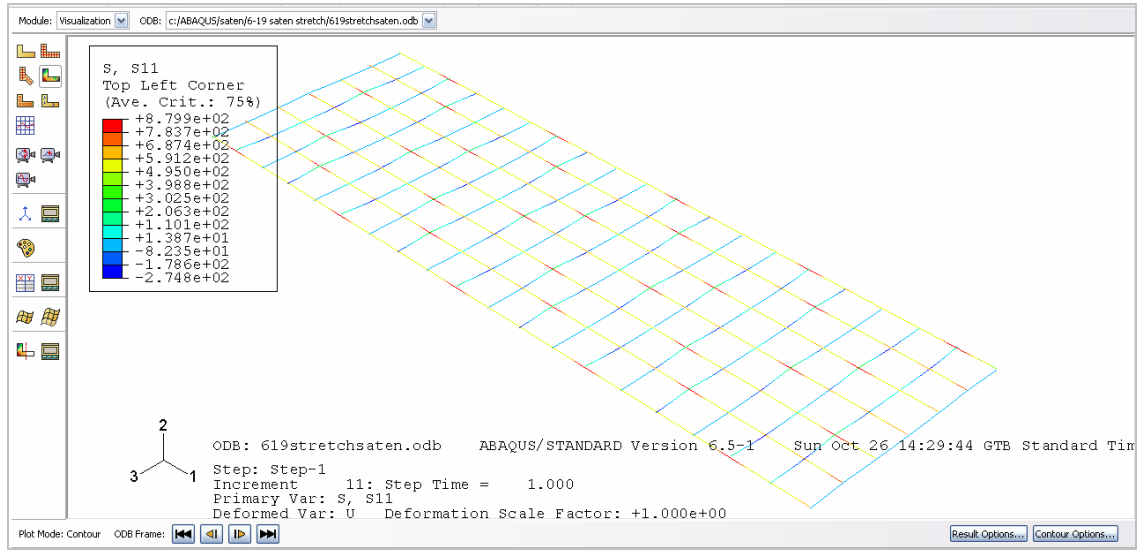
Modelde gerilme- eğrilik grafiğini şekil 4.129'a bakarak incelendiğinde , s11 yani gerilme değerlerinin 0-120 arası değiştiği görülmektedir. Değerlerin bir önceki modele göre azalma gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.130 Saten dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (6-15 hücreli)

Saten dokumalı modelde birim genişlik başına moment ve eğilme değerleri şekil 4.130'a göre incelendiğinde birim genişlik başına momentin 0-0,5 değerleri arasında eğilme değerlerinin ise 0-0,2 değerleri arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Grafik şeklinde sık noktaların olduğu bölgede eğrilik denklemi oluşturulduğunda elde edilen 2,0955 değeri, malzemenin D11 eğilme değerini vermektedir. Bir önceki modele göre bu değer azaldığı gözlemlenmektedir.

#### 4.3.7 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Çekme Deneyi Hesaplamaları (6-19 Birim Hücre Modeli)

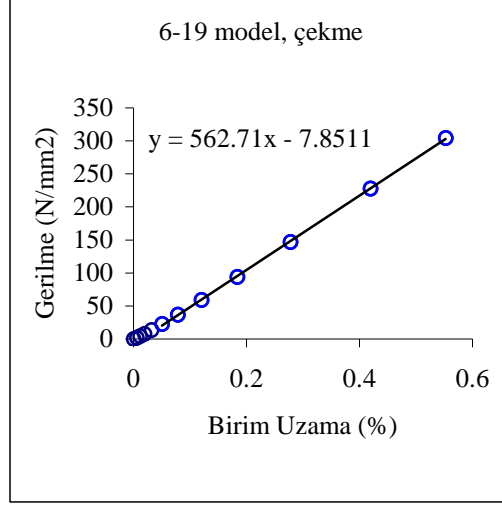


Şekil 4.131 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-19 hücreli)

Saten dokumalı kompozit modelin 6-19 birim hücre modelini oluştururken L değerini  $19 \times 1.375 = 26,125$  mm olarak hesaplanır. Model oluşturulduktan sonra model üzerinde çekme deneyi hesaplamaları sonucu şekil 4.131'de görüldüğü gibi S11 değerinin boyuna doğrultuda, alttan birleşme noktalarında en fazla olduğunu ve 11. adımda yaklaşık  $879,9 \text{ N/mm}^2$  olduğunu gözlemlenmektedir. Bir önceki modele göre gerilme değerinin azaldığı görülmektedir.

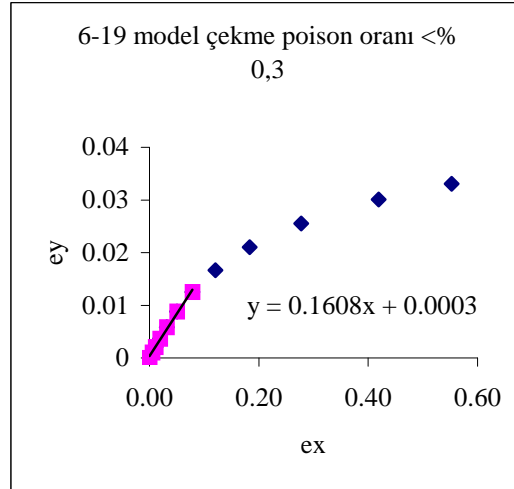
Gerilme – birim uzama değerlerini karşılaştırarak hesaplanılan elastik modülü değeri şekil 4.132'de görüldüğü gibi  $56271 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Gerilme değerleri 0-350 arası, birim

uzama değerleri ise 0-0,6 arası değişmektedir. Bir önceki modele göre elastik modülde, gerilme ve birim uzama değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmektedir.



