

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SONLU ELEMANLAR METODU İLE TABAKALI KOMPOZİT
PLAKALARDA TERMAL ELASTO-PLASTİK GERİLME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRAH ERDOĞAN

DENİZLİ, HAZİRAN-2017

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SONLU ELEMANLAR METODU İLE TABAKALI KOMPOZİT
PLAKALARDA TERMAL ELASTO-PLASTİK GERİLME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRAH ERDOĞAN

DENİZLİ, HAZİRAN - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Emrah ERDOĞAN tarafından hazırlanan “SONLU ELEMANLAR METODU İLE TABAKALI KOMPOZİT PLAKALARDA TERMAL ELASTO-PLASTİK GERİLME ANALİZİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 28.06.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ



Üye
Prof. Dr. Osman ASİ
UŞAK ÜNİVERSİTESİ



Üye
Yrd. Doç. Dr. Metin SAYER
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/07/2017 tarih ve 26/18..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

EMRAH ERDOĞAN



TEŞEKKÜR

Kompozit malzemeler ve ANSYS paket programı kullanımı konusunda bilgi ve tecrübelerinden faydalanmamı sağlayan, tezimin zorlandığı kısımlarında bana yardımcı olan ve beni destekleyen danışmanım Prof. Dr. Numan B. BEKTAŞ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Emrah ERDOĞAN



ÖZET

**SONLU ELEMANLAR METODU İLE TABAKALI KOMPOZİT
PLAKALARDA TERMAL ELASTO-PLASTİK GERİLME ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
EMRAH ERDOĞAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. N.BEHLÜL BEKTAŞ)

DENİZLİ, HAZİRAN - 2017

Bu tezde, üniform yayılı lineer olarak değişen düzlemsel sıcaklıklara maruz tabakalı kompozit bir plakada normal ve artık gerilme analizi üzerinde durulmuştur. Malzeme olarak alüminyum matriks ve çelik fiberden oluşmuş çelik alüminyum kompoziti seçilmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar metodu (SEM) kullanılarak sayısal çözüm yapılmıştır. Üniform yayılı termal yükleri, ilk akmayı başlatan değerden itibaren kademeli olarak artırılarak farklı fiber takviye açılarında plakalara uygulanıp normal gerilme ve artık gerilme analizi yapılmıştır. Takviye açısının her değeri için üniform yayılı termal sıcaklık değerlerinin artmasıyla, levha üzerindeki gerilmelerin değeri ve plastik bölgelerin alanı artmıştır.

Modelleme üç boyutlu olarak yapılmıştır. Modelleme ve çözümde, sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programından yararlanılmıştır. Oluşturulan modele üniform sıcaklık yükü uygulanmıştır. Sıcaklığın gerilmeler üzerine etkisini gözlemlemek için 11.26, 12.86, 15.01, 22.51, 30.02, 45.02 ve 90.05 °C'lik üniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Gerilmelerin değeri, üniform sıcaklık artışıdaki miktara bağlı olarak artmaktadır. Sonuçları gözlemlenmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: ARTIK GERİLME, SONLU ELEMANLAR METODU(SEM), GERİLME ANALİZİ, ANSYS, ELASTO PLASTİK GERİLME ANALİZİ.

ABSTRACT

THERMAL ELASTO-PLASTIC STRESS ANALYSIS IN COMPOSITE PLATES WITH LAYER ELEMENTS METHOD

MSC THESIS

EMRAH ERDOĞAN

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF.DR. N.BEHLÜL BEKTAŞ)

DENİZLİ, JUNE 2017

In this thesis, the normal and residual stress analysis in a composite laminate plate which has planes loaded is made under the uniform temperature effects varying linearly. For material, steel aluminium composite with aluminium matrix and steel fiber are selected. In this study, numerical solution is done by using finite element methods (FEM). The normal and residual stress analysis is performed by increasing uniform thermal loads gradually from the value of the first yield and by applying to various fiber orientation angles. For each orientation angle, as the uniform thermal loads increased and the area of plastic zones also increased.

Modeling was done as three dimensional. During both modeling and solution processes, it was utilized from ANSYS software which is a perfect finite element code. Uniform temperature load were applied on created model. To observe the effect of temperatures on 11.26, 12.86, 15.01, 22.51, 30.02, 45.02 and 90.05 °C uniform temperatures were performed. The magnitudes of stresses were increased by increasing uniform temperature. The results are observed.

**KEYWORDS: RESIDUAL STRESS, FINITE ELEMENT METHOD(FEM) ,
STRESS ANALYSIS, ANSYS, ELASTO PLASTIC STRESS ANALYSIS.**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması	1
1.2. Kompozit Malzemeler	6
1.2.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanları	7
1.2.2. Kompozit malzemelerin kullanımındaki olumlu ve olumsuz yönleri	10
1.2.3. Kompozit malzemelerin çeşitleri	13
1.2.3.1 Yapılarını oluşturan malzemelere göre kompozitler	13
1.2.3.1.1 Plastik – plastik kompozitler	13
1.2.3.1.2 Plastik – metal fiber kompozitler	14
1.2.3.1.3 Plastik cam elyaf kompozitler	14
1.2.3.1.4 Plastik köpük kompozitler	14
1.2.3.1.5 Metal matrisli kompozitler	15
1.2.3.1.6 Seramik kompozitler	15
1.2.3.2 Yapı bileşenlerinin şekline göre kompozitler	15
1.2.3.2.1 Partikül esaslı kompozitler	15
1.2.3.2.2 Lamel esaslı kompozitler	16
1.2.3.2.3 Fiber esaslı kompozitler	16
1.2.3.2.4 Dolgu kompozitler	17
1.2.3.2.5 Tabaka yapılı kompozitler	17
1.3. Tezin Amacı ve Tanıtımı	18
2. KOMPOZİT PLAKALARDA ANALİTİK YÖNTEMLE GERİLME ANALİZİ	19
2.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Plaka Analizinde Kullanılması	28
3. KOMPOZİT PLAKALARDA NÜMERİK YÖNTEMLE GERİLME ANALİZİ	30
3.1. 0°/ 90°/ 90°/ 0° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Analizleri	31
3.1.1 11.26° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	31
3.1.2 12.86° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	43
3.1.3 15.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	43
3.1.4 18.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	43
3.1.5 22.51° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	43
3.1.6 30.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	43
3.1.7 45.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	44
3.1.8 90.05° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	44
3.2. 30°/ -30°/ -30°/ 30° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Analizleri	45
3.2.1 11.26° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	45
3.2.2 12.86° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	45
3.2.3 15.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	45
3.2.4 18.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü	45

3.2.5	22.51° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	45
3.2.6	30.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	45
3.2.7	45.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	45
3.2.8	90.05° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	45
3.3.	45°/ -45°/ -45°/ 45° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Analizleri.....	46
3.3.1	11.26° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	46
3.3.2	12.86° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	46
3.3.3	15.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	46
3.3.4	18.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	46
3.3.5	22.51° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	46
3.3.6	30.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	46
3.3.7	45.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	46
3.3.8	90.05° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	46
3.4.	60°/ -60°/ -60°/ 60° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Analizleri.....	47
3.4.1	11.26° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	47
3.4.2	12.86° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	47
3.4.3	15.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	47
3.4.4	18.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	47
3.4.5	22.51° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	47
3.4.6	30.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	47
3.4.7	45.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	47
3.4.8	90.05° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü.....	47
3.5.	0°/ 90°/ 90°/ 0° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmeleri.....	48
3.5.1	12.86° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	49
3.5.2	15.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	61
3.5.3	18.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	61
3.5.4	22.51° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	61
3.5.5	30.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	61
3.5.6	45.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	61
3.5.7	90.05° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	61
3.6.	30°/ -30°/ -30°/ 30° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmesi.....	62
3.6.1	12.86° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	62
3.6.2	15.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	62
3.6.3	18.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	62
3.6.4	22.51° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	62
3.6.5	30.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	62
3.6.6	45.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	62
3.6.7	90.05° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	62
3.7.	45°/ -45°/ -45°/ 45° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmesi.....	63
3.7.1	12.86° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	63
3.7.2	15.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	63
3.7.3	18.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	63
3.7.4	22.51° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	63
3.7.5	30.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	63
3.7.6	45.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	63
3.7.7	90.05° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	63
3.8.	60°/ -60°/ -60°/ 60° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmesi.....	64
3.8.1	12.86° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	64
3.8.2	15.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	64
3.8.3	18.01° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	64

3.8.4	22.51° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	64
3.8.5	30.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	64
3.8.6	45.02° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	64
3.8.7	90.05° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Çözümü.....	64
3.9.	0°/ 90°/ 90°/ 0° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmeleri.....	65
3.9.1	[0/90] _s Dizilimli Plakanın 45.02° C'de Z=1 mm'de Plastik Gerilmesi.....	65
3.9.2	[0/90] _s Dizilimli Plakanın 22.51° C'de Z=2 mm'de Plastik Gerilmesi.....	76
3.9.3	[0/90] _s Dizilimli Plakanın 15.01° C'de Z=3 mm'de Plastik Gerilmesi.....	76
3.10.	0°/ 90°/ 90°/ 0° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmeleri.....	77
3.10.1	[0/90] _s Dizilimli Plakanın 45.02° C'de Z=1 mm'de Plastik Gerilmesi.....	77
3.10.2	[0/90] _s Dizilimli Plakanın 22.51° C'de Z=2 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.10.3	[0/90] _s Dizilimli Plakanın 15.01° C'de Z=3 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.11.	30°/ -30°/ -30°/ 30° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmesi.....	90
3.11.1	[30/-30] _s Dizilimli Plakanın 90.05° C Z=0,5 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.11.2	[30/-30] _s Dizilimli Plakanın 45.02° C Z=1 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.11.3	[30/-30] _s Dizilimli Plakanın 22.51° C Z=2 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.11.4	[30/-30] _s Dizilimli Plakanın 15.01° C Z=3 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.12.	45°/ -45°/ -45°/ 45° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmesi.....	90
3.12.1	[45/-45] _s Dizilimli Plakanın 90.05° C Z=0,5 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.12.2	[45/-45] _s Dizilimli Plakanın 45.02° C Z=1 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.12.3	[45/-45] _s Dizilimli Plakanın 22.51° C Z=2 mm'de Plastik Gerilmesi.....	90
3.12.4	[45/-45] _s Dizilimli Plakanın 15.01° C Z=3 mm'de Plastik Gerilmesi.....	91
3.13.	60°/ -60°/ -60°/ 60° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmesi.....	92
3.13.1	[60/-60] _s Dizilimli Plakanın 90.05° C Z=0,5 mm'de Plastik Gerilmesi.....	92
3.13.2	[60/-60] _s Dizilimli Plakanın 45.02° C Z=1 mm'de Plastik Gerilmesi.....	92
3.13.3	[60/-60] _s Dizilimli Plakanın 22.51° C Z=2 mm'de Plastik Gerilmesi.....	92
3.13.4	[60/-60] _s Dizilimli Plakanın 15.01° C Z=3 mm'de Plastik Gerilmesi.....	92
4.	TABAKALI KOMPOZİTLERİN ANALİTİK VE NÜMERİK DEĞERLERİ.....	93
5.	SONUÇ.....	117
6.	KAYNAKLAR.....	119
7.	EKLER.....	121
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	122

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Kompozit malzeme	1
Şekil 1.2 Otomotiv sanayi	3
Şekil 1.3 a) Ayakkabı b) Yüzme paleti	3
Şekil 1.4 a) Golf sopası b) Kar kayakları	3
Şekil 1.5 Fiber takviyeli kompozitler	4
Şekil 1.6 Karbon fiber takviyeli plastikler	5
Şekil 1.7 Fiber malzeme	6
Şekil 1.8 Uçak modelleri	8
Şekil 1.9 a) Yelkenli b) Sörf	11
Şekil 1.10 a)Kotra b) Kayık	11
Şekil 1.11 Deniz araçları	11
Şekil 1.12 Değişik tipteki fiber kompozitler	17
Şekil 2.1 Eksen takımlarının gösterilişi	22
Şekil 3.1.1.1 Analiz tipinin seçilmesi	32
Şekil 3.1.1.2 Eleman tipinin seçilmesi	32
Şekil 3.1.1.3 Bütün tabakalardaki değerlerin veri olarak kaydedilmesi	33
Şekil 3.1.1.4 Tabaka sayısının belirlenmesi	33
Şekil 3.1.1.5 Sıcaklık biriminin belirlenmesi	34
Şekil 3.1.1.6 Malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi	34
Şekil 3.1.1.7 Termal genleşme katsayılarının girilmesi	35
Şekil 3.1.1.8 Malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi	35
Şekil 3.1.1.9 Dikdörtgen kompozit plaka alanının oluşturulması	36
Şekil 3.1.1.10 Mesh işleminin uygulanması	36
Şekil 3.1.1.11 X eksenine ait sınır şartların belirlenmesi	37
Şekil 3.1.1.12 Sınır şartların hangi kenarlarda uygulanacağını seçimi	37
Şekil 3.1.1.13 Sınır şartların aynı kenarlar seçilerek tekrar belirlenmesi	38
Şekil 3.1.1.14 Y eksenine ait sınır şartların belirlenmesi	38
Şekil 3.1.1.15 Kompozit plaka yüzeyine termal yükleme yapılması	39
Şekil 3.1.1.16 Kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi	39
Şekil 3.1.1.17 Analiz tipinin seçilmesi	40
Şekil 3.1.1.18 Adım sayılarının belirlenmesi	40
Şekil 3.1.1.19 İterasyon sayısının belirlenmesi	41
Şekil 3.1.1.20 Çözümlemenin yapılması	41
Şekil 3.1.1.21 Çözümün hatasız olarak sonuçlanması	42
Şekil 3.1.1.22 Modelin 3 boyutlu görüntülenmesi	42
Şekil 3.1.1.23 [0/90] _s dizilimli plakanın 11.26 ° C'deki gerilme değerleri sonuçları ..	43
Şekil 3.5.1.1 Analiz tipinin seçilmesi	49
Şekil 3.5.1.2 Eleman tipinin seçilmesi	49
Şekil 3.5.1.3 Sabit tabaka kalınlığının seçilmesi	50
Şekil 3.5.1.4 Tüm tabakalardaki gerilme değerlerinin veri olarak kaydedilmesi	50
Şekil 3.5.1.5 Tabaka sayısının girilmesi	51
Şekil 3.5.1.6 Oryantasyon açılarının ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesi	51
Şekil 3.5.1.7 Sıcaklık biriminin Celcius olarak belirlenmesi	52
Şekil 3.5.1.8 Malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi	52
Şekil 3.5.1.9 Termal genleşme katsayılarının girilmesi	53
Şekil 3.5.1.10 Malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi	53
Şekil 3.5.1.11 Dikdörtgen kompozit plaka alanının oluşturulması	54
Şekil 3.5.1.12 Mesh işleminin uygulanması	54