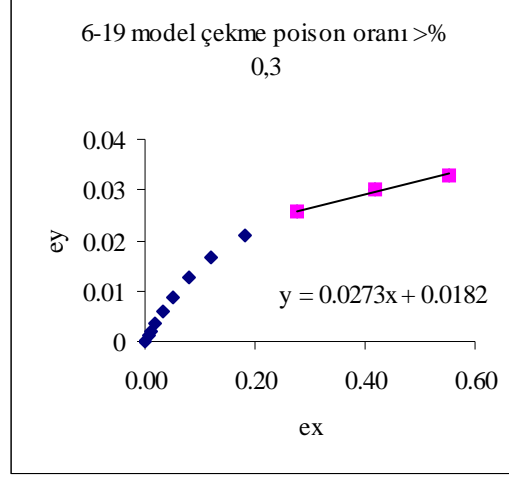
şekil 4.132 Saten dokuma kompozit modelde  $E_c$  değeri grafiği (6-19 Hücreli)

6-19 birim hücre saten dokumalı modelde şekil 4.133'e göre  $e_y$  değerlerinin 0-0,035 arasında  $e_x$  değerlerinin ise 0-0,6 değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir. Bir önceki modele göre  $e_x$  ve  $e_y$  değerlerinin azaldığı gözlemlenmektedir.



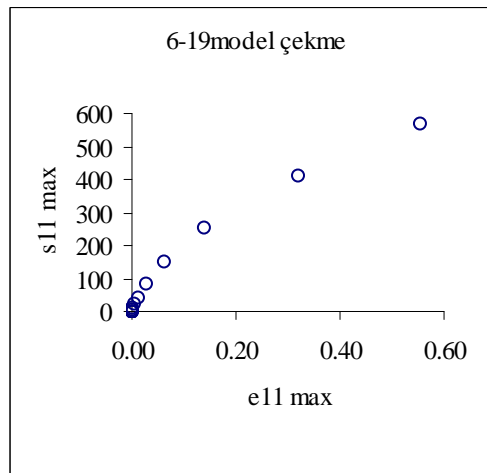
şekil 4.133 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten küçük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-19 hücreli)

6-19 birim hücre modelinin şekil 4.133 ve 4.134'e göre ex-ey grafiği incelendiğinde % 0,3'ten büyük kısımda poisson oranı 0,0273 olduğunu, %0,3'ten küçük kısımda ise 0,1608 olduğu görülür. Bir önceki modele göre değerler artmıştır.



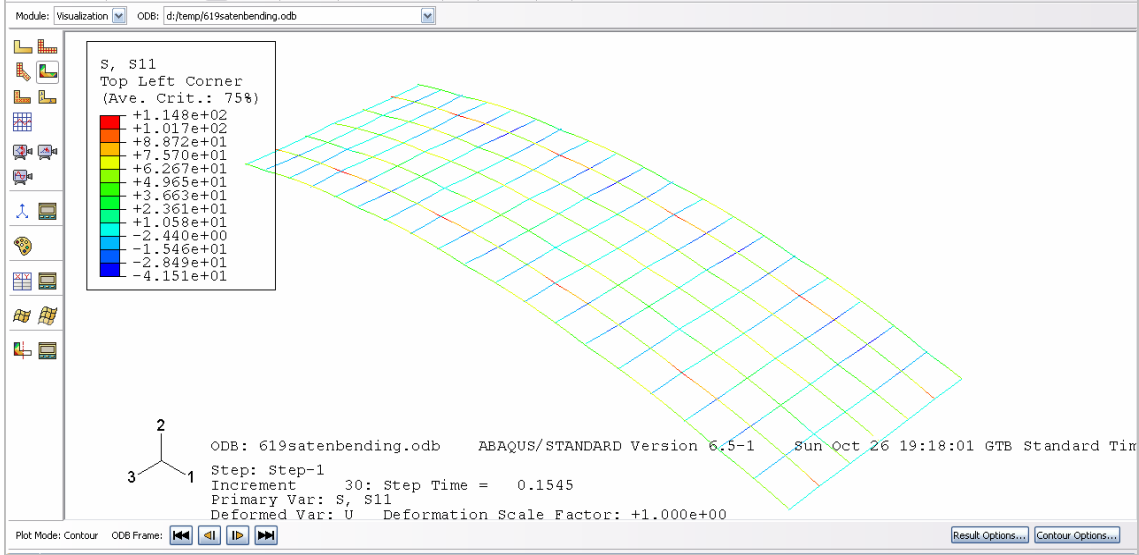
Şekil 4.134 Saten dokuma kompozit modelde % 0,3 'ten büyük kısım için poisson oranı hesap grafiği (6-19 hücreli)

6-19 birim hücre modeli saten dokuma kompozitin gerilme ve birim uzama değerleri aralarında doğrusal bir ilişki vardır. Şekil 4.135 incelendiğinde, s11max değerlerinin 0-600 arasında, e11 max değerlerinin ise 0-0.6 değerleri arasında olduğunu görülür. Bir önceki modele göre değerlerin azaldığı gözlemlenmektedir.



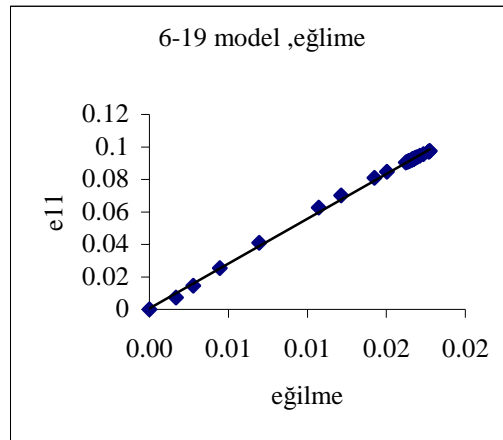
Şekil 4.135 Saten dokuma modelde "e11max" , "s11max" değerlerinin karşılaştırması (6-19 birim hücre modeli)

### 4.3.8 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Eğilme Deneyi Hesaplamaları (6-19 Birim Hücre Modeli)



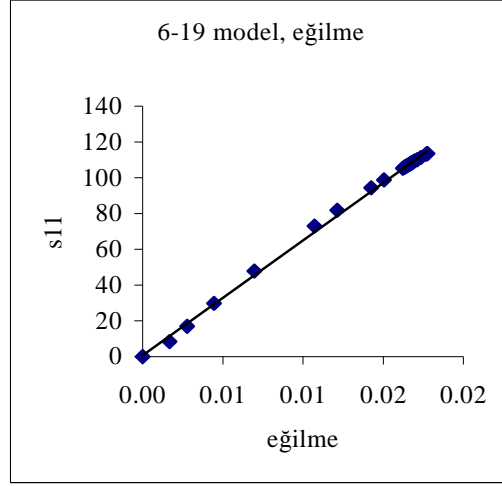
Şekil 4.136 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme değer ekranı (6-19 hücreli)

Saten dokumalı 6-19 birim hücreli modelin, şekil 4.136 incelendiğinde 30. adımda step time değerinin 0,1545 olduğu noktada gerilme değerinin  $114,8 \text{ N/mm}^2$  olduğunu görüyoruz. 6-15 birim hücre modelin step time 0.114 iken 106.499 olan bu değer, 6-19 birim hücre modelinde step time 0,114 olduğunda değer yaklaşık olarak 93,2 olduğu gözlemlenmektedir. Buna göre aynı step time'da 6-19 birim hücre modelinde gerilme değerlerinin daha az olduğu gözlemlenmiş olmaktadır.



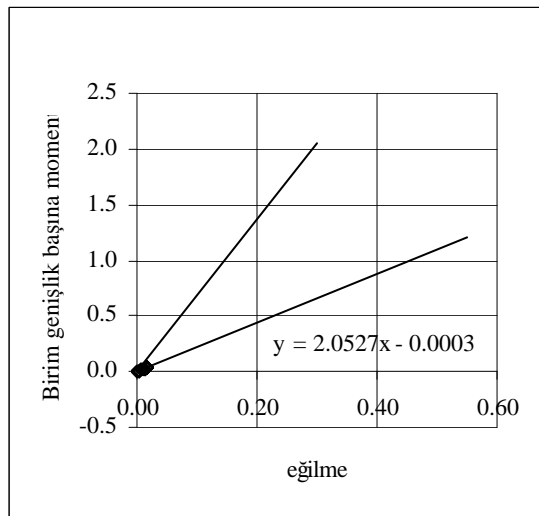
Şekil 4.137 Saten dokuma kompozit modelde birim uzama-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)

Saten dokumalı 6-19 birim hücre modeli eğilmeye maruz kaldığında belli bir eğrilik derecesinde gerilme ve birim uzamalara maruz kalmaktadır. Bunların aralarındaki ilişkiyi incelemek için şekil 4.137'ye bakıldığında  $\epsilon_{11}$  yani birim uzama değerlerinin 0-0,12 arasında, eğriliğin ise 0-0,02 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Bir önceki modeldeki değerlere göre yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.138 Saten dokumalı kompozit modelde gerilme-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)

Modelde gerilme- eğrilik grafiğini şekil 4.138'e bakarak incelendiğinde ,  $s_{11}$  yani gerilme değerlerinin 0-120 arası değiştiği görülmektedir. Değerlerin bir önceki modelle aynı olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.139 Saten dokuma kompozit modelde moment-eğrilik grafiği (6-19 hücreli)



Saten dokumalı modelde birim genişlik başına moment ve eğilme değerleri şekil 4.139'a göre incelendiğinde birim genişlik başına momentin 0-0,5 değerleri arasında eğilme değerlerinin ise 0-0,2 değerleri arasında değiştiğini gözlemlenir. Grafik şeklinde sık noktaların olduğu bölgede eğrilik denklemi oluşturulduğunda elde edilen 2,0527 değeri, malzemenin D11 eğilme değerini vermektedir. Bir önceki modele göre bu değer azaldığı gözlemlenmektedir.

#### 4.4 Farklı Dokumalı Kompozit Modellerde Elastik Modül Karşılaştırmaları

##### 4.4.1 Basit Dokumalı Kompozit Modelde Elastik Modülü Karşılaştırılması

Basit dokumalı kompozit modelleri diğer bölümlerde farklı boyutlandırmalarda hesaplamalara tabi tuttuk. Bütün basit dokumalı modellerde çekme deneyi sonu elde edilen değerlere göre de elastik modülü hesaplamalarını yaptık.

Bu çalışmaların tamamı inceleme altına alındığında çizelge 5.1'de görüldüğü gibi sonuçta boyuna genişletme yapılan modellerde elastik modülü gittikçe azalırken, enine genişletme yapılan modellerde elastik modülün değişmediği görüldü. Değişimler ancak yaklaşık olarak  $30 \text{ N/mm}^2$  dir.