Şekil 3.5.1.13 Tabakaların oryantasyon açılarının görsel kontrolü	55
Şekil 3.5.1.14 Referans sıcaklığının girilmesi	55
Şekil 3.5.1.15 Kompozit plaka yüzey görüntüsüne geri dönülmesi.....	56
Şekil 3.5.1.16 X eksenindeki sınır şartların belirlenmesi.....	56
Şekil 3.5.1.17 Y eksenindeki sınır şartların belirlenmesi.....	57
Şekil 3.5.1.18 Kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi	57
Şekil 3.5.1.19 Analiz tipinin seçilmesi	58
Şekil 3.5.1.20 Adım sayısının belirlenmesi	58
Şekil 3.5.1.21 İterasyon sayısının belirlenmesi.....	59
Şekil 3.5.1.22 Çözümlemenin yapılması.....	59
Şekil 3.5.1.23 Çözümün hatasız olarak sonuçlanması	60
Şekil 3.5.1.24 [0/90] _s dizilimli plakanın 12.86 ° C'deki artık gerilmelerin sonuçları.	60
Şekil 3.9.1.1 Analiz tipinin seçilmesi	65
Şekil 3.9.1.2 Eleman tipinin seçilmesi	65
Şekil 3.9.1.3 Bütün tabakalardaki değerlerin veri olarak kaydedilmesi	66
Şekil 3.9.1.4 Tabaka sayısının belirlenmesi.....	66
Şekil 3.9.1.5 Sıcaklık biriminin belirlenmesi.....	67
Şekil 3.9.1.6 Malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi.....	67
Şekil 3.9.1.7 Termal genleşme katsayısının girilmesi	68
Şekil 3.9.1.8 Malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi	68
Şekil 3.9.1.9 Dikdörtgen kompozit plaka alanının oluşturulması.....	69
Şekil 3.9.1.10 Mesh işleminin uygulanması	69
Şekil 3.9.1.11 X eksenine ait sınır şartların belirlenmesi.....	70
Şekil 3.9.1.12 Sınır şartların hangi kenarlara uygulanacağını seçimi	70
Şekil 3.9.1.13 Sınır şartların aynı kenarlar seçilerek tekrar belirlenmesi	71
Şekil 3.9.1.14 Y eksenine ait sınır şartların belirlenmesi.....	71
Şekil 3.9.1.15 Kompozit plaka yüzeyine termal yükleme yapılması.....	72
Şekil 3.9.1.16 Kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi	72
Şekil 3.9.1.17 Analiz tipinin belirlenmesi.....	73
Şekil 3.9.1.18 Adım sayılarının belirlenmesi.....	73
Şekil 3.9.1.19 İterasyon sayısının belirlenmesi.....	74
Şekil 3.9.1.20 Çözümlemenin yapılması.....	74
Şekil 3.9.1.21 Çözümün hatasız olarak sonuçlanması	75
Şekil 3.9.1.22 Modelin 3 boyutlu görüntülenmesi	75
Şekil 3.9.1.23 [0/90] _s dizilimli plakanın 45.02 ° C'deki gerilme değerleri sonuçları .	76
Şekil 3.10.1.1 Analiz tipinin seçilmesi	77
Şekil 3.10.1.2 Eleman tipinin seçilmesi	77
Şekil 3.10.1.3 Sabit tabaka kalınlığının seçilmesi	78
Şekil 3.10.1.4 Tüm tabakalardaki gerilme değerlerinin veri olarak kaydedilmesi	78
Şekil 3.10.1.5 Tabakanın ortasındaki gerilmenin hesaplanması.....	79
Şekil 3.10.1.6 Tabaka sayısının girilmesi	79
Şekil 3.10.1.7 Oryantasyon açılarının ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesi	80
Şekil 3.10.1.8 Sıcaklık biriminin Celcius olarak belirlenmesi.....	80
Şekil 3.10.1.9 Malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi.....	81
Şekil 3.10.1.10 Termal genleşme katsayılarının girilmesi.....	81
Şekil 3.10.1.11 Malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi	82
Şekil 3.10.1.12 Dikdörtgen kompozit plaka alanının oluşturulması.....	82
Şekil 3.10.1.13 Mesh işleminin uygulanması	83
Şekil 3.10.1.14 Tabakaların oryantasyon açılarının görsel kontrolü	83
Şekil 3.10.1.15 Referans sıcaklığının girilmesi	84

Şekil 3.10.1.16 Kompozit plaka yüzey görüntüsüne geri dönülmesi.....	84
Şekil 3.10.1.17 X eksenindeki sınır şartların belirlenmesi.....	85
Şekil 3.10.1.18 Y eksenindeki sınır şartların belirlenmesi.....	85
Şekil 3.10.1.19 Kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi	86
Şekil 3.10.1.20 Analiz tipinin seçilmesi	86
Şekil 3.10.1.21 Adım sayısının belirlenmesi	87
Şekil 3.10.1.22 İterasyon sayısının belirlenmesi.....	87
Şekil 3.10.1.23 Çözümlemenin yapılması	88
Şekil 3.10.1.24 Çözümün hatasız olarak sonuçlanması	88
Şekil 3.10.1.25 [0/90] ₂ dizilimli plakanın birinci tabakada artık gerilmelerin seçimi	89
Şekil 3.10.1.26 [0/90] ₂ dizilimli plakanın 45.02 ° C’de artık gerilmelerin sonuçları .	89
Şekil 4.1 [0/90] _s dizilimli plakanın Z=1 mm ve 45.02° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları	99
Şekil 4.2 [0/90] _s dizilimli plakanın Z=2 mm ve 22.51 ° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları	100
Şekil 4.3 [0/90] _s dizilimli plakanın Z=3 mm ve 15.01° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları	101
Şekil 4.4 [0/90] _s dizilimli plakanın Z=1 mm ve 45.02° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları	102
Şekil 4.5 [0/90] _s dizilimli plakanın Z=2 mm ve 22.51° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları	103
Şekil 4.6 [0/90] _s dizilimli plakanın Z=3 mm ve 15.01° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları	104
Şekil 4.7 [30/-30] _s dizilimli plakanın Z=0,5 mm ve 90.05° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	105
Şekil 4.8 [30/-30] _s dizilimli plakanın Z=1 mm ve 45.02° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları	106
Şekil 4.9 [30/-30] _s dizilimli plakanın Z=2 mm ve 22.51° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları	107
Şekil 4.10 [30/-30] _s dizilimli plakanın Z=3 mm ve 15.01° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	108
Şekil 4.11 [45/-45] _s dizilimli plakanın Z=0,5 mm ve 90.05° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları.....	109
Şekil 4.12 [45/-45] _s dizilimli plakanın Z=1 mm ve 45.02° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	110
Şekil 4.13 [45/-45] _s dizilimli plakanın Z=2 mm ve 22.51° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	111

Şekil 4.14 [45/-45] _s dizilimli plakanın Z=3 mm ve 15.01° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	112
Şekil 4.15 [60/-60] _s dizilimli plakanın Z=0,5 mm ve 90.05° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	113
Şekil 4.16 [60/-60] _s dizilimli plakanın Z=1 mm ve 45.02° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	114
Şekil 4.17 [60/-60] _s dizilimli plakanın Z=2 mm ve 22.51° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	115
Şekil 4.18 [60/-60] _s dizilimli plakanın Z=3 mm ve 15.01° C’de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları.....	116

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Tabakalı kompozit plakaya ait mekanik özellikler	29
Tablo 2.2 Tabakalı kompozit plakaya ait mekanik özellikler	29
Tablo 4.1 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen elastik gerilme değerleri....	93
Tablo 4.2 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen plastik gerilme değerleri ...	94
Tablo 4.1 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen artık gerilme değerleri.....	95
Tablo 4.2 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen elastik gerilme değerleri....	96
Tablo 4.1 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen plastik gerilme değerleri ...	97
Tablo 4.2 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen artık gerilme değerleri.....	98

SEMBOL LİSTESİ

E: Elastisite Modülü

G: Kayma Modülü

σ : Normal Gerilme

E: Normal Şekil Değişirme

Γ : Kayma Gerilmesi

ν : Poisson Oranı

C_{kj} : Elastiklik Katsayıları

[C]: Katılık Matrisi

[S]: Uygunluk Matrisi

[Q_{ij}]: İndirgenmiş Elastisite Matrisi

[T]: Dönüşüm Matrisi

[R]: Router Matris

α_1 : Fiber yönündeki ısı genleşme katsayısı

α_2 : Fiber yönüne dik yöndeki ısı genleşme katsayısı

ÖNSÖZ

Kompozit plakalarla ilgili bu önemli çalışmada bana büyük destek veren Sayın Prof. Dr. Numan Behlül Bektaş hocama teşekkürlerimi sunuyorum.

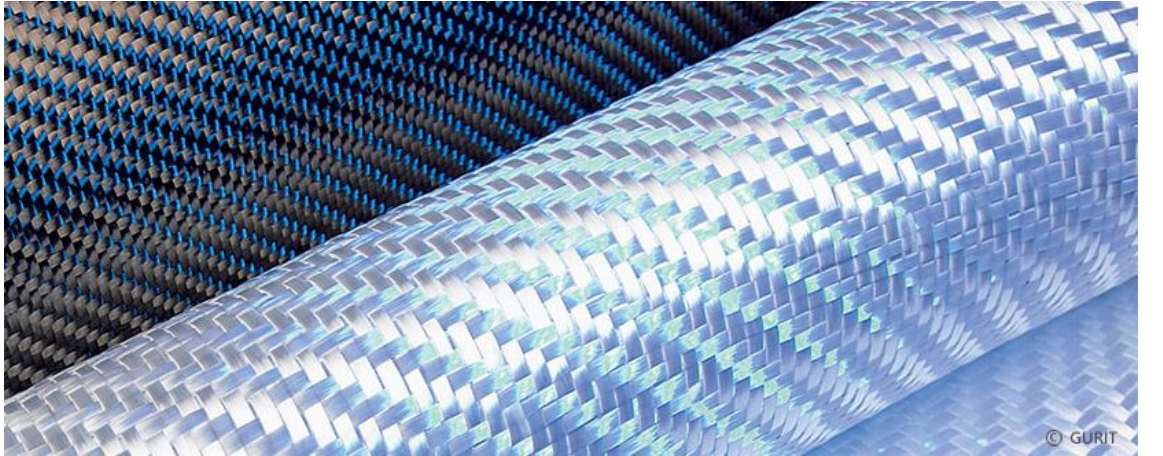
Eğitim hayatım boyunca bana yardımcı olan aileme de sonsuz teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1. Literatür Taraması

Havacılık, uzay, savunma ve otomotiv gibi endüstrilerdeki hızlı teknolojik gelişim ve artan rekabet, yüksek performansa sahip ürünlerin tasarlanmasına bu durum da, hafif ve mukavemeti yüksek malzemelere ihtiyacı gerekli kılmıştır. Bu ihtiyaca cevap vermek üzere, 1960'lı yılların ortalarından itibaren kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve günümüzde kullanım alanları giderek yaygınlaşmıştır.

Özellikle havacılık ve uzay sanayinde kullanılmak üzere, ağırlık açısından metallere göre çok daha hafif, mukavemet açısından ise yüksek olan kompozit malzemeler tasarlanmakta ve üretilmektedir. Kompozit malzemeler (Şekil 1.1a) yüksek özgül mukavemet (kopma dayanımı/yoğunluk) ve yüksek özgül rijitlik (elastisite modülü/yoğunluk) değerlerine sahip olmaları yanında, düşük ısıl genişleme katsayısına ve iyi derecede titreşim sönümlenme karakterine sahip olmaları bakımından da metallere göre önemli avantaj sağlamaktadırlar. Genel bir karşılaştırma yapmak gerekirse; APC-1.0 karbon/epoksi, AISI 4340 çeliğine göre 5 kat daha fazla özgül mukavemete sahiptir.



Şekil 1.1: Kompozit malzeme (WEB_1 2010)

Kompozit malzemeler üzerine birçok çalışma geçmişten günümüze kadar yapılmıştır. Mekanik özellikler üzerinde malzemelerin kullanım yerlerine ve özelliklerine bağlı olarak ihtiyaç duyulan özellikleri elde etmek üzere ısıtma işlemleri uygulanarak istediğimiz mekanik özellikler için değişiklikler yapılmıştır (Vinson ve diğ. 1975). Bundan dolayı bu çalışmada kompozit yapıları bir plakada meydana gelen termal gerilme analizi üzerinde durulmuştur.

Kompozit malzemeler ile ilgili araştırmaların çoğu 20. yüzyılın ikinci yarısından günümüze kadardır. Tabiatta bulunan ilk kompozit malzeme çam ağacıdır. Çam ağacının içi kışın sert ve kırılabilir, yazın ise yumuşak ve esnek. En ilkel kompozit malzeme örneği ise saman takviyeli kerpiçlerdir. Günümüzde en çok kullanılanlar ise; cam fiber reçine, tungsten molibden takviyeli alüminyum, karbon ve fiber takviyeli plastiklerdir(Sayman ve Aksoy 1980).

Bilim adamları, kompozit malzemelerin özellikle son otuz yıldaki gelişimlerine dikkat çekmişlerdir. Daniel ve Ishai'ye göre; fiber takviyeli kompozit malzemeler ilk olarak 1942'de elektrik malzemelerinde, 1970'lerin sonundan başlayarak da havacılık, otomotiv sanayi (Şekil 1.2), ayakkabı (Şekil 1.3a), yüzme paleti (Şekil 1.3b) ve golf sopası (Şekil 1.4a) ve kar kayakları (Şekil 1.4b) gibi spor aletleri yapımında ve biomedikal sanayide kullanılmaya başlanmıştır (Daniel ve İshai 1994).



Şekil 1.2: Otomotiv sanayi (WEB_2 2011)



(a)



(b)

Şekil 1.3: a) Ayakkabı (WEB_3 2012) b) Yüzme Paleti (WEB_2 2011)



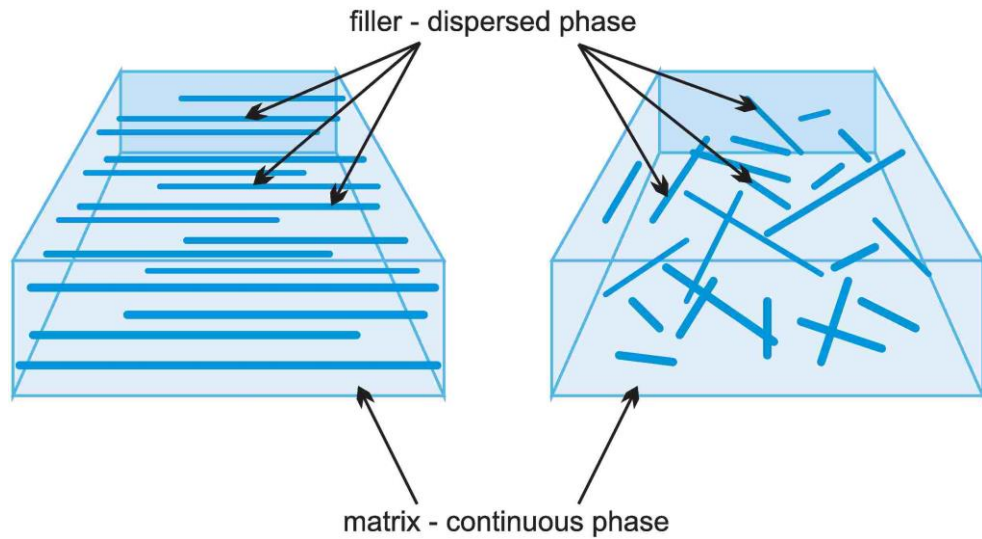
(a)



(b)

Şekil 1.4: a) Golf sopası (WEB_2 2011) b) Kar kayakları (WEB_2 2011)

Tsai ve Azzi (1966), takviyeli kompozitler (Şekil 1.5) için kompozit numuneler üzerinde üst ve alt sınırlar türetmiş fiber takviyeli kompozitler için cam fiber takviyeli reçine kompozitlerdeki deneysel veriler ile uyumlu olan elastik sabitler için bağıntılarını elde etmiştir. Arslan ve Turgut (1996), üzerinde U şeklindeki çentikler açılmış eksenel tekil yüklü düzlem izotropik levhalarda gerilme analizini sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapmışlardır. Anizotropik plaka ve kabukların elasto-plastik sonlu eleman analizi Owen (1983) tarafından araştırılmıştır. Whitney(1969), tarafından tabakalı plakaların davranışlarının analizi için sınır değer çözümüne girmeden açılı dizilmiş plaka problemlerinin lineer denklem çözümleri bulunmuştur. Whitney ve Pagano (1970), dairesel delikli ve sonsuz ortotropik levhada normal gerilme dağılımı için yaklaşık çözüm üzerine çalışmışlardır. Delikli ortotropik levhalarda yaklaşık çözümün kullanılması tasarım ve imalatçılar için çok yararlı olmuştur.