Çizelge 4.8 Basit dokumalı kompozit modelde elastik modülü karşılaştırma çizelgesi

	<b>6-7 layer</b>	<b>6-11 layer</b>	<b>6-15 layer</b>	<b>6-19 layer</b>	<b>10-7 layer</b>	<b>14-7 layer</b>	<b>18-7 layer</b>
<b>Ec</b> ( <b>N/mm<sup>2</sup></b> )	56215	54595	52753	50924	56172	56143	56119

Çizelge incelendiğinde basit dokumalı kompozit modelin diğer malzemelerden ayırt edici bir özelliği olan elastik modülünün yaklaşık  $56200 \text{ N/mm}^2$  değerleri ile  $50924 \text{ N/mm}^2$  değerleri arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Ayrıca model üzerindeki incelemelere göre ise enine doğrultuda uzatılmış modellerin üzerinde yapılan deneylerin sonuçların üzerinde çok fazla etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

#### 4.4.2 Tuval Dokumalı Kompozit Modelde Elastik Modülünün Karşılaştırılması

Tuval dokumalı kompozit modelleri diğer bölümlerde farklı boyutlandırmalarla hesaplamalara tabii tutuldu. Buna göre çekme deneyi sonucu oluşturulan modellerin elastik modülü hesaplandı.

Çizelge 4.9 Tuval dokumalı kompozit modelde elastik modülü karşılaştırma çizelgesi

	5-5 tuval	5-10 tuval	5-15 tuval	5-20 tuval
$E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	57531	57660	57468	57176

Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi basit dokumalı modelde 56600 N/mm<sup>2</sup> olan elastik modülü değerleri , tuval dokumalı modelde yaklaşık olarak 58000 N/mm<sup>2</sup> civarında hesaplandı. Tuval dokumalı modelin basit dokumalı modele göre kısmen daha büyük elastik modüle sahip olduğu görüldü. Ancak bu fark çok fazla olmadığından farklı dokumalı kompozitlerin yakın özelliklerde olduğu hesaplandı. Farklı boyutlandırmalardaki elastik modülü incelemelerinde ise elastik modülün boyut büyüdükçe çok fazla değerini değiştirmedeği görüldü. Ancak en sonuncu model olan 5-15 modelinde bu değerler 300 N/mm<sup>2</sup> kadar azaldığı gözlemlense de genel anlamda modelin kendine has özelliği olan elastik modülünün yaklaşık 58000 N/mm<sup>2</sup> olduğu hesaplandı.

#### 4.4.3 Saten Dokumalı Modelde Elastik Modülünün Karşılaştırılması

Saten dokumalı modelde çizelge 4.10'a göre elastik modülü incelendiğinde, elastik modülü değerlerinin, basit dokumalı modele göre daha yüksek , tuval dokumalı modele göre ise daha düşük bir değere sahip olduğu sonucuna ulaşıldı.

Çizelge 4.10 Saten dokumalı kompozit modelde elastik modülü değeri

	<b>6-7saten</b>	<b>6-11saten</b>	<b>6-15 saten</b>	<b>6-19saten</b>
<b>Ec</b> (N/mm <sup>2</sup> )	57359	57096	56706	56271

Saten dokumalı modeller farklı dokuma boyutlarında incelendiğinde ise, en kısa modelden en uzun modele doğru inceleme yapıldığında, elastik modüllerinde azalma olduğu görülmektedir. Genellenecek olunduğunda, model boyutları arttıkça elastik modülün azaldığı sonucuna varılmaktadır.

#### **4.5 Farklı Dokumalı Kompozit Modelde Poison Oranlarının Karşılaştırılması**

##### **4.5.1 Basit Dokumalı Kompozit Modelde Poison Oranı Karşılaştırması**

###### **%0,3'ten Büyük Kısımda:**

Basit dokumalı modellerde boyca genişletilen modellerde çizelge 4.10'da görüldüğü gibi poisson oranlarında çok fazla bir değişiklik görülmemektedir. Boyuna genişletilen en son model olan 6-19 birim hücre modelinde bu değer yaklaşık 0,02 olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Enine genişletilen modellerde ise poisson oranlarının gittikçe küçüldüğü görülmektedir. Bu demek oluyor ki enine doğrultuda genişletme yapılan modellerde poisson oranlarında düşüş görülmektedir.

Çizelge 4.11 Basit dokumalı kompozit modelde %0,3'ten büyük kısımda poisson oranı karşılaştırması

	<b>6-7 layer</b>	<b>6-11 layer</b>	<b>6-15 layer</b>	<b>6-19 layer</b>	<b>10-7 layer</b>	<b>14-7 layer</b>	<b>18-7 layer</b>
<b>Poison Oranı</b> <b>%0,3'ten büyük</b>	0.0842	0.0896	0.0894	0.1153	0.0708	0.0658	0.0624

Çizilen grafiklere göre %0,3'ten büyük kısım için poisson oranları incelendiğinde en etkili değişimin endeki genişliği artan modellerde olduğu görülmektedir.

### **%0,3'ten Küçük Kısımda:**

Basit dokumalı kompozit modellerin poisson oranı grafikleri %0,3'ten küçük kısımlara göre inceleme altına alındığında, çizelge 4.11'de de görülebileceği gibi %0,3'ten büyük kısımda incelendiğinde elde edilen sonuçlar gibi değerlerle karşılaşılmaktadır. Boyuna genişletilmiş modellerde poisson oranı 0,204 civarındayken, enine genişletilmiş kısımlarda bu değer düşerek 0,19'a ulaşmaktadır. Buna göre boyuna doğrultudaki genişletmeler sonucu poisson oranlarının kısmen arttığını, enine doğrultudaki genişletmelerde de poisson oranlarının kısmen azaldığını söylemek mümkündür. Genel itibariyle basit dokumalı kompozit modeller incelendiğinde, oluşturulan modelin poisson oranı 0,3 olan çeliğe göre daha düşük poisson oranına sahip olduğu hesaplandı.

Çizelge 4.12 Basit dokumalı kompozit modelde %0,3'ten küçük kısımda poisson oranı karşılaştırması

	6-7 layer	6-11 layer	6-15 layer	6-19 layer	10-7 layer	14-7 layer	18-7 layer
<b>Poison Oranı</b>							
<b>%0,3'ten küçük</b>	0.2041	0.2071	0.2019	0.2137	0.1934	0.2	0.1941

### **4.5.2 Tuval Dokumalı Kompozit Modelde Poison Oranı Karşılaştırılması**

#### **%0,3'ten Büyük Kısımda :**

Tuval dokumalı kompozit modeli basit dokumalı kompozit modelde olduğu gibi %0,3'ten küçük veya büyük kısım olarak incelendi. Tuval dokumalı modeli sadece boyuna doğrultuda genişleterek %0,3'ten büyük kısım incelendiğinde, çizelge 4.12'de görüldüğü gibi bu doğrultuda genişletilen modellerin poisson oranlarının model büyüdükçe arttığı gözlemlenmektedir.

Model 5-5 birim hücreli iken 0,0146 değerinde iken model 5-20 birim hücreli olduğunda 0,0256 değerine kadar yükseldiği görülmektedir. Basit dokumalı modelde bu değerler boyuna doğrultuda genişleme esnasında pek fazla değişiklik göstermezken, tuval dokumalı kompozit modelde artış göstermektedir. Sonuçta belirlenen aralıkta poisson oranının yaklaşık olarak 0,018 civarında değiştiğini söylemek mümkündür.

Çizelge 4.13 Tuval dokumalı kompozit modelde %0,3'ten büyük kısım için poisson oranı karşılaştırması

	5-5 tuval	5-10 tuval	5-15 tuval	5-20 tuval
<b>Poisson Oranı %0,3'ten büyük kısım</b>	0.0146	0.0121	0.0199	0.0256

#### **%0,3'ten Küçük Kısımda:**

Tuval dokumalı modeli sadece boyuna doğrultuda genişleterek %0,3'ten küçük kısmı incelendiğinde, çizelge 4.13'de görüldüğü gibi poisson oranlarının 5-5 hücreli modelden 5-10 hücreli modele geçişte azalma gösterdiğini ancak modeli büyütme devam edildiğinde değerlerin daha da fazla büyüdüğü gözlemlenmektedir. Genel itibariyle değerlerin boyca uzamada artış göstermesi beklenen bir durumdur. %0,3'ten küçük kısımda yaklaşık olarak 0,2 civarında poisson oranı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14 Tuval dokumalı kompozit modelde %0,3'ten küçük kısım için poisson oranı karşılaştırması

	5-5 tuval	5-10 tuval	5-15 tuval	5-20 tuval
<b>Poisson Oranı %0,3'ten küçük kısım</b>	0.2085	0.1873	0.2189	0.2195

#### **4.5.3 Saten Dokumalı Kompozit Modelde Poisson Oranı Karşılaştırması**

##### **%0,3'ten Büyük Kısımda :**

Saten dokumalı kompozit modelde %0,3'ten büyük kısım çizelge 4.15'e göre incelendiğinde, değerlerin, basit dokumalı ve tuval dokumalı kompozit modellere göre daha düşük bir değere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Model, farklı boyutlandırmalara göre kendi içinde değerlendirildiğinde , boyuna doğrultuda uzatılmış saten dokumalı kompozit modeller kısıdan , uzuna doğru incelendiğinde, grafik üzerinde %0,3'ten küçük kısım poisson oranlarında artış olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 4.15 Saten dokumalı kompozit modelde %0,3 'ten büyük kısımda poison oranı karşılaştırması

	<b>6-7 layer</b>	<b>6-11 layer</b>	<b>6-15 layer</b>	<b>6-19 layer</b>
<b>Poison Oranı %0,3'ten büyük kısım</b>	0.0114	0.0193	0.029	0.0273

Genel bir sonuç olarak saten dokumalı modellerin, grafik üzerinde %0,3'ten büyük kısımda poison oranlarının yaklaşık 0,01 civarındaki değerde olduğu gözlemlenmiştir.

**%0,3'ten Küçük Kısımda:**

Saten dokumalı kompozit modelin poison oranını grafikte %0,3'ten küçük kısımda incelenecek olunursa, poison oranlarının, basit ve tuval dokumalı modellere göre yaklaşık yarı değere sahip olarak daha az bir değerde olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.16 Saten dokumalı kompozit modelde %0,3'ten küçük kısımda poison oranı

	<b>6-7 layer</b>	<b>6-11 layer</b>	<b>6-15 layer</b>	<b>6-19 layer</b>
<b>Poison Oranı %0,3'ten küçük kısım</b>	0.1108	0.1128	0.1063	0.1608

Model, çizelge 4.16'ya göre, farklı boyutlandırmalara göre kendi içinde değerlendirildiğinde , boyuna doğrultuda uzatılmış saten dokumalı kompozit modeller kısıdan , uzuna doğru incelendiğinde, grafik üzerinde %0,3'ten küçük kısımda poison oranlarında artış olduğu sonucuna varılmaktadır.