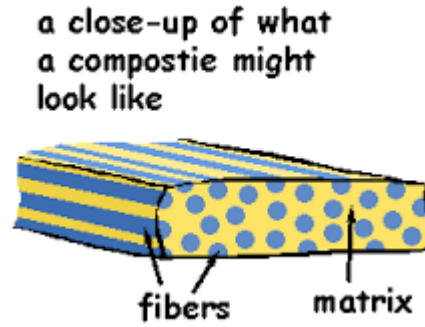


Şekil 1.5: Fiber takviyeli kompozitler (WEB_4 2012)

Kompozit malzemelerin kullanımı günümüzde çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Makine elemanının çalışma ortamına göre, mukavemet, yüksek dirençlilik, ısıya dayanıklılık, yalıtkanlık, yorulma ömrü gibi istenilen özellikleri sağlaması, kompozit malzemeyi avantajlı kılar. Örneğin, malzeme mukavemetinin önemli olduğu bir durumda metal matriksli kompozitlerin kullanımı, cam fiberden imal edilmiş plastiklere göre daha avantajlıdır. Çelik fiber ve alüminyum matrikslerin plastik deformasyonu, geometrik süreksizlik sonucu oluşan gerilme yığılmalarını azaltıcı yönde rol oynar (Gür ve Kaman 2001). 1980'lerde ise seramik ve metal matriksler kullanılmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren uzay sanayide de yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır (Adin 2001).

Zienkiewicz, Von-Misses ve Coulomb akma kriterlerini kullanarak farklı mühendislik problemlerinde plastik bölgelerin yayılışını incelemiştir (Zienkiewicz ve Valliapan 1969). Özbay (1999), basit mesnetli simetrik ve antisimetrik kompozit plakaların düzlemsel olarak yüklenmesi ile elasto-plastik gerilme analizini yapmıştır. Çok sayıda iterasyon kullanılarak sonlu elemanlar metodu ile çözüm yapılmıştır. Özer ve Özbay (2004) tarafından düzlemsel yüklenmiş ortasında dairesel delik bulunan kompozit plakta oluşan elastik gerilmeler sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanmıştır. Adin (2001), düzlemsel yüklü tabakalı kompozit malzemelerde elasto-plastik gerilme analizi yapmıştır. Deliksiz malzemede, değişik iterasyon sayılarında gerilme analizleri yapmıştır.

Camanho ve Matthews (1999), Hashin hasar kriterini kullanılarak, karbon fiber takviyeli plastiklerde (Şekil 1.6) mekanik olarak tutturulmuş bağlantıların 3 boyutlu modelinin oluşturulmasını ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasıyla ilgili bir çalışma yayımlamışlardır. Aktaş ve Karakuzu (1999), Tsai-Hill ve fiber çeki-bası hasar kriterlerini kullanarak, keyfi oryantasyona sahip mekanik olarak tutturulmuş karbon fiber takviyeli epoksi kompozit plakalardaki hasar analizini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır.

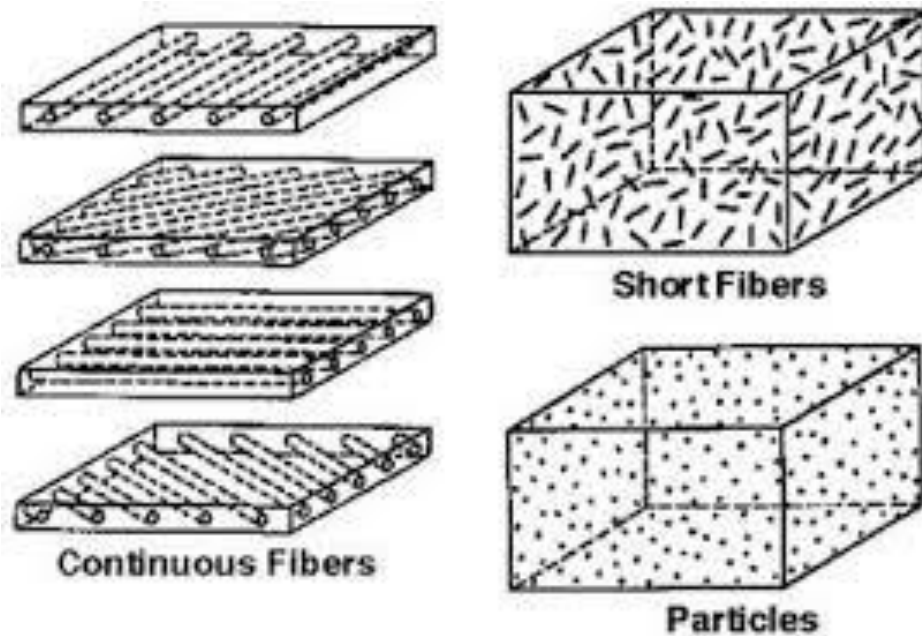


Şekil 1.6: Karbon fiber takviyeli plastikler (WEB_5 2013)

1.2. Kompozit Malzemeler

Belirli şartlar ve belirli oranlarda fiziksel olarak istenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı özelliklerdeki iki ya da daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak durumda makro yapıda bir araya getirerek elde edilen malzemelere kompozit malzemeler denir.

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme ve bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunur. Bu iki malzeme grubundan fiber malzeme plastiklerde (Şekil 1.7), kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. 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 ilerlemesinin önüne geçilmiş olunur.



Şekil 1.7: Fiber malzeme (WEB_6 2013)

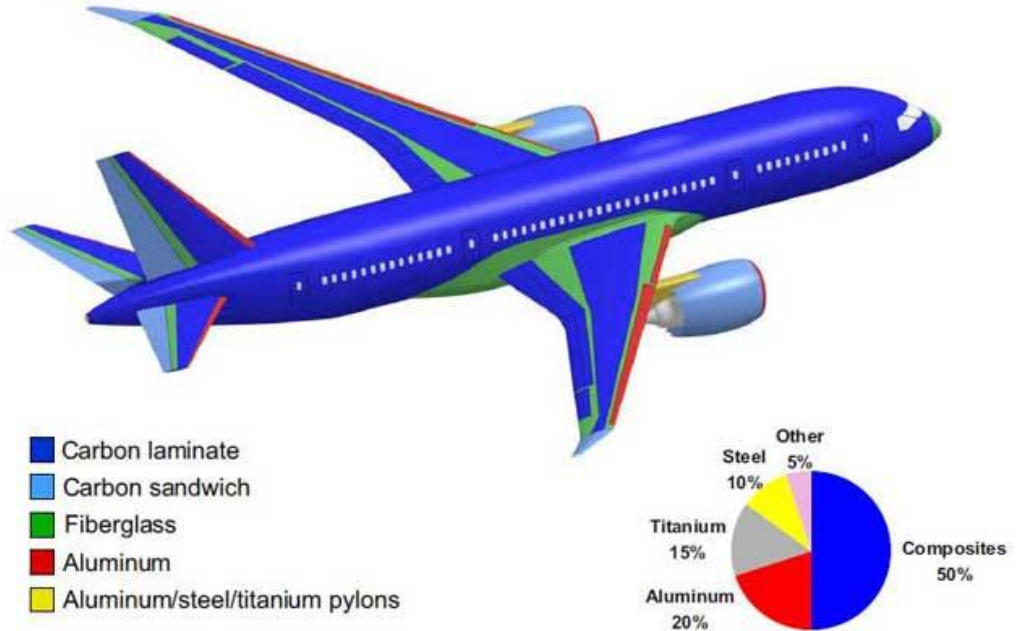
1.2.1 Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı inşaat sektörüdür. Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindedir. Sonraları taş, kum, kireç, demir ve çimento ile oluşturulan kompozit malzemeler kullanılmıştır. Otoyollar, asfalt ve çakıl taşı karışımı ile daha düzgün ve doğrusal bir yapı ile dayanımı artırılmıştır. Teknolojinin gelişimine paralel olarak elektrik enerjisi naklinde kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. İyi bir iletken olan bakır fiberler ile hafif metal olan alüminyum matris kullanılarak, enerji nakli daha verimli hale getirilmiştir.

Kompozit malzemeler el aletleri, elektrik ve elektronik, havacılık, mobilya, otomotiv sanayinde, tarım, inşaat, taşımacılık sektöründe, iş makinelerinde, şehircilik uygulamaları gibi geniş bir alanda uygulaması mevcuttur. Kompozit malzemeler artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni birçok sektörde farklı amaç için kullanılmaktadır. 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 karmaşık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlanmaktadır. Kompozitler, elektronik, elektroteknik ve elektrik sanayinde de amaca uygun özellikleri ve taşıdığı üstün nitelikler nedeniyle (başta elektriksel izolasyon olmak üzere) her türlü elektrik ve elektronik malzemelerin yapımında, üretim malzemesi olarak kullanılırlar.

Havacılık sanayinde kompozitler, gün geçtikçe daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri (Şekil 1.8), uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadırlar. F - 14 uçaklarının kapıları, yatay kuyrukları ve kaplamalarda, yatay kuyruk yüzeylerinde, F - 15 uçaklarının kanatçıklarında, istikimat dümenlerinde, yatay ve dikey kuyruklarında, sürat frenlerinde, dengeleyici yüzeylerinde kullanılır. F - 16 uçaklarının yatay ve dikey kuyruklarında, ön kenar kanatçıklarında, dikey kanatçık yüzeylerinde kullanılır. B - 1 uçağının kapılarında, yatay ve dikey kuyruklarında, kanatçıklarında kullanılır. AV - 8B uçaklarının kapılarında, istikamet dümenlerinde, yatay ve dikey kuyruklarında,

kanatçıklarında, kapaklarında, kaplamalarında kullanılır. Boeing 737 uçaklarının arka kanatçıklarında, yatay dengeleyicilerinde ve kanatlarında kullanılır. Boeing 757 uçaklarında kapılarında itikamet dümenlerinde, pervanelerinde, kanatçıklarında ve kaplamalarında kullanılır. Boeing 767 uçaklarının yine aynı bölgelerinde kullanılırlar.



Şekil 1.8: Uçak modelleri (WEB_7 2013)

İş makinalarının koruma kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı azaltılabilmekte, tek parça üretim mümkün olabilmektedir.

Kompozitler tarım sektöründe, sera, ilaçlama depoları, tahıl depolama siloları, drenaj suyu boruları ve sulama kanalları yapımında kullanılmaktadır. Burada üreticiye, seri üretim imkanları, kolay montaj, düşük yatırım imkanı, düşük kalıp maliyeti, kapasitenin tam kullanılabilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır.

İnşaat sektöründe kompozitler önemli kullanım alanına sahiptir. Cephe kaplamaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları, ondüle levhalar birer kompozit malzeme uygulamalarıdır. Üreticiye, tasarım esnekliği ve kolaylığı, ucuz izolasyon, hafiflik, montajda ve nakliyede kolaylık gibi imkanlar

sağlar. Kullanıcıya da hafiflik bakım giderlerinin en aza indirgenmesi, izolasyon problemine çözüm ve yüksek mekanik dayanımı gibi faydalar sağlamaktadır.

Taşımacılık sektöründe, frigorifik kamyon kasaları, nakliye tankerleri, kamyon kasaları gibi üretimler yapılmaktadır. Üreticiye kolay kalıplama imkanı, malzemelerden tasarruf ve düşük maliyet gibi avantajlar son kullanıcıya da yüksek ısı yalıtımı ve kolay temizlenebilirlik gibi kolaylıklar sağlamaktadır.

Çevre ve şehircilik planlama ve uygulamalarında ise kompozitler toplu konut yapımında ve heykel, çöp bidonu, elektrik direği, banklar gibi çevre güzelleştirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Üreticiye çok sayıda standart ürünün kısa zamanda imal edilebilmesi, montajdan tasarruf, ucuz maliyet, hafiflik gibi imkanlar sağlar. Kullanıcıya, yüksek yalıtım kapasitesi ve yüksek mekanik dayanım imkanları sağlar. Bunun yanında, kompozitlerin bu alanda kullanılması, estetik, mahalli idarelere de ekonomik avantajlar sağlamaktadır.

Kompozitlerden, mobilya sanayinde geniş bir şekilde faydalanılmaktadır. Masa sandalye, sehpa, koltuk, kütüphane, mutfak dolapları, çiçek saksıları ve dekoratif eşyalar yapılmaktadır. Üreticiye, seri ve ucuz ürün eldesi, kolay model değiştirme, tasarımda kolaylık ve esneklik gibi faydalar sağlar. Kullanıcıya, yüksek mekanik dayanım, alışılmışın dışında farklı görünüm ve tasarım gibi yararlar sağlamaktadır.

1.2.2 Kompozit malzemelerin kullanımındaki olumlu ve olumsuz yönleri

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre önem kazanmaları, bu malzemelerin değişik uygulamalarda belirgin özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu özellikler; çekme, basma, eğilme, akma, sürünme, yorulma mukavemeti, sertlik, tokluk, rijitlik, aşınma direnci gibi mekanik özellikler, elektriksel iletkenlik ve yalıtkanlık, manyetik özellikler, yoğunluk vb. fiziksel özelliklerle, kararlılık, korozyon direnci gibi kimyasal özelliklerdir. Malzeme seçimi ve tasarımından önem kazanan ve değişik tekniklerle ölçülebilen bu özelliklerin yanında, malzemenin birim maliyeti, kolay bulunabilirlik, işlenebilme ve şekillendirebilme gibi diğer faktörler de mühendis ve işletmecilerin her zaman göz önünde bulundurdıkları faktörlerdir. Uygulamada pek çok durumda elimizdeki malzemenin bahsettiğimiz malzeme özelliklerinin çoğuna sahip olması beklenir. Kompozit malzemelerin avantajlı özellikleri yüksek mukavemet, kolay şekillendirilebilme, elektriksel ve ısı özellikleri, titreşimi sönmüleyebilme, korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet, kalıcı renklendirme gibi avantajları ile açıklanabilir.

Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri birçok metal malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve istenen bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf yapılarak daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir. Büyük ve karmaşık parçaların üretim metotlarında tek işlemle tek parça halinde kalıplanabilir. Bu ise malzeme ve işçilikten kazanç sağlar. Uygun malzemelerin seçilmesiyle, çok üstün elektriksel ve özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir. Böylece istenilen oranlarda madde ilavesi sonucu istenilen ısı özellikleri elde etmek mümkün olmaktadır.

Kompozit malzemelerin, süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönmüleme ve darbe şoklarını yutabilme özellikleri vardır ve bu özellikleri metallere önemli ölçüde fazladır. Çatlak yürümesi olayı da böylece en az seviyeye indirgenmiş olmaktadır.

Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler, kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörleri, yelkenli (Şekil 1.9a), sörf (Şekil 1.9b), kotra (Şekil 1.10a), kayak (Şekil 1.10b) ve deniz araçları (Şekil 1.11) yapımında güvenle kullanılmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 1.9: a) Yelkenli (WEB_2 2011) b) Sörf (WEB_2 2011)



(a)



(b)

Şekil 1.10: a) Kotra (WEB_2 2011) b) Kayık (WEB_2 2011)



Şekil 1.11: Deniz araçları (WEB_8 2013)

Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem de ek bir masraf ve işçilik gerekmeden yapılabilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle beraber yeni uygulama alanlarında gittikçe daha karmaşık malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı uygulamalarda, malzemenin yüksek bir sertlik değerinin yanı sıra yüksek tokluk özelliğine de sahip olması ve darbe enerjilerini sönmüleme etkisi istenebilir. Metal ve metal alaşımları gibi klasik mühendislik malzemelerinde bu istenilen özelliklerin birlikte kazanılması oldukça zordur. Yüksek sertlikteki malzemelerle, yumuşak, sünek malzemelerin kompozit şeklinde tasarımları bu tür uygulamalar için bir çözüm yolu izlemeyi sağlamaktadır.

Kompozit malzemelerin olumlu yönleri olduğu gibi olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri, malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkiler. Kompozit malzemeler, değişik doğrultularda, değişik özellikler gösterirler. Çekme, basma, kesme operasyonları uygulanan aynı kompozit numunelerin liflerinde açılma meydana geldiğinden, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez. İyi tanımlanmamış tasarım özellikleri varsa, bundan dolayı ham malzeme açısından en yüksek imalat verimliliğine ulaşılamaması olumsuz bir yön olur.

Kompozit malzemelerin mantığı gereği, bir tür malzemenin olumsuz özellikleri mevcutsa bu özellik mevcut kompozit malzemeye yansır. Örneğin; kompoziti oluşturan matris organik çözücülere karşı dayanıksız ise, onun oluşturduğu kompozite de bu olumsuzluk yansır. Dolayısıyla bu kompozit malzemelerin, organik çözücülerin bol miktarda bulunduğu bir ortamda kullanılmaması gerekir. Aynı mantık, sıcaklık, nem v.s gibi kimyasal etkiler açısından da yürütülebilmektedir.