Genel bir sonuç olarak saten dokumalı modellerin, grafik üzerinde %0,3'ten küçük kısımda poison oranlarının yaklaşık 0,11 civarındaki değerde olduğu gözlemlenmiştir.

## 4.6 Farklı Dokumalı Kompozit Modellerde D11 Rijitliğinin Karşılaştırması

### 4.6.1 Basit Dokumalı Kompozit Modelde D11 Değerinin Karşılaştırılması

Basit dokumalı modelleri enine ve boyuna doğrultuda genişletildiğinde çizelge 4.17’de görüldüğü gibi D11 değerleri oluşmuştur. Bu değerler modeli boyuna doğrultuda genişletildiğinde 6-7 birim hücre modelinden 1,6227’den , 6-19 birim hücre modelinde 1,6179 değerine kadar belli oranlarda azalma göstermektedir. Enine doğrultuda malzemenin D11 eğrilik değerlerinin aynı kaldığı gözlemlenmektedir. En büyük değere sahip olan modelin ise 6-7 birim hücre modelinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.17 Basit dokumalı kompozit modellerde D11 değerinin karşılaştırılması

	6-7 layer	6-11 layer	6-15 layer	6-19 layer	10-7 layer	14-7 layer	18-7 layer
D11	1.6227	1.6194	1.6183	1.6179	1.6223	1.6223	1.6223

### 4.6.2 Tuval Dokumalı Kompozit Modellerin D11 Değerlerinin Karşılaştırması

Tuval dokumalı kompozit modelde D11 değerlerini modeli boyuna doğrultuda incelendiğinde , çizelge 4.18’de görüldüğü gibi 5-5 birim hücre modelinde 1,6679 olan değer gittikçe azalarak, 5-20 birim hücre modelinde 1,6359 değerine ulaştığı gözlemlenmektedir. Tuval dokumalı modelde enine doğrultuda modelleri inceleme gereği duyulmamıştır. Çünkü değerler enine doğrultuda çok fazla değişim göstermemektedir.

Çizelge 4.18 Tuval dokumalı kompozit modellerde D11 eğilme değerlerinin karşılaştırılması

	5-5 tuval	5-10 tuval	5-15 tuval	5-20 tuval
D11	1.6679	1.6296	1.6323	1.6359

### 4.6.3 Saten Dokumalı Modelde D11 Değerinin Karşılaştırması

Saten dokumalı kompozit modeli çizelge 4.19’da incelendiğinde D11 değerinin 2,1934 olarak diğer modellemeler olan basit ve tuval dokumalardan çok daha yüksek bir

değere ulaştığı gözlemlenmektedir. Yapılan modellemelerde en fazla D11 değerine saten dokumalı modellerde ulaşıldığı sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 4.19 Saten dokumalı modelde D11 değeri

	<b>6-7 layer</b>	<b>6-11 layer</b>	<b>6-15 layer</b>	<b>6-19 layer</b>
<b>D11</b>	2.1934	2.1973	2.0955	2.0527

Model, kendi boyut farklılıklarına göre değerlendirildiğinde, boyuna doğrultuda uzamalar sonucu modelin D11 değerinin azaldığı sonucu elde edilmiştir.



## 5. SONUÇ

Yapılan çalışmaların genelinde sonlu elemanlar metodu kullanılarak farklı boyut ve dokuma şekillerinde kompozit model oluşturma çalışmaları yapılmıştır. Basit dokumalı, tuval dokumalı ve saten dokumalı modeller Abaqus programında oluşturularak, çekme ve eğilme deneylerine maruz bırakılmıştır. Bu deneyler sonucu Abaqus modellerinden E11, S11, coord1, coord2, rf1, u3, rm3 gibi değerler alınarak, excel programında hesaplama programları oluşturuldu. Elastik modülü, poisson oranı ve malzemenin eğrilik değerleri excel üzerinde grafiksel değerlerin incelenmesi ve grafik değerlerinin formülize edilmesi sonucu oluşturuldu.

Bütün bu modelleme ve hesaplamalar sonucu tuval dokumalı modelin elastik modülünün, basit dokumalı modele göre kısmen büyük değere sahip olduğu görülmektedir. Basit dokumalı modelde  $56000 \text{ N/mm}^2$  olan elastik modülünün, tuval dokumalı kompozit modelde  $58000 \text{ N/mm}^2$ 'ye çıktığı görülmektedir. Saten dokumalı modelde ise  $57400 \text{ N/mm}^2$  civarında çıkmıştır.

Basit dokumalı, tuval dokumalı ve saten dokumalı modellerin poisson oranları karşılaştırıldığında basit dokumalı modellemede en küçük şekillendirilen modelin poisson oranı 0,2041 iken, tuval dokumalı kompozit modelde 0,2085, saten dokumalı modelde ise 0,1108 olmuştur. (Bu değerler tablodaki % 0,3'ten küçük kısımlar için geçerlidir.) % 0,3'ten büyük kısımda basit dokumalı modellemede en küçük modelin poisson oranı 0,0842 iken tuval dokumalı modellemede en küçük modelin poisson oranı 0,0146, saten modelde ise 0,0114 olarak belirlenmiştir. Tablonun % 0,3'ten küçük kısmı incelenecek olduğunda basit dokumalı kompozit bir modelin suya doygunluğu tuval dokumalı kompozit modele göre hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmektedir. Ancak saten dokumalı modelde diğer modellere göre bu değer yarısı kadardır. %0,3'ten büyük olan kısımda ise yaklaşık 8 kat farkla basit dokumalı modelin poisson oranının daha yüksek olduğu gözlemlenmiş olmaktadır. Tuval ve saten dokumalı modellerde değerlerin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmektedir.

Basit, tuval ve saten dokumalı modelleri D11 değerlerine göre inceleme altına alındığında ise basit dokumalı modelde 1,6227, tuval dokumalı modelde 1,6679 ve

saten dokumalı modelde 2,1934 olduğu görülmektedir. Malzemenin eğrilik değerinin en fazla olduğu modellemenin saten dokumalı modelde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bütün bu karşılaştırmalar göze alındığında , klasik laminasyon teorisine göre sonlu elemanlar metoduyla yapıldığında hesaplamaların sonuçlarının çok daha küçük olduğunu gözlemlenmektedir. Ayrıca sonlu elemanlar metoduyla inceleme yapmanın yani modelin ayrıntılarına göre hesaplamaların nasıl değerlerde olduğunu gözlemlemenin daha kolay olduğu sonucuna varılmaktadır. Abaqus programıyla yapılan sonlu elemanlar yöntemi hesaplamaları, hem görsel olarak kolaylık hem model oluşturmada kolaylık hem de hesaplamalarda kolaylık sağlayarak sonuçlar incelendiğinde de araştırmacıya kolay izleme , inceleme imkanı sunduğu sonucuna varılmıştır.Modeller oluşturulduktan sonra üzerinde değişiklik yapabilme ve değişikliklerin hesaplamalarını inceleme oldukça kolaydır.

Kompozit modelleri kendi aralarında farklı boyut ve modeller bakımından incelendiğinde ise sonlu elemanlar metodu kullanarak yapılan uygulamalarda modellerin temel yapısal özellik değerlerinin kısmen değiştiğini ama yapıyı çok fazla etkilemeyecek şekilde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Programın model yapı ve şekil değişikliklerine doğru çözümler sunduğu görülmektedir.

Kompozit modellerin yapı malzemesi olarak kullanım alanlarının artırılması dayanıklılık bakımından en büyük tercih sebebidir. Klasik laminasyon teorisinde daha yüksek değerlere sahip olan kompozit modellerin sonlu elemanlar metoduyla daha düşük değerlerde malzeme özelliklerinde olması sonucu bu tip malzemelerin gerçekten de kullanımda tercih edilmesi gerektiği sebebini bir kez daha arttırmış olmaktadır.

Yapılan çalışmanın genelinde model oluşturmada çok fazla sorun yaşanmasa da , model üzerinde hesaplama yaptırma özellikle deneylerin uzun zaman almasını sağlayan etkenlerdendir. Lineer olmayan bir modelin (tuval dokumalı ve saten dokumalı modeller gibi) eğilme deneyleri sonuçlarına ulaşmak oldukça zordur. Zaten hesaplama kısmında da anlatılmış olduğu gibi, tam zamanlı çözüm sunulamayan eğilme deneyi sonuçlarını ancak birkaç adımda inceleyerek sonuç değerlerine ulaşılmış bulunmakta. Eğilme deneyi sonuçlarının step time 1 olmadan ulaşılan sonuçlar, başlangıçta doğru

olmayacakmış gibi bir düşünce oluştursa da, sonuçlar incelendiğinde step time 1'e ulaşmadan da elde edilen sonuçların malzeme özelliği belirlemede yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Abaqus programından değerleri excel programına aktarmak da işleri yavaşlatan problemlerden biridir. Bu konuda çalışacak olanlara tavsiyem programın veri aktarma konusundaki kolaylıklarını bulup ona göre değerleri tek tek geçirmek yerine toplu geçirme şansını elde etmeye çalışmalarıdır. Bunun için Abaqus programındaki modelin görsel sonuçlar kısmını aranan değerleri program üzerinde grafiksel olarak oluşturduktan sonra rapor kısmından verilerin excel verisi haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlemler yapıldıktan sonra program üzerindeki hesaplama değerlerinin incelenmek üzere ayrı dosyalara aktarılma işlemi çok daha kolaylaşmış olacaktır.

Abaqus programında model oluşturmak ve bu modeller üzerinde inceleme yapmak , eğer model üzerinde bir hata yapılmadıysa , çok hızlıdır. Kompozit malzemeleri incelemede sonlu elemanlar metodu olarak Abaqus programı kullanılmak istenirse şunu bilmek gerekir ki , program yapılan hatalara ulaşılacak hata verilerini açıkça belirtmektedir. Böylece , oluşturduğunuz modelde hata payı ve hataya ulaşma hızı oldukça azalmaktadır. Anlaşılması zor bir programda hesaplama yapmak hem zamandan kayba hem de yanlış hesaplamalara sebep olmaktadır. Bu yüzden model oluşturmada sonlu elemanlar metodu olarak Abaqus programının kullanılmasını tavsiye ederim.