1.2.3 Kompozit malzemelerin çeşitleri

Kompozit malzemeleri, yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Matris malzemesinin türüne göre plastik kompozitler, metalik kompozitler, seramik kompozitler gibi bir gruplandırma yapılabildiği gibi yapı bileşenlerinin şekillerine göre de partikül esaslı kompozitler, lamel esaslı, fiber esaslı kompozitler, dolgulu “kafes” kompozitler, tabaka yapılı kompozitler şeklinde de çeşitleri bulunmaktadır.

1.2.3.1 Yapılarını oluşturan malzemelere göre kompozitler

1.2.3.1.1 Plastik – plastik kompozitler

Fiber olarak kullanılan plastik, yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik, esneklik verici, darbe emici yada istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Kullanılabilecek plastik türleri de termosetler ve termoplastikler olarak iki ayrı sınıfta incelenebilir.

Termoplastikler, ısıtıldığında yumuşar ve şekillendirildikten sonra soğutulduğunda sertleşir. Bu işlem sırasında plastiğin mikroyapısında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir. Genellikle 5 ile 50 °C sıcaklıklar arasında kullanılabilirler. Termoplastik grubuna naylon, polietilen, karbonflorür, akrilikler, selülozikler ve viniller girerler.

Termoset plastiklerde ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında artık mikro yapıda oluşan değişim nedeniyle eski yapıya dönüşüm mümkün olmamaktadır. Bu grubun belli başlı plastikleri polysterler, epoksiler, alkitler ve aminlerdir.

1.2.3.1.2 Plastik – metal fiber kompozitler

Endüstride çok kullanılan bir tür olan metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler oldukça mukavemetli ve hafif bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kompozitler, bakır, bronz, alüminyum, çelik gibi metal fiberleri polietilen ve polipropilen plastiklerini takviyelendirmesi ile elde edilmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle deformasyon yönünden takviyelendirilme yaygın olarak kullanılmakta ve iyi bir verim alınmaktadır.

1.2.3.1.3 Plastik – cam elyaf kompozitler

İsteğe göre termoplastikler veya termoset, plastikten oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonlarından üretilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle cam lifler birçok durumda metal, asbest, sentetik elyaf ve pamuk ipliği gibi liflere tercih edilebilirler. Ancak cam elyafı kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılma olmasından dolayı çok küçük dirençlidirler. Bu tür malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanılan plastik reçineler uygun seçilerek, arzu edilen şekle sokulabilir. Plastik reçineler de, daha önce belirtildiği gibi termoplastik ve termoset türünde olmaktadır. Termoset plastikler, fiberlerin de düzgün oryantasyonu ile yüksek mukavemete ulaşabilirler. Cam elyaf takviyeleri ile en çok kullanılan plastik reçineler, polyesterlerdir.

1.2.3.1.4 Plastik – köpük kompozitler

Plastik – köpük kompozitlerde plastik, fiber olarak görev yapmakta, köpük ise matris konumunda olmaktadır. Köpükler, hücreli yapıya sahip, düşük yoğunlukta, gözenekli ve doğal halde bulunduğu gibi, büyük bir kısmı sentetik olarak imal edilmiş hafif maddelerdir. Köpük hücre yapısına göre sert, kırılma, yumuşak ya da elastik olabilmektedir. Matris olarak kullanılan bu köpük türleri, kullanılan plastiğin de çeşitlenebilmesiyle değişik özellikte kompozit malzemelerin oluşumunu sağlayabilmektedir.

1.2.3.1.5 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 vermektedirler. Bakır ve Alüminyum matrisli, Wolfram veya Molibden fiberli kompozitler ve Al - Cu kompoziti, bu kompozisyonu veren en iyi örneklerdir. Bu tip kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi bu özelliklere daha ekonomik olarak ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu kompozitlerde metal matris içine gömülen ikinci faz, sürekli lifler şeklinde olabildiği gibi, gelişi güzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir.

1.2.3.1.6 Seramik kompozitler

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleşimlerinden 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 de gösterirler.

1.2.3.2 Yapı bileşenlerinin şekline göre kompozitler

1.2.3.2.1 Partikül esaslı kompozitler

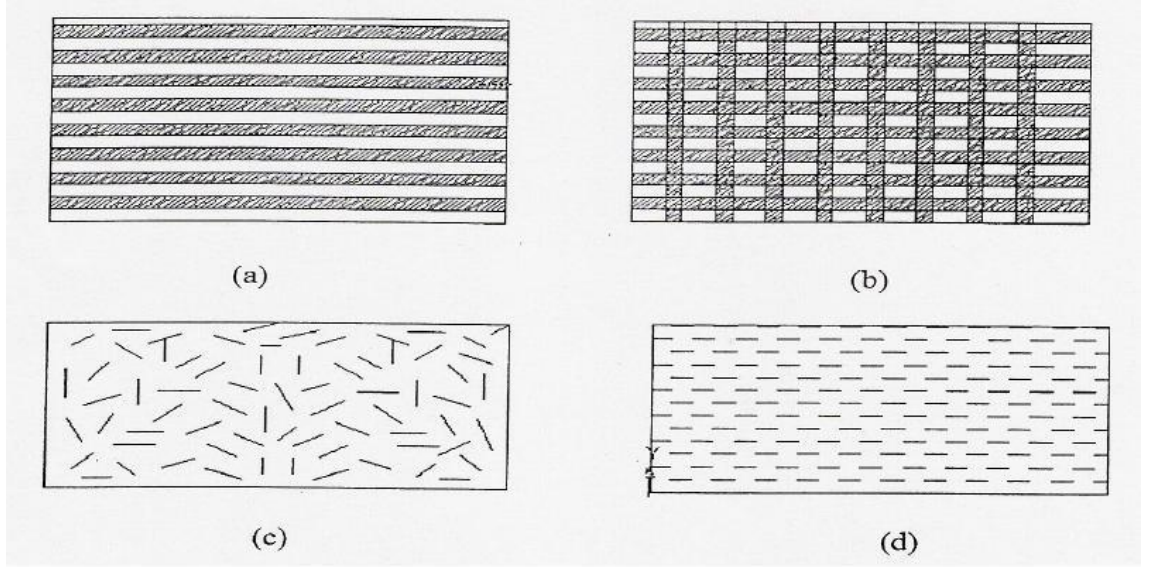
Rijitlik ve mukavemette artış sağlayan küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle şekillendirilerek üretilirler. Partikül kompozitler, bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Partikül takviyeli kompozitleri fiber ve pul kompozitlerden ayırt eden karakteristik özellikleri, partiküllerin matris içinde tamamen rastgele dağılması ve bu nedenle malzemenin izotropik özellik göstermemesidir. Partikül esaslı kompozitlerin maliyeti düşük ve rijitliği de oldukça iyidir.

1.2.3.2.2 Lamel esaslı kompozitler

Yüksek yük taşıma kabiliyeti olan büyük uzunluk/çap oranında dolgu malzemesi ilave edilerek üretilirler. Matris içinde yer alan pulların yoğunluğu düşük olabileceği gibi birbiri ile temas etmelerini sağlayacak derecede yüksek değerlerde olabilirler. Düzlemsel yapıya sahip pullarla sıkı paketlenme ile elde edilir. Pul esaslı sistemin maliyeti biraz daha fazla ancak mukavemet özellikleri iyidir.

1.2.3.2.3 Fiber esaslı kompozitler

Birçok özelliklerde artış sağlayan, yüksek etkinliği olan liflerin ilavesiyle elde edilir. Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinden mukavemet ve rijitlikleri kütle halindeki değerlerinden çok üst düzeyde olabilmektedir. Örneğin karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği 3 kat daha yüksektir. Fiberlerin bu özelliğinin fark edilmesiyle fiber kompozitlerin üretilmesi süreci başlamıştır. Günümüzde düşük performanslı ev eşyalarından roket motorlarına kadar kullanım alanı bulan malzemeler olmuşlardır. Fiberler yapı içerisinde kesintisiz uzayan sürekli fiberler (Şekil 1.12a ve Şekil 1.12b) veya uzun fiberlerin kesilmesiyle elde edilen süreksiz fiberler veya elyaflar (Şekil 1.12c ve Şekil 1.12d) şeklinde olabilirler. Fiber - matris kompozitlerinin mühendislik malzemesi performansını etkileyen en önemli faktörler fiberlerin şekli, uzunluğu, yönlenmesi matrisin mekanik özellikleri ve fiber - matris ara yüzey özellikleridir. Fiberler dairesel olduğu gibi daha nadiren dikdörtgen, hegzagonal, poligonalsal ve içi boş dairesel kesitli olabilir. Bu kesitlerin paketlenme, yüksek mukavemet gibi bazı olumlu özellikleri olmakla birlikte dairesel kesitler maliyeti ve kullanım kolaylığı ile üstünlük sağlar. Sürekli fiberlerle çalışmak genelde daha kolay olmakla beraber tasarım serbestliği süreksizlere göre çok daha sınırlıdır. Sürekli fiberler süreksizlerden daha iyi yönlenme göstermelerine karşılık, süreksiz fiberlerin kullanılması daha pratik sonuçlar vermektedir.



Şekil 1.12: Değişik tipteki fiber kompozitler; a) Tek yönlü pekiştirilmiş sürekli fiber kompozit, b) Örgü formunda fiberlerle pekiştirilmiş kompozitler, c) Rastgele yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozit, d) Yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozit

1.2.3.2.4 Dolgu kompozitler

Üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine üç boyutlu dolgu maddesi ile doldurulması ile oluşan malzemelerdir. Matris çeşitli geometrik şekillere sahip bir iskelet veya şebeke yapısındadır. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Optimum özelliklere sahip kompozitlerin üretimi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir.

1.2.3.2.5 Tabaka yapılı kompozitler

Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın birleşiminden oluşur. Çok değişik birleşimlerle tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, farklı fiber yönlendirilmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

1.3 Tezin Amacı ve Tanıtımı

Bu tezin amacı, metal matriksli düzlem yüklü kompozit levhada gerilme analizinin yapılması ve yorumlanmasıdır. Kompozit malzemelerde özellikle elasto-plastik davranış gösteren tabakalı kompozit plakalarda kesit boyunca sabit ve değişken termal yük altında genleşme ve büzülmeden dolayı oluşan ısıl gerilmeler büyük önem taşımaktadır. Plaka kesitinde oluşan bu gerilmeler takviye elemanı olan elyafın diziliş açısına, kullanılan matriks malzemeye ve tabakaların dizilmesinde simetrik ve anti-simetrik olması gibi önemli parametrelere bağlıdır. İlk akmayı başlatan yükleme değerinden başlanarak, levhaya uygulanan üniform yayılı termal yükleri kademeli olarak arttırılmıştır. Bu tezde, sonlu elemanlar metodu üzerine yazılmış ANSYS paket programı kullanılarak, farklı elyaf takviye açılarına sahip simetrik olarak dizilmiş kompozit plakalar modellenecek ve sabit, değişken termal yük altında tabakalarda oluşacak elasto-plastik gerilme analizleri yapılacaktır. Elasto-plastik gerilme analizinde ANSYS paket programının kullanım özelliklerinden faydalanılacaktır. Elde edilen sonuçlar analitik çalışmalar ile elde edilmiş sonuçlar ile mukayese edilecektir. Kompozit plakalardaki analitik çözüm metodlarını nümerik yolla ANSYS paket programında doğruluğunu göstererek literatüre katkı sağlanacaktır.

Tezin ikinci bölümünde analitik yöntemle kompozit plakalarda gerilme analizinden bahsedilecektir.

Tezin üçüncü bölümünde sonlu eleman metodu kullanılarak ANSYS programı kullanılarak nümerik yöntemle çözüm anlatılacaktır.

Tezin dördüncü bölümünde yapılan çalışmanın analitik ve nümerik veriler kıyaslanacak değerlendirilmesi yapılacaktır.

Tezin beşinci bölümünde yapılan çalışmanın sonuçları verilecektir.

2. KOMPOZİT PLAKALARDA ANALİTİK YÖNTEMLE GERİLME ANALİZİ

Kompozit yapıların mukavemetlerinin belirlenmesi ve gerilme analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle kompozit malzemelerde gerilme-şekil değiştirme bağıntısının incelenmesi gerekmektedir (Kaw 1997). Genelleştirilmiş Hooke kanunu üç boyutlu bir cisim için şu şekilde yazılabilir;

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots 2.1$$

Yukarıda matris şeklinde belirtilen gerilme-şekil değiştirme bağıntısı şu şekilde de ifade edilebilir:

$$\sigma_k + C_{kj} \varepsilon_j \longrightarrow (k, j = 1, 2, \dots, 6) \dots\dots\dots 2.2$$

Burada C_{kj} elastiklik katsayılarıdır.

2.1 denkleminde belirtilen ilişki anizotropik malzemeler için geçerlidir ve Hooke kanununun en genel halidir. Tek yönlü elyaf takviyeli kompozit tabakalarda tüm elyafların birbirine paralel olduğu kabul edilirse, bu tür malzemelerin ortotropik malzeme olduğu söylenebilir. Ortotropik malzemelerde birbirlerine dik doğrultuda üç eksenle simetrik malzeme özelliği mevcuttur. Bu malzemeler için gerilme - şekil değiştirme ilişkisi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & C_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots 2.3$$

Yukarıdaki ilişkide $[C]$, katılık matrisini ifade etmektedir. Katılık matrisinin elemanları mühendislik sabitleri cinsinden şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned}
C_{11} &= \frac{1 - \nu_{23}\nu_{32}}{E_2 E_3 \Delta}, \quad C_{22} = \frac{1 - \nu_{13}\nu_{31}}{E_1 E_3 \Delta}, \quad C_{12} = \frac{\nu_{21} - \nu_{31}\nu_{23}}{E_2 E_3 \Delta} = \frac{\nu_{12} - \nu_{32}\nu_{13}}{E_1 E_3 \Delta} \\
C_{23} &= \frac{\nu_{32} - \nu_{12}\nu_{31}}{E_1 E_3 \Delta} = \frac{\nu_{23} - \nu_{21}\nu_{13}}{E_1 E_3 \Delta}, \quad C_{13} = \frac{\nu_{31} - \nu_{21}\nu_{32}}{E_2 E_3 \Delta} = \frac{\nu_{12} - \nu_{12}\nu_{23}}{E_1 E_2 \Delta} \\
C_{33} &= \frac{1 - \nu_{12}\nu_{21}}{E_1 E_2 \Delta}, \quad C_{44} = G_{23}, \quad C_{55} = G_{31}, \quad C_{66} = G_{12} \dots \dots \dots 2.4
\end{aligned}$$

Burada;

$$\Delta = \frac{1 - \nu_{12}\nu_{21} - \nu_{23}\nu_{32} - \nu_{31}\nu_{13} - 2\nu_{21}\nu_{32}\nu_{13}}{E_1 E_2 E_3}$$

Gerilme-şekil değıştirme ilişkisi bir başka şekilde aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

$$\varepsilon_i = S_{ij} \sigma_j \longrightarrow i, j = 1, 2, \dots, 6 \dots \dots \dots 2.5$$

[S] uygunluk matrisi olarak isimlendirilmektedir ve [C] katılık matrisinin tersidir. Ortotropik malzemeler için uygunluk matrisi [S] mühendislik sabitleri cinsinden şu şekilde yazılabilir:

$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & -\frac{\nu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{21}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_1} & -\frac{\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{31}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \dots \dots \dots 2.6$$

Böylelikle ortotropik malzemelerde şekil değıştirme-gerilim ilişkisi;

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \dots \dots \dots 2.7$$

şeklinde yazılır.

Burada,

$$S_{11} = \frac{1}{E_1}, S_{12} = -\frac{\nu_{12}}{E_1} = -\frac{\nu_{21}}{E_2}, S_{13} = -\frac{\nu_{13}}{E_1} = -\frac{\nu_{31}}{E_3}, S_{23} = -\frac{\nu_{23}}{E_2} = -\frac{\nu_{32}}{E_3}$$

$$S_{11} = \frac{1}{E_2}, S_{31} = \frac{1}{E_3}, S_{44} = \frac{1}{G_{23}}, S_{55} = \frac{1}{G_{31}}, S_{66} = \frac{1}{G_{12}} \dots \dots \dots 2.8$$

İnce cidarlı ortotropik kompozit levhalarda eğer düzlem dışında kuvvet uygulanmıyorsa, düzlemsel gerilme durumu söz konusudur. Bu durumda;

$$\sigma_3 = 0 \quad \tau_{23} = 0 \quad \tau_{31} = 0$$

$$\sigma_1 \neq 0 \quad \sigma_2 \neq 0 \quad \tau_{12} \neq 0 \dots \dots \dots 2.9$$

Ortotropik malzemede, düzlemsel gerilme durumu için uygunluk matrisi elemanları;

$$\varepsilon_{13} = S_{13}\sigma_1 + S_{23}\sigma_2, \quad \gamma_{23} = 0 \quad \gamma_{31} = 0$$

$$S_{13} = -\frac{\nu_{13}}{E_1} = -\frac{\nu_{31}}{E_3}, \quad S_{23} = -\frac{\nu_{23}}{E_2} = -\frac{\nu_{32}}{E_3} \dots \dots \dots 2.10$$

şeklinde yazılır. Böylece ortotropik malzemelerde, düzlemsel gerilme hali için

Hooke kanunu şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{12} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \dots \dots \dots 2.11$$

Burada,

$$S_{11} = \frac{1}{E_1}, S_{12} = -\frac{\nu_{21}}{E_1} = -\frac{\nu_{12}}{E_2}, S_{22} = \frac{1}{E_2}, S_{66} = \frac{1}{G_{12}} \dots \dots \dots 2.12$$

şeklindedir. 2.11 denkleminde belirtilen şekil değiştirme – gerilme bağıntısı, gerilme – şekil değiştirme bağıntısı olarak yazıldığında,

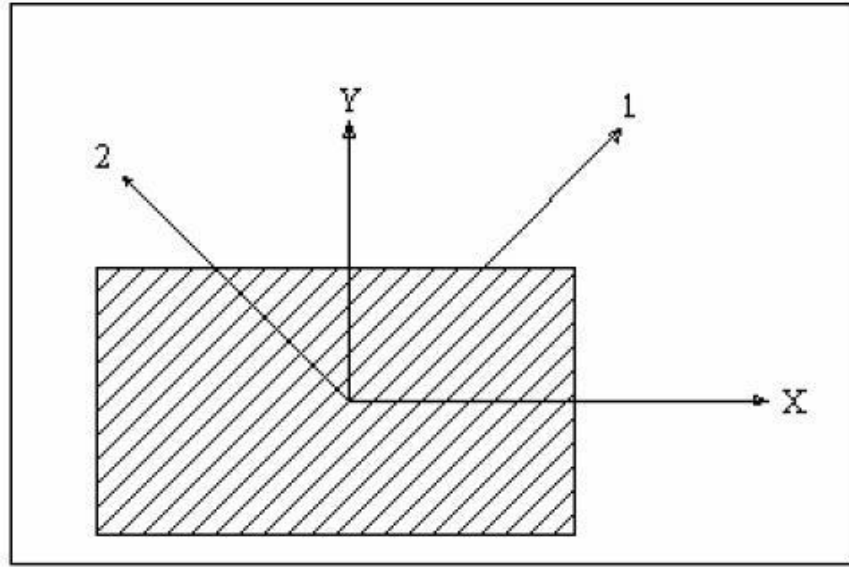
$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \dots \dots \dots 2.13$$

elde edilir. 2.13 denklemindeki Q_{ij} matrisi indirgenmiş elastisite matrisi olarak tanımlanır ve bu matrisin elemanları,

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}}, Q_{22} = \frac{E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}}, Q_{12} = \frac{\nu_{21}E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} = \frac{\nu_{12}E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}}, Q_{66} = G_{12} \dots \dots \dots 2.14$$

şeklinde ifade edilir.

Tabakalar genellikle farklı açılı tabakalardan meydana gelir. Bunun sebebi farklı yönlerde de yüksek mekanik özellikler elde etmektir. Tabakalarda kullanılan koordinat sistemi 1-2 olarak isimlendirilir. 1 nolu yön takviye elemanının (elyaf) yönünü belirtir. 2 nolu yön ise takviye elemanına dik olan yönü gösterir (Şekil 2.1). X-y koordinat sistemi ile 1-2 koordinat sistemi açılı tabakalarda çakışmaz. Bu durumda x-y koordinat sistemi ile 1-2 koordinat sistemi arasındaki bağıntı dönüşüm matrisi ile aşağıda belirtildiği gibi sağlanır (Kaw1997).



Şekil 2.1: Eksen takımlarının gösterilişi

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.15$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{\gamma_{12}}{2} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.16$$

şeklinde yazılır. T matrisi dönüşüm matrisi olarak adlandırılır,

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2 \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2 \sin \theta \cos \theta \\ -\sin \theta \cos \theta & \sin \theta \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.17$$

ile ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.18$$

Benzer olarak şekil değiştirme ifadesi;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{\gamma_{12}}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.19$$

$$[T]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & -2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & 2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \\ \sin \theta \cdot \cos \theta & -\sin \theta \cdot \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.20$$

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.21$$

Burada [R] Router matrisidir. Router matrisi işleme sokulduğunda şekil değişimi bileşenleri vektörü daha basit bir hale dönüşür. Bu durumda γ , xy büyüklüğünde $\frac{1}{2}$ çarpanı ortadan kalkar.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = [R] \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{\gamma_{12}}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.22$$

1,2 ve x,y eksenlerinin birbiri ile çakışık olması durumunda, gerilme-şekil değiştirme bağıntısı,

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [Q] \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.23$$

yazılır. 1,2 ve x,y eksenlerinin birbirleri ile çakışmama durumunda ise genel ifade aşağdaki işlem basamakları ile bulunur.

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [Q] \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.24$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot [Q] \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.25$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [R] \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{\gamma_{12}}{2} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [R] \cdot [T] \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.26$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [R] \cdot [T] \cdot [R]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.27$$

Bu işlemlerde [R] [T] [R]⁻¹ ifadesi T matrisinin transpozesidir.

$$[T]^T = [R] \cdot [T] \cdot [R]^{-1} \dots\dots\dots 2.28$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [T]^T \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.29$$

$$[\bar{Q}] = [T]^{-1} \cdot [Q] \cdot [T]^T \dots\dots\dots 2.30$$

θ açısı x eksenini ile 1 eksenini arasındaki açı olarak ele alınırsa xy koordinatlarına göre gerilme-şekil değiştirme ifadesi,

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [\bar{Q}] \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{12} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{16} & Q_{26} & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.31$$

Burada Q_{ij}, indirgenmiş rijitlik matrisini göstermektedir. 3.30 denklemini çözümlerse,

$$\bar{Q}_{11} = m^4 Q_{11} + n^4 Q_{22} + 2m^2 n^2 Q_{12} + 4m^2 n^2 Q_{66}$$

$$\bar{Q}_{22} = n^4 Q_{11} + m^4 Q_{22} + 2m^2 n^2 Q_{12} + 4m^2 n^2 Q_{66}$$

$$\bar{Q}_{12} = m^2 n^2 Q_{11} + m^2 n^2 Q_{22} + (m^4 + n^4) Q_{12} - 4m^2 n^2 Q_{66}$$

$$\bar{Q}_{16} = m^3 n Q_{11} - m n^3 Q_{22} + (m n^3 - m^3 n) Q_{12} + 2(m n^3 - m^3 n) Q_{66}$$

$$\bar{Q}_{26} = m n^3 Q_{11} - m^3 n Q_{22} + (m^3 n - m n^3) Q_{12} + 2(m^3 n - m n^3) Q_{66}$$

$$\bar{Q}_{66} = m^2 n^2 Q_{11} + m^2 n^2 Q_{22} - 2m^2 n^2 Q_{12} + (m^2 - n^2)^2 Q_{66}$$

$$m = \cos \theta \text{ ve } n = \sin \theta \dots\dots\dots 2.32$$

ifadeleri bulunur.

Şekil değiştirme - gerilme bağıntısının oluşturulabilmesi için benzer şekilde indirgenmiş uygunluk matrisinin (S_{ij}) tanımlanması gerekir.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{12} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.33$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^T [Q] [T] \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.34$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{11} & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{16} \\ \bar{S}_{12} & \bar{S}_{22} & \bar{S}_{26} \\ \bar{S}_{16} & \bar{S}_{26} & \bar{S}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 2.35$$

$$[T]^T = [R] [T]^{-1} [R]^{-1} \dots\dots\dots 2.36$$

$$[\bar{S}] = [T]^T [S] [T] \dots\dots\dots 2.37$$

Yukarıdaki denklemler özildiğinde,

$$\begin{aligned} \bar{S}_{11} &= m^4 S_{11} + n^4 S_{22} + 2m^2 n^2 S_{12} + 4m^2 n^2 S_{66} \\ \bar{S}_{22} &= n^4 S_{11} + m^4 S_{22} + 2m^2 n^2 S_{12} + 4m^2 n^2 S_{66} \\ \bar{S}_{12} &= m^2 n^2 S_{11} + m^2 n^2 S_{22} + (m^4 + n^4).S_{12} - 4m^2 n^2 .S_{66} \\ \bar{S}_{16} &= m^3 n.S_{11} - mn^3 .S_{22} + (mn^3 - m^3 n).S_{12} + 2(mn^3 - m^3 n).S_{66} \\ \bar{S}_{26} &= mn^3 S_{11} - m^3 n.S_{22} + (m^3 n - mn^3)S_{12} + 2(m^3 n - mn^3).S_{66} \\ \bar{S}_{66} &= m^2 n^2 S_{11} + m^2 n^2 S_{22} - 2m^2 n^2 S_{12} + (m^2 - n^2)^2 S_{66} \end{aligned}$$

$$m = \cos \theta \text{ ve } n = \sin \theta \dots\dots\dots 2.38$$

ifadeleri elde edilir.

Yukarıda, sayısal çözümleme yapılırken kullanılacak olan ortotropik malzemeler için gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları ile farklı oryantasyon açılarına sahip bir tabakadaki gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları verilmiştir.

Malzemeye bir kuvvet uygulandığında malzemede oluşan gerilmeler elasto-plastik gerilme analizi ile öğrenilir. Bu analiz iki adımıdır. Birincisi, yük artışı sırasında elastik

şekil değiştirme hesaplanır ve başlangıç şekil değiştirmesi olarak kabul edilir. İkincisi ise, plastik deformasyon hesaba katılırken her yük artışında gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin de belirlenmesidir.

İyi tanımlanmış elasto-plastik matrisi ile bu artışlı elastisite yaklaşımı, sertleşmiş plastisite için ideal olarak uygulanır. Artışlı elastisite işleminin hesaplama açısından en ciddi olumsuzluğu şudur; yapının matris hesaplaması her adımda değişmektedir. Çözümün iterasyonlu işlemi sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmaktadır. Analizlerde ANSYS paket programından tezin nümerik hesaplama bölümünde yararlanılacaktır.

Başlangıç gerilme yöntemi Zienkiewicz tarafından artışlı elastisite işlemine alternatif bir yaklaşım olarak geliştirildi. Bunun kullanılmasıyla ideal plastisite artışı gerilmeyi tek olarak belirleyen şekil değiştirmede bir ayarlama işlemi oluşturur. Bu durumda başlangıç gerilmeleri yapı boyunca elastik olarak dağıtılmış olur. Başlangıç işleminin başarılı ve hızlı olan bir yaklaşımıdır. Bu yöntemde artık gerilme analizine başlamak için, elasto-plastik bölgelerdeki bir boyutlu çekme örneği kullanılır, daha sonra iki ve üç boyutlu gerilmelere geçilir.

Plastik bölgede gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Ramberg-Osgood tarafından

$$\sigma = \sigma_p + K\varepsilon_p^n \dots\dots\dots 2.39$$

ifadesi ile verilmiştir. Bu bağintı bir çok malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrilerini hassas bir şekilde vermek için kullanılır. Bu bağintıya göre, elastik ve plastik şekil değiştirmeler ayrı ayrı ele alınıp toplanmıştır. 2.39 denklemindeki bağintı toplam şekil değiştirmeye uygulandığında gerilme ve toplam şekil değiştirme arasında şu bağintı ortaya çıkar;

$$\varepsilon = \sigma / E + (\sigma / K)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots 2.40$$

bunlar tek eksenli çekme deneyi sonucu elde edilen çekme eğrisinden alınan değerler yardımıyla hesaplanabilir.

$$\sigma = K\varepsilon_p^n \quad \text{ifadesinin} \quad \text{logaritması} \quad \text{alınırsa,} \quad \log \sigma = \log k + n \cdot \log \varepsilon_p$$

ve $y = a + bx$ şeklinde bir doğru denklemi ortaya çıkar. Buradan K ve n değer-leri bulunur.

Çalışmada iki boyutlu düzlemsel gerilme hali incelendiği için Tsai-Hill kuralına göre elde edilen gerilme eşdeğer gerilme olur.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 - \sigma_1\sigma_2 + (\sigma_2 \cdot x/y)^2 + (\tau_{12} \cdot x/S)^2} \dots\dots\dots 2.41$$

İşleme Arslan ve Turgut (1996)'un belirttiği gibi, akan düğümlerin son iki iterasyonuna ait toplam deplasmanlar farkı 0.001'e ulaşınca kadar devam edilir.

$$\{\sigma_a\} = \{\sigma_p\} - \{\sigma_e\} \dots\dots\dots 2.42$$

Sonuçta artık gerilmeler, 2.42 denkleminde görüldüğü gibi, σ_p plastik gerilmelerden σ_e elastik gerilmelerin çıkarılmasıyla elde edilir (Adin 2001).

Sonlu elemanlar metodu ile elastik sürekli ortamda gerilme ve deformasyon dağılımlarının çözümü yapılabilir. Elastik ortamda temas noktalarının gerçek sayısı sonsuz olduğu için en büyük zorluk buradadır. Değişik şekillerde kullanılabilmesi, sınır şartlarının kolaylıkla uygulanması ve tam çözüme eleman sayısı arttıkça yaklaşabilmesi gibi çeşitli avantajlar nedeniyle çok tercih edilir.

2.1. SONLU ELEMANLAR METODUNUN PLAKA ANALİZİNDE KULLANILMASI

Kompozit bir plakanın davranışını analiz etmek için beş adet şekil değiştirme boyutu vardır. Bunlar $u, v, w, \psi_x(x, y)$ ve $\psi_y(x, y)$ şeklindedir.

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u_0(x, y) + z\psi_x(x, y) \\ v(x, y, z) &= v_0(x, y) + z\psi_y(x, y) \\ w(x, y, z) &= w_0(x, y) \dots\dots\dots 2.43 \end{aligned}$$

Tabakalı plakaların çözümü çapraz kayma yer değiştirme içerikli plakalar ile temellendirilmiştir. Ortotropik plaka için; asal malzeme eksenleri malzemenin doğal eksenleri ile çakışır (Özbay 1999).

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} \bar{C}_{11} & \bar{C}_{12} & \bar{C}_{16} \\ \bar{C}_{12} & \bar{C}_{22} & \bar{C}_{26} \\ \bar{C}_{16} & \bar{C}_{26} & \bar{C}_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} C_{44} & C_{45} \\ C_{45} & C_{55} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots 2.44 \end{aligned}$$

Burada C_{ij} rijitlik dönüşümü, ε deformasyon. γ ise kayma deformasyonudur. Şekil değiştirmeler, plakanın kalınlığı boyunca ve malzeme özelliği nedeniyle sürekliliğini koruyup lineer davranış gösterir (Kirchhoff hipotezi). Fakat gerilmeler, plaka tabakaları farklı olduğundan kalınlık boyunca sürekli değildir. Yani lineer değildir (Jones ve Robert 1975). Rijitlik matrisi minimum potansiyel enerji yardımıyla bulunabilir.

Modellenen kompozit plaka alüminyum matrise sahip, çelik tellerle takviye edilmiş bir yapıdadır. Bu kompozit malzeme özellikleri Bektaş (2003) tarafından üretilmiştir. İkinci termoplastik kompozit plaka özellikleri yine Bektaş (2001) tarafından üretilmiştir. Tablo 2.1’de ve Tablo 2.2’de özellikler ayrıntılı verilmiştir.