## 6. KAYNAKLAR

- Ahci E., Talreja R., 2006 ,“Characterization of viscoelasticity and damage in high temperature polymer matrix composites” , Composites Science and Technology, 2506–2519
- Akkerman R., 2006 “Laminate mechanics for balanced woven fabrics”, Composites: Part B 37 ,108–116
- Aminjikarai S. B., Tabiei A., 2006, “A strain-rate dependent 3-D micromechanical model for finite element simulations of plain weave composite structures” , Composite Structures, pages 407-418
- Bahei-El-Din Y.A., Rajendran A.M., Zikry M.A., 2004, “A micromechanical model for damage progression in woven composite systems” , International Journal of Solids and Structures, 2307–2330
- Barbero E. J., Damiani T.M., Trovillion J., 2005, “Micromechanics of fabric reinforced composites with periodic microstructure” , International Journal of Solids and Structures 42 , 2489–2504
- Chung P.W., Kumar K.T., Namburu R.R., 2000 , “A micro/macro homogenization approach for viscoelastic creep analysis with dissipative correctors for heterogeneous woven-fabric layered media” , Composites Science and Technology 60 ,2233 - 2253
- Donadon M.V., Falzon B.G., Iannucci L., Hodgkinson J.M., 2007, “A 3-D micromechanical model for predicting the elastic behaviour of woven laminates” , Composites Science and Technology, pages 2467-2477
- Ferreiraa J.M., Silvab H., Costaa J.D., Richardsons M., 2005 , “Stress analysis of lap joints involving natural fibre reinforced interface layers” ,Composites: Part B 36, 1–7

- Guedes R.M., 2007, “Durability of polymer matrix composites: Viscoelastic effect on static and fatigue loading “, *Composites Science and Technology* , pages 2574-2583
- Ismar H., Schrioter F., Streicher F., 2000 ,“Modeling and numerical simulation of the mechanical behavior of woven SiC/SiC regarding a three-dimensional unit cell”, *Computational Materials Science*, 19 , 320 - 328
- Kawai M., Taniguchi T., 2006 ,“Off-axis fatigue behavior of plain weave carbon/epoxy fabric laminates at room and high temperatures and its mechanical modeling” *Composites: Part A* 37 , 243–256
- Kelkara A.D., Tateb J.S., Chaphalkar P., 2006 ,“Performance evaluation of VARTM manufactured textile composites for the aerospace and defense applications” *Materials Science and Engineering, B* 132 ,126–128
- Keya C.T., Sixa R.W., Hansen A.C., 2003 ,“A three-constituent multicontinuum theory for woven fabric composite materials” ,*Composites Science and Technology* 63, 1857–1864
- Kyriazoglou C., Guild F.J., 2005, “Quantifying the effect of homogeneous and localized damage mechanisms on the damping properties of damaged GFRP and CFRP continuous and woven composite laminates—an FEA approach “, *Composites: Part A* 36 , 367–379
- Paepegem V, Degrieck J , De Baets P., 2001, “Finite element approach for modelling fatigue damage in fibre-reinforced composite materials” ,*Composites: Part B* 32 , 575-588
- Paepegem W. V., Degrieck J., 2003 , “Modelling damage and permanent strain in fibre-reinforced composites under in-plane fatigue loading” ,*Composites Science and Technology* 63 , 677–694

Patel S.R., Case S.W., 2002 ,“Durability of hygrothermally aged graphite/epoxy woven composite under combined hygrothermal conditions”, International Journal of Fatigue 24 , 1295–1301

Shindo Y., Inamoto A., Narita F., Horiguchi K., 2006 , “Mode I fatigue delamination growth in GFRP woven laminates at low temperatures” ,Engineering Fracture Mechanics 73 , 2080–2090

Shivakumara K., Chena H., Abalib F., Leb D., Davisb C., 2006, “A total fatigue life model for mode I delaminated composite laminates” International Journal of Fatigue, 28 , 33–42

Soykasap, O., Watt A., Pellegrino S., Howard, P. , 2005, "Novel Concept for All-Composite Deployable SAR Reflectors," *Proceedings of European Conference on Spacecraft Structures, Materials & Mechanical Testing*, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands

Soykasap Ö., 2007, "Folding design of composite structures," *Composite Structures*, Vol. 79, No. 2, pp. 280 – 287

Soykasap Ö., 2007, "Düz Dokumalı Kompozitlerde Mikromekanik Modelleme", *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 41 - 47

Toubal L., Karama M., Lorrain B., 2006 , “Damage evolution and infrared thermography in woven composite laminates under fatigue loading” International Journal of Fatigue 28 , 1867–1872

Zhang Y.T., Fu Y.B., 2000 ,“A micromechanical model of woven fabric and its application to the analysis of buckling under uniaxial tension Part 1: The micromechanical model”, International Journal of Engineering Science 38, 1895-1906

## **İnternet Kaynakları**

## **Erişim Tarihi**

1. <http://akademik.maltepe.edu.tr/~aliozcan/kompozit%20malzemeler.pdf> 12.10.2006

## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zehra Erdoğan

Doğum Yeri : Kırşehir

Doğum Tarihi : 01.01.1983

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Fen Lisesi

Lisans : Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Yüksek Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Danfoss A/S Danimarka , AR-GE Mühendiliği 08.2004-10.2004

Mühendislik Proje Firması(Ankara) 01.2005-05.2005

Afyon Kocatepe Üniversitesi Proje Asistanlığı 08.2006-08.2007

Yayımları (SCI ve diğer)

Ön ödemeli kartlı sistemler (Bitirme Tezi)

Termostatik sensörlerin test edilmesi ve kalite kontrol ünitesinde, kalite kontrolü yapacak bilgisayar kontrollü sistemin dizayn projesi

Diğer Konular

Bilgisayar Bilgileri

AutoCAD, MathCAD, Mechanical Desktop, CAD-CAM programs, Fluent, ANSYS , Labview , VisualBasic, Delphi, Word, Excel, PowerPoint, Photoshop, SolidWorks, Abaqus

Eğitimler

100KW lık Buderus Kaskat Kazanları Teknik ve Pazarlama Eğitimi

HVAC ,Termostatik ve Balans Vanaları Teknik Eğitimi

Kaskat Kazanları Teknik ve Servis Eğitimi