Tablo 2.1 Tabakalı kompozit plakaya ait mekanik özellikler (Bektaş 2003)

E_1 (MPa)	E_2 (MPa)	G_{12} (MPa)	V_{12}	Eksenel Çekme Dayanımı (MPa)	Enine Çekme Dayanımı (MPa)	Kayma Gerilmesi (MPa)	n	K (MPa)	Termal Genleşme Katsayıları (1/°C)
85,000	74,000	30,000	0.29	230.0	24.0	48.9	0.630	1.250	$\alpha_1=18.5 \times 10^{-6}$ $\alpha_2=21 \times 10^{-6}$

Tablo 2.2 Tabakalı kompozit plakaya ait mekanik özellikler (Bektaş 2001)

E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	G_{12} (MPa)	V_{12}	Eksenel Çekme Mukavemeti (MPa)	Enine Çekme Mukavemeti (MPa)	Kayma Gerilmesi (MPa)	Her bir tabakanın kalınlığı (mm)	Termal Genleşme Katsayıları (1/°C)
38	1,3	0,48	0,25	37	5	13	2	$\alpha_1=13.1 \times 10^{-6}$ $\alpha_2=131 \times 10^{-6}$

3. KOMPOZİT PLAKALARDA NÜMERİK YÖNTEMLE GERİLME ANALİZİ

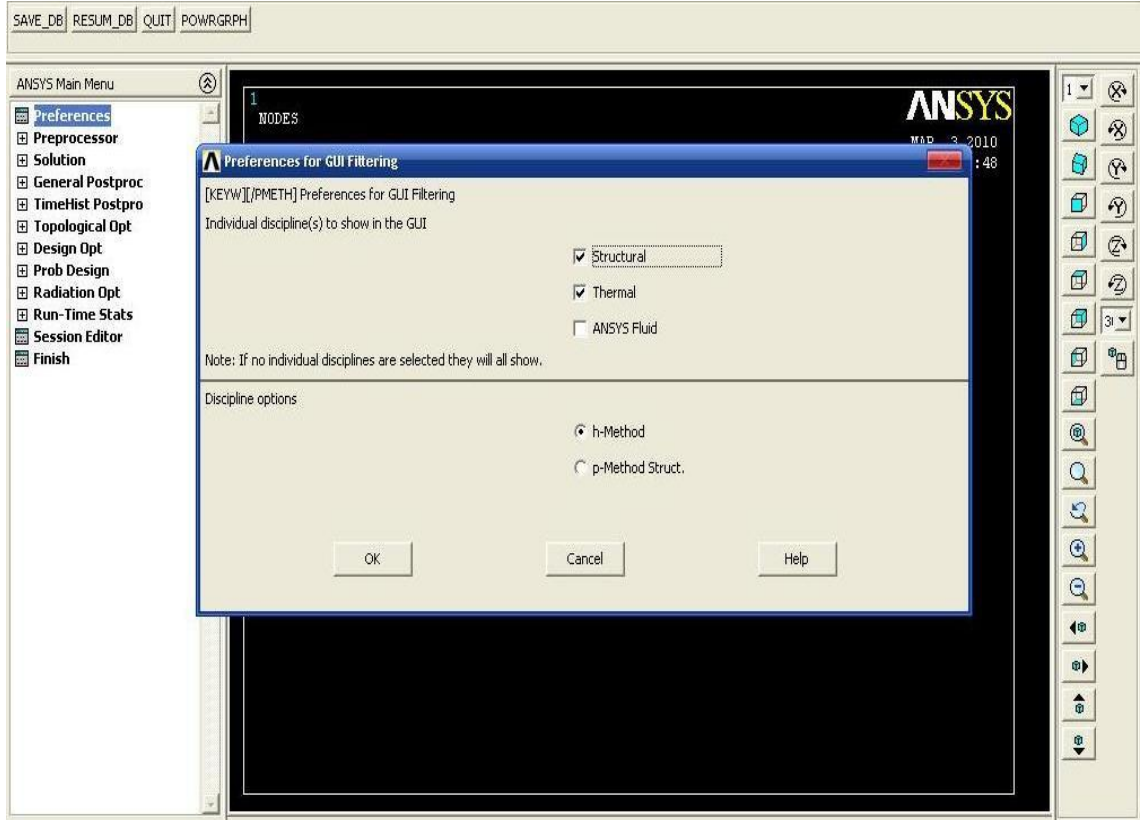
Nümerik çözüm sırasında takviye açısına ve simetrik durumuna göre değişik sıcaklıklar kullanıldı. Modellenen tabakalı kompozitin nümerik çözümünde, son yıllarda birçok mühendislik probleminin çözümünde hem sanayide hem akademik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu nedenden dolayı, modelleme ve çözümde ANSYS sonlu elemanlar programından yararlanılmıştır. ANSYS paket programı, bilindiği üzere, birçok farklı problemin çözümünde son yıllarda oldukça çok tercih edilmektedir. Bunun başlıca sebepleri, kullanılabilir ve tam sonuçlar elde edilmesini sağlaması, gerek modellemede gerekse sonuçların değerlendirilmesi aşamasında birçok diğer programlara nazaran sağladığı avantajlarıdır. Daha önce bahsedildiği üzere, çalışmanın arzulanan amaçlarından biri de kompozit plakalara uygulanan farklı üniform sıcaklıkların gerilmelerin dağılımı ve değerleri üzerine etkisinin incelenmesidir. Bu nedenle, kompozit plakalar üzerine sırasıyla 11.26, 12.86, 15.01, 22.51, 30.02, 45.02 ve 90.05 °C'lik üniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Sonuç olarak, üç boyutlu olarak modellenen kompozit plakalar üzerine ısı yüklemeler gerçekleştirilmiştir ve elde edilen nümerik analiz sonuçları ile analitik sonuçlar kıyaslanarak grafikler haline getirilmiştir.

3.1. 0°/ 90°/ 90°/ 0° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Analizleri

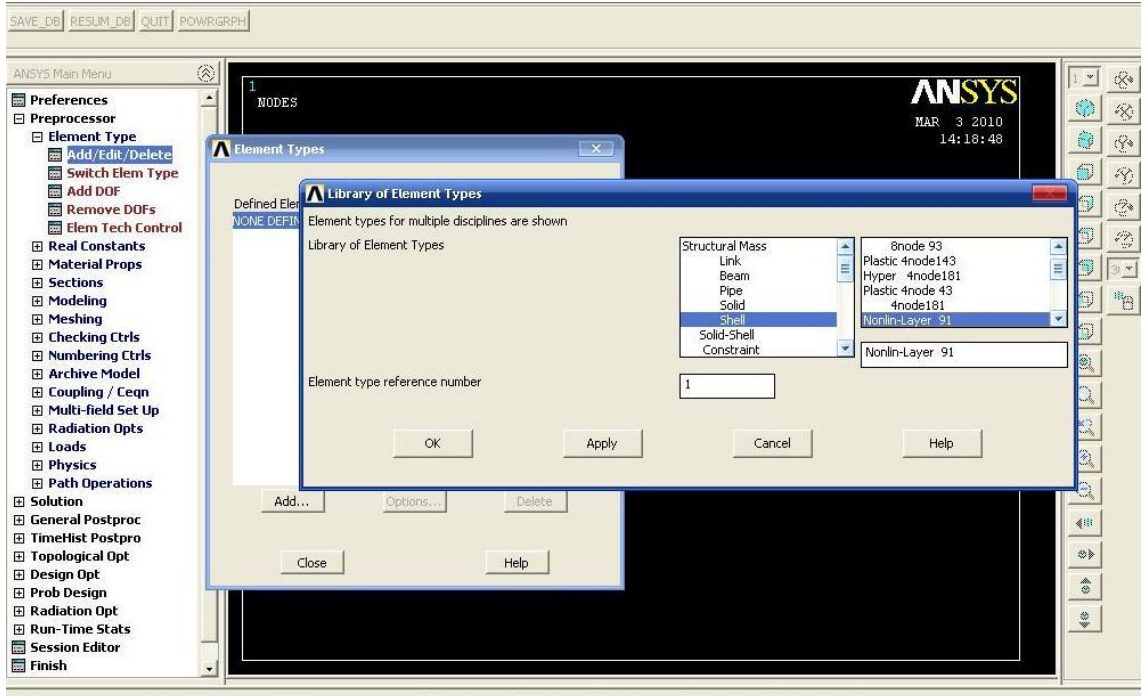
3.1.1. 11.26 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Elastik Çözümü

Burada burkulma olmayacak şekilde 0°/ 90°/ 90°/ 0° fiber takviye açılına sahip bir kompozit plak ANSYS paket programında modellenmiştir ve 11.26 ° C ısı yüküne maruz bırakılmıştır. Bu ısı yüküne maruz kalan kompozit plakalı model dört tarafından basit mesnetle mesnetlenmiştir. Fakat xy düzleminde yerdeğiştirmelere izin verilirse de xy dik düzlemine dik z doğrultusunda sıcaklık farkından doğan yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. Bu sistem ANSYS paket programında analiz edilerek nümerik sonuçlar elde edilerek Tablo 4.1’de gerilme değerleri MPa cinsinden gösterilmiştir.

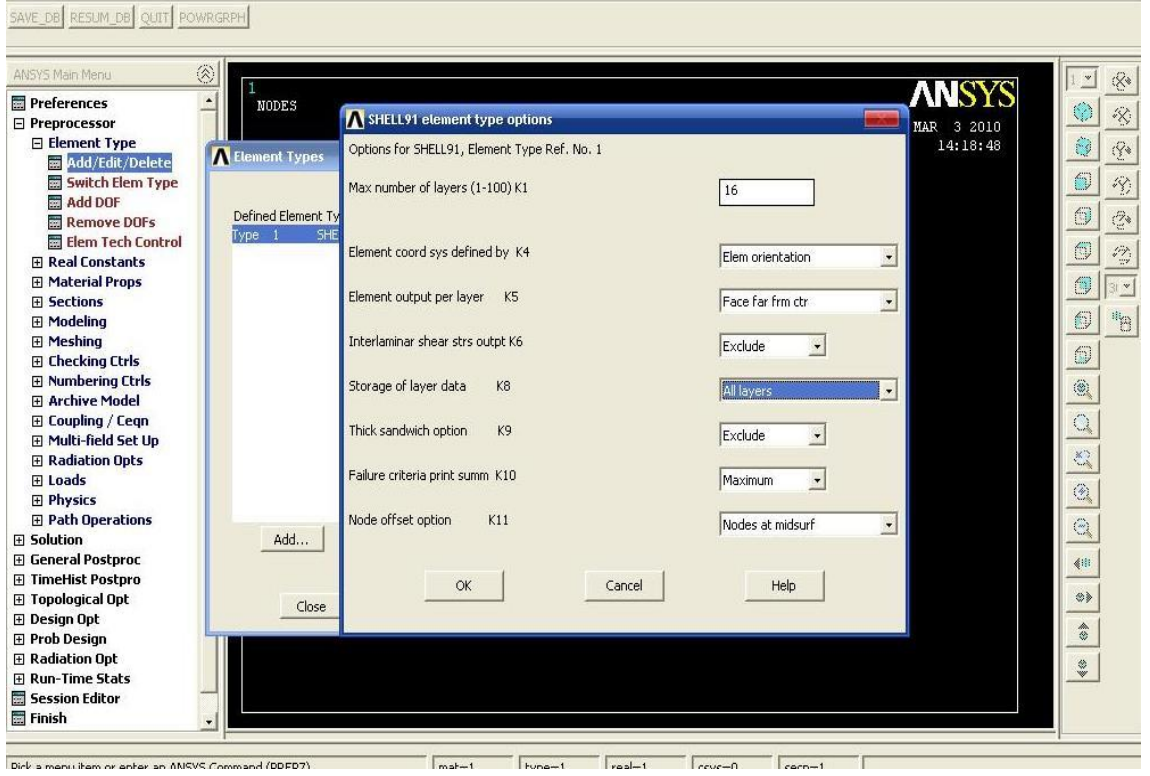
ANSYS paket programında analiz tipinin seçilmesi, eleman tipinin seçilmesi, bütün tabakalardaki değerlerin veri olarak kaydedilmesi, tabaka sayısının belirlenmesi, sıcaklık biriminin belirlenmesi, malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi, termal genişleme katsayılarının girilmesi, malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi, dikdörtgen kompozit plaka alanının oluşturulması, mesh işleminin uygulanması, x eksenine ait sınır şartların belirlenmesi, sınır şartların hangi kenarlarda uygulanacağını seçimi, sınır şartların aynı kenarlar seçilerek tekrar belirlenmesi, y eksenine ait sınır şartların belirlenmesi, kompozit plaka yüzeyine termal yükleme yapılması, kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi, analiz tipinin seçilmesi, adım sayılarının belirlenmesi, iterasyon sayısının belirlenmesi, çözümlenimin yapılması, çözümlenimin hatasız olarak sonuçlanması ile uygulamaların tamamı yapılır.



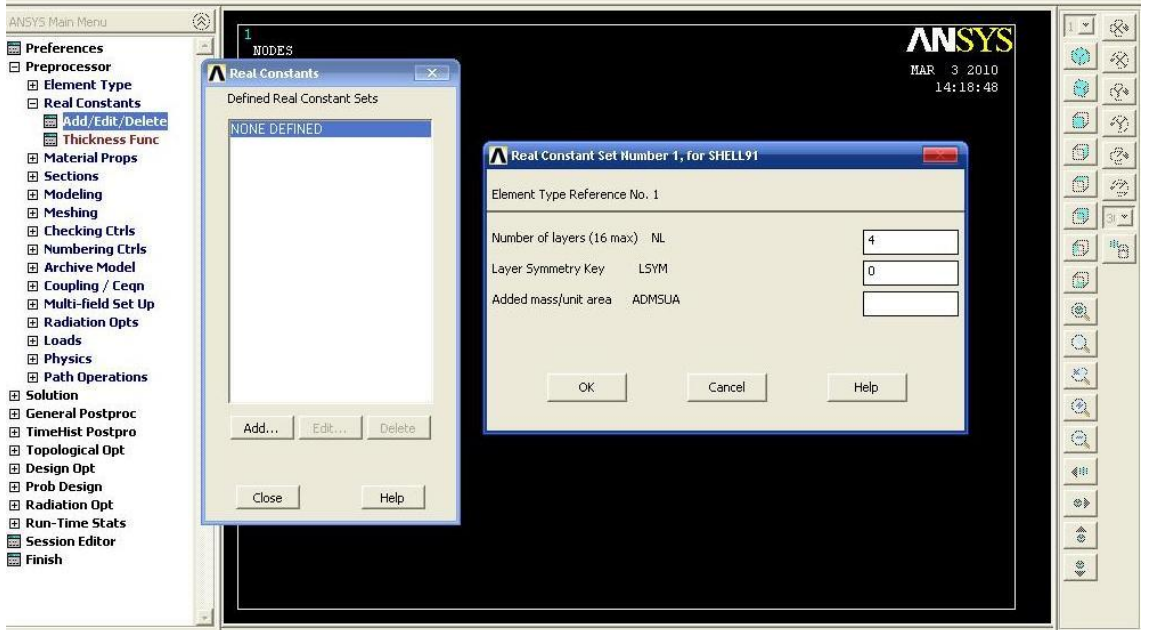
Şekil 3.1.1.1: Analiz tipinin seçilmesi



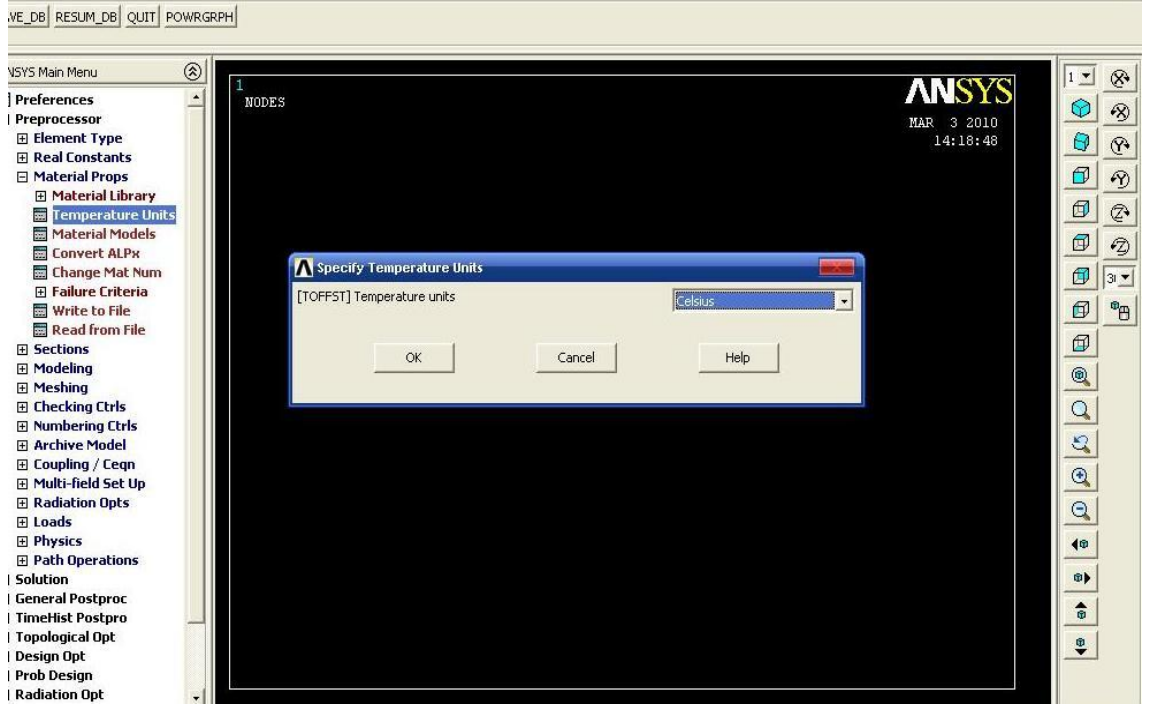
Şekil 3.1.1.2: Eleman tipinin seçilmesi



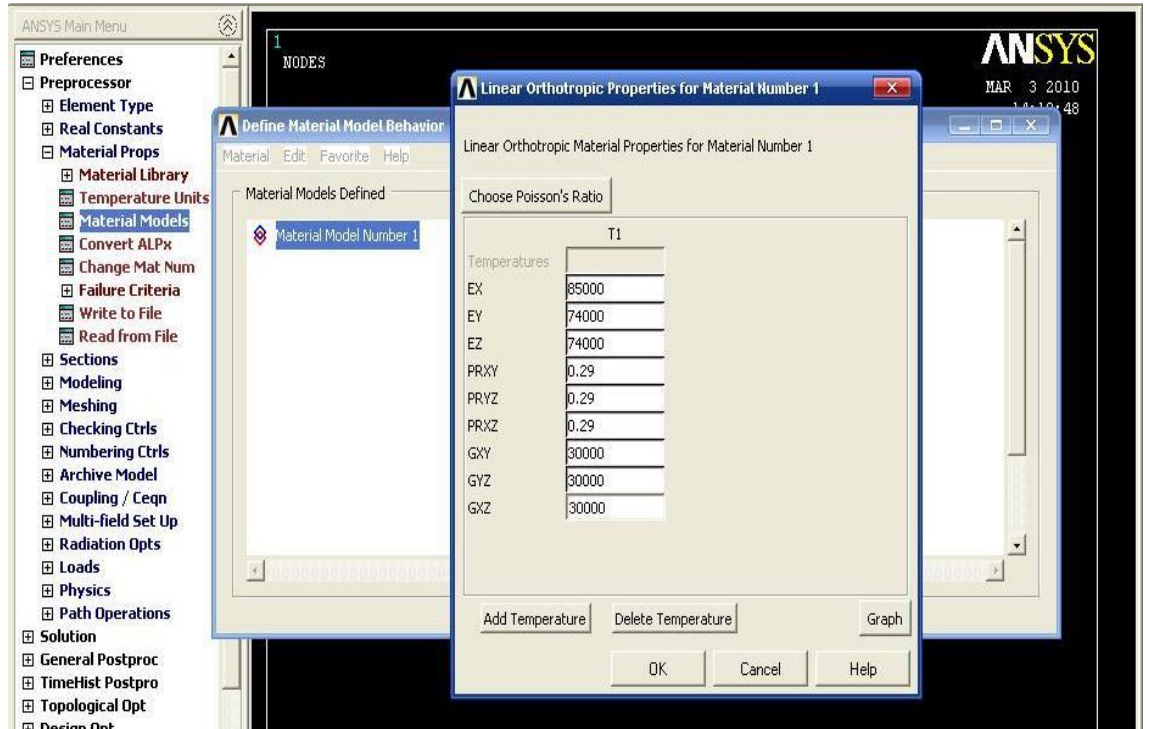
Şekil 3.1.1.3: Bütün tabakalardaki değerlerin veri olarak kaydedilmesi



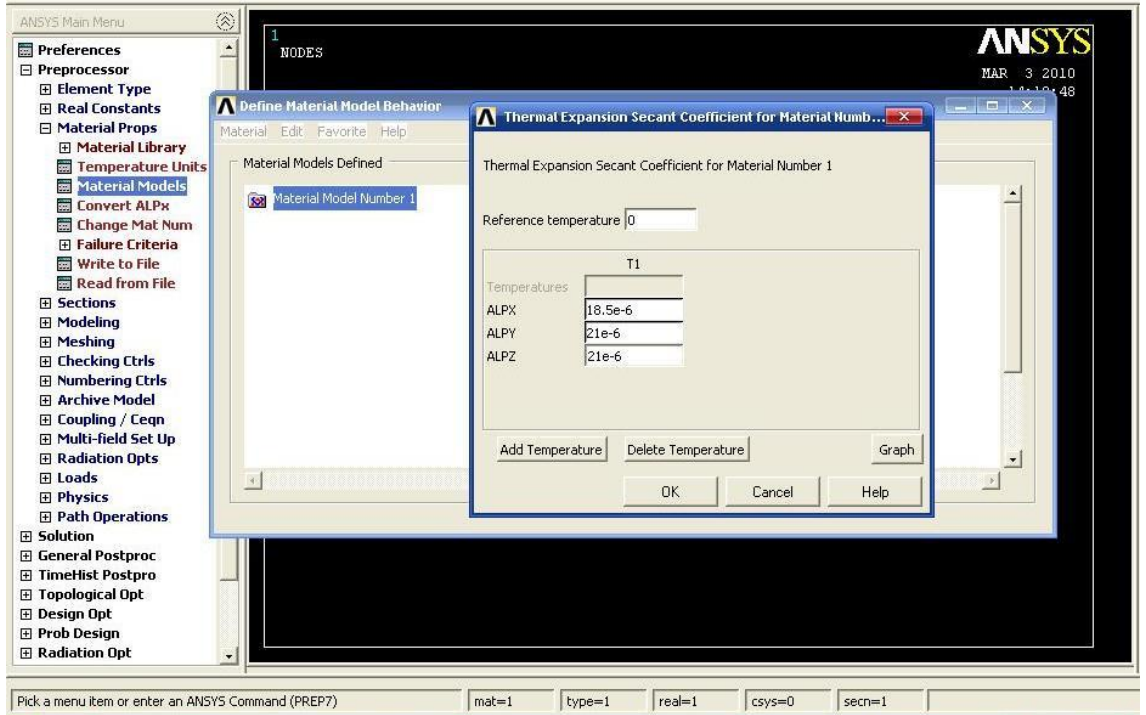
Şekil 3.1.1.4: Tabaka sayısının belirlenmesi



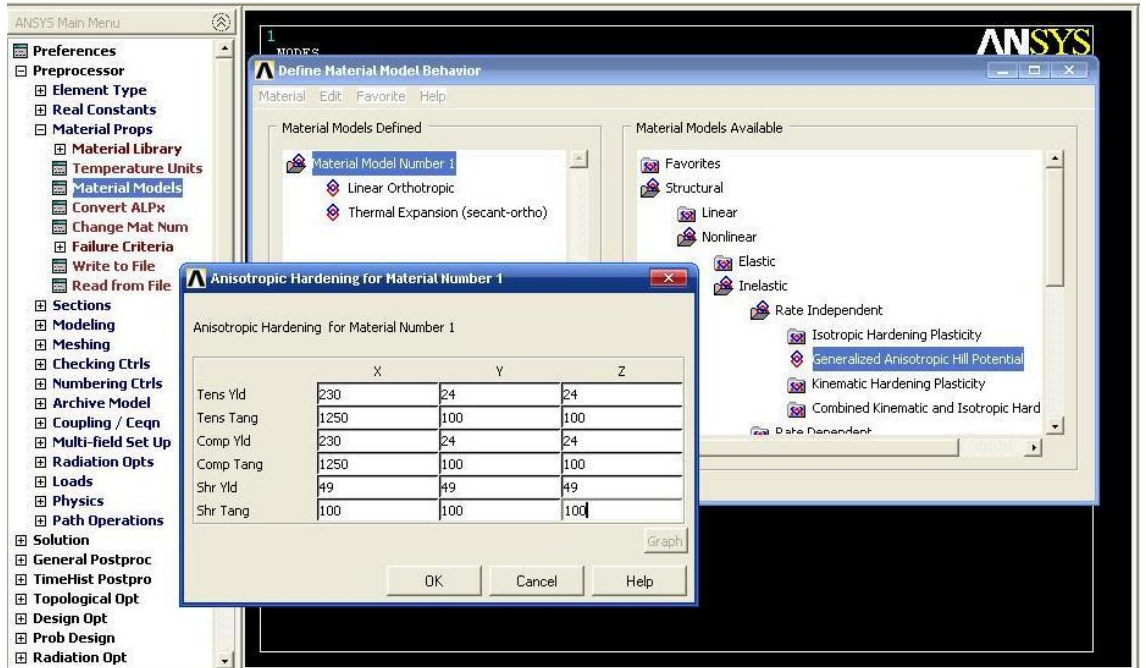
Şekil 3.1.1.5: Sıcaklık biriminin belirlenmesi



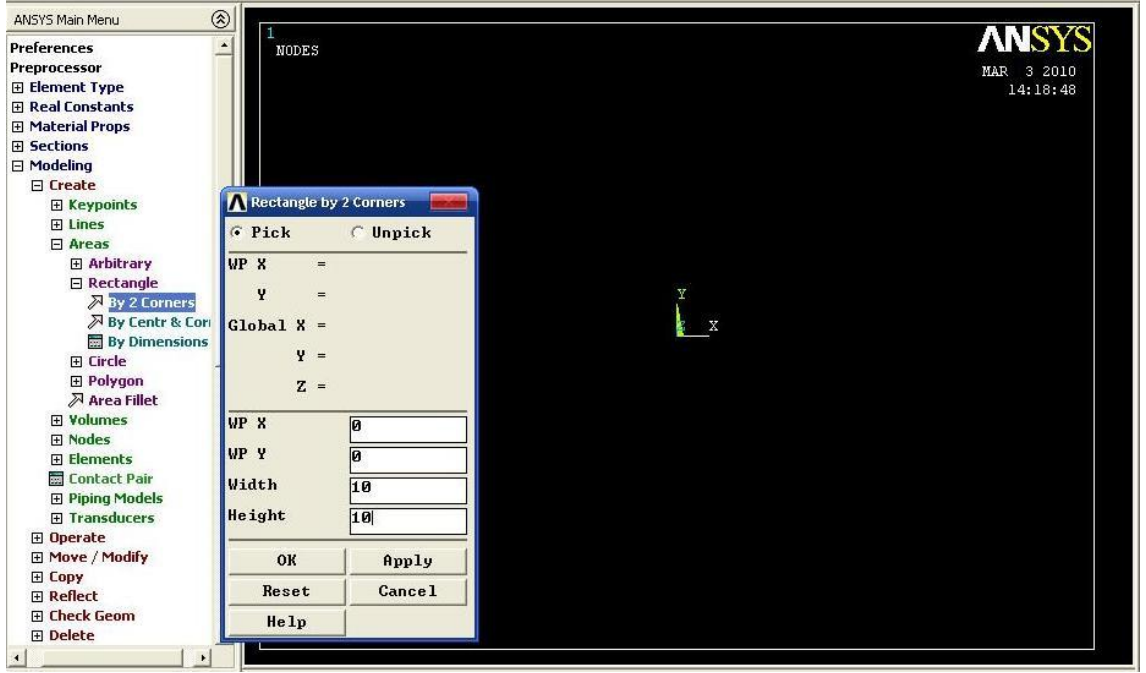
Şekil 3.1.1.6: Malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi



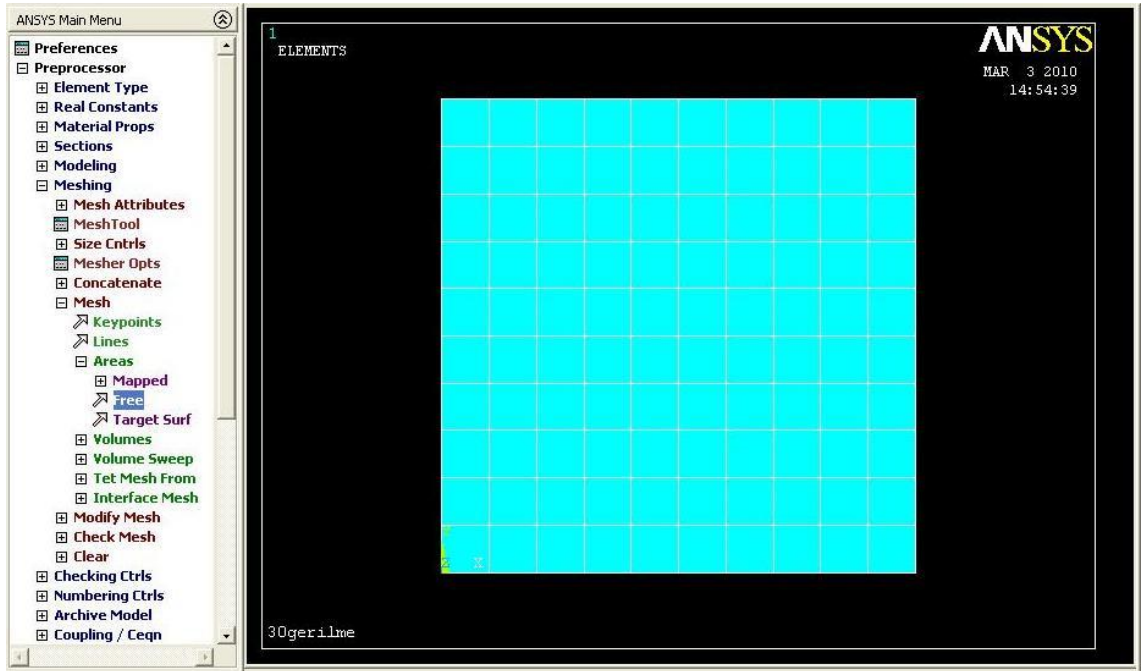
Şekil 3.1.1.7: Termal genişleme katsayılarının girilmesi



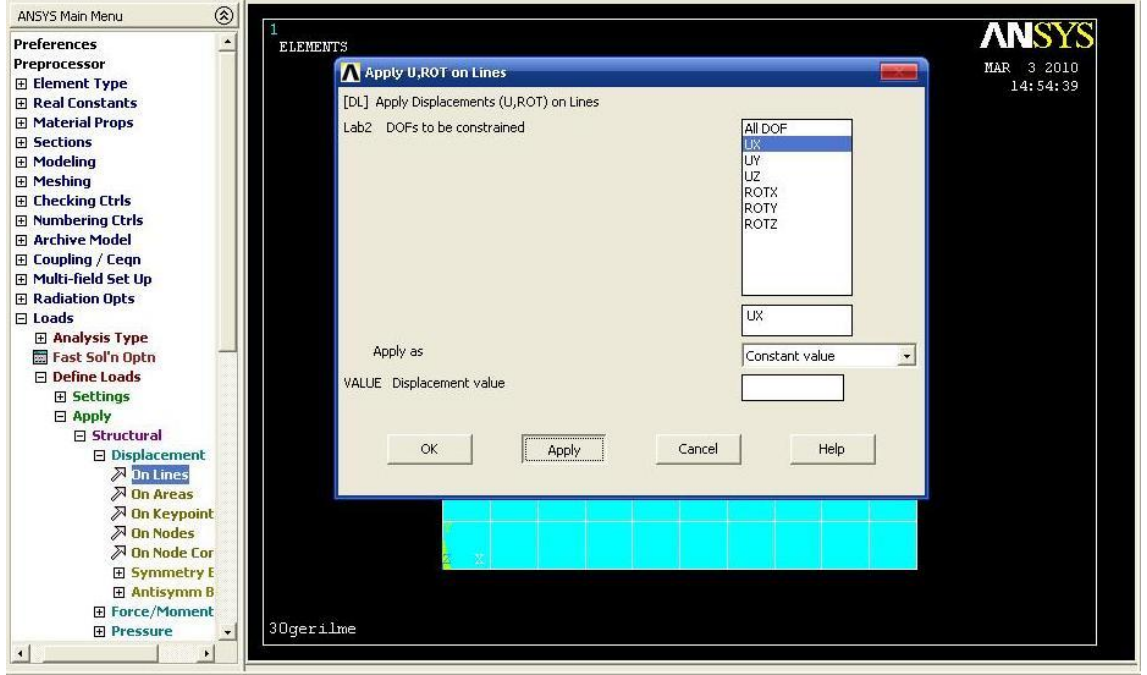
Şekil 3.1.1.8: Malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi



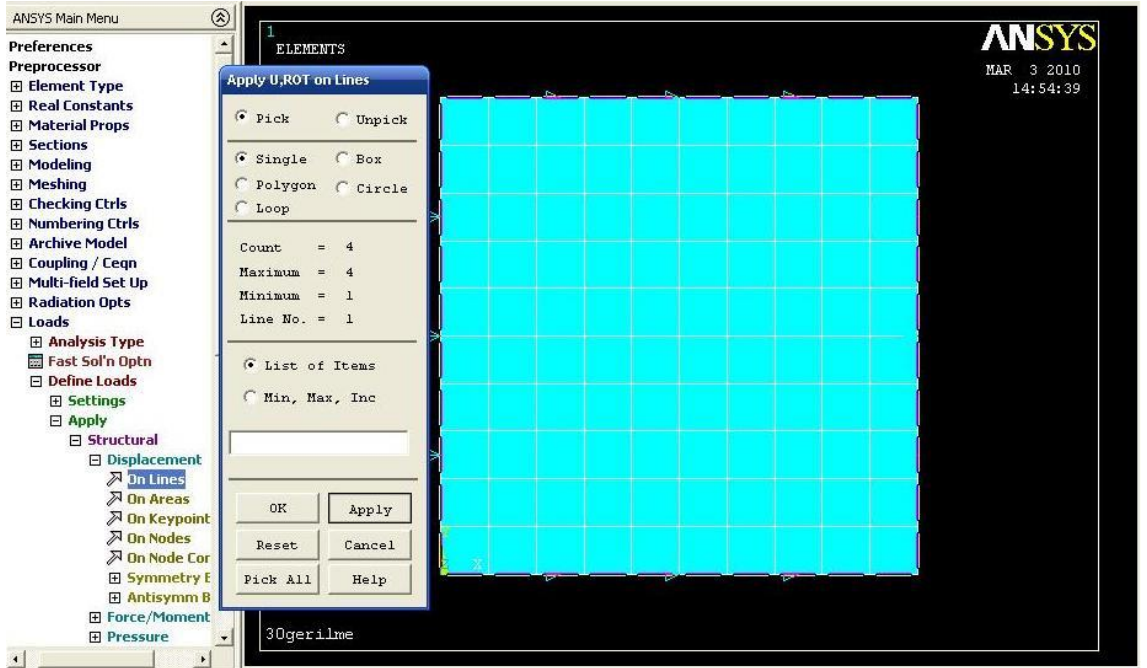
Şekil 3.1.1.9: Dikdörtgen kompozit plaka alanının oluşturulması



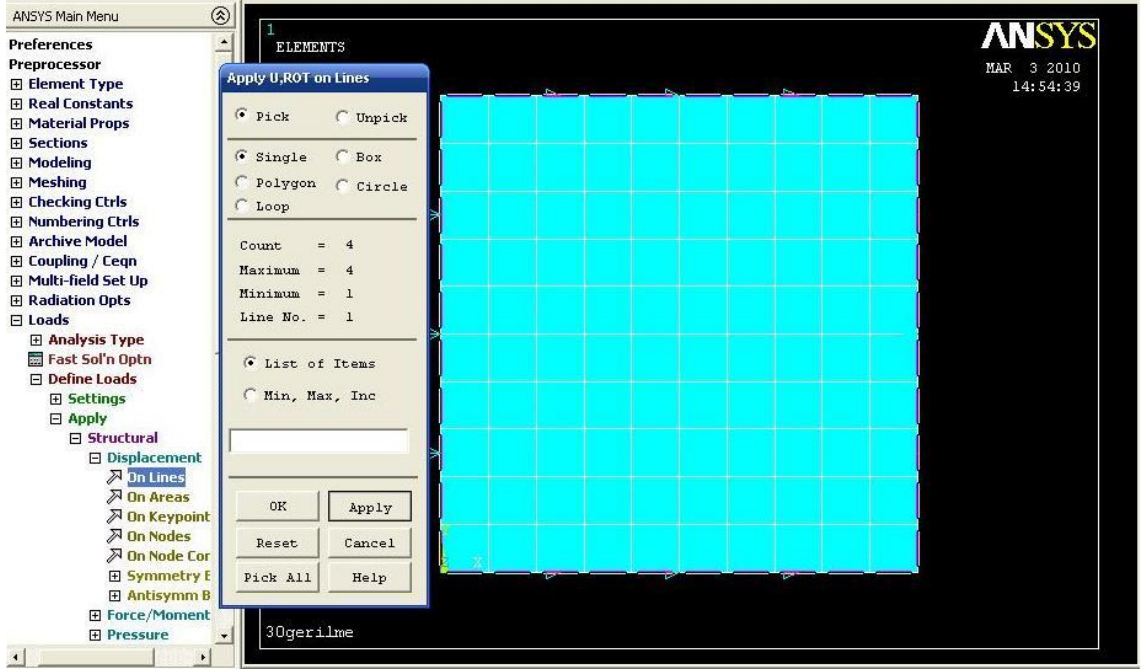
Şekil 3.1.1.10: Mesh işleminin uygulanması



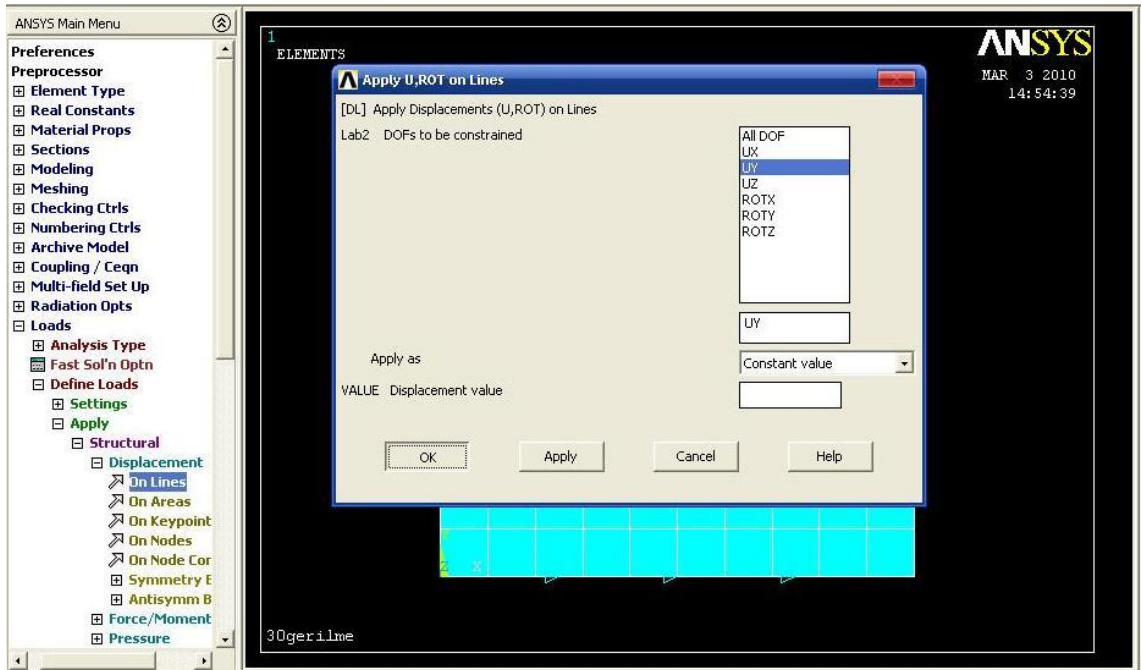
Şekil 3.1.1.11: X eksenine ait sınır şartların belirlenmesi



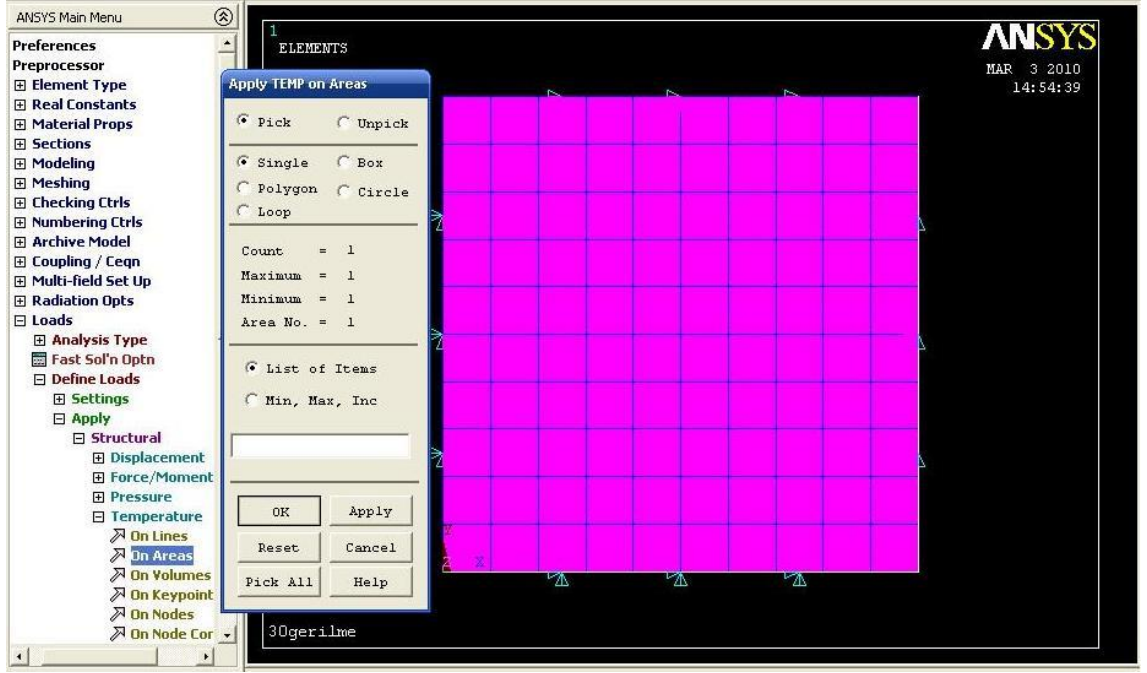
Şekil 3.1.1.12: Sınır şartların hangi kenarlara uygulanacağını seçimi



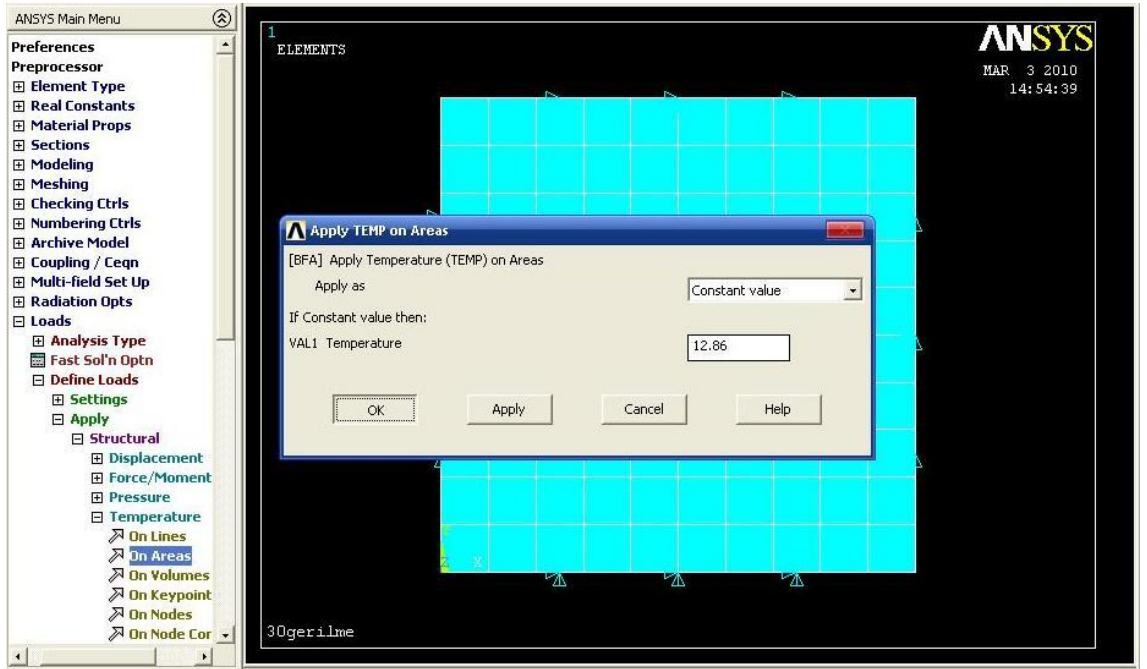
Şekil 3.1.1.13: Sınır şartların aynı kenarlar seçilerek tekrar belirlenmesi



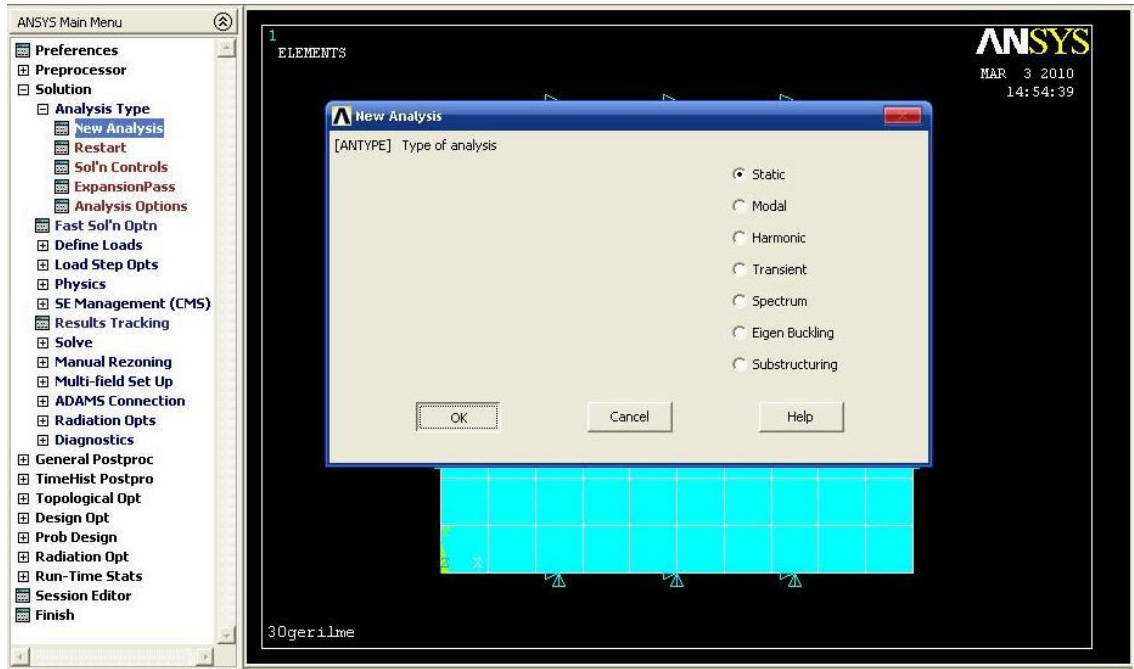
Şekil 3.1.1.14: Y eksenine ait sınır şartların belirlenmesi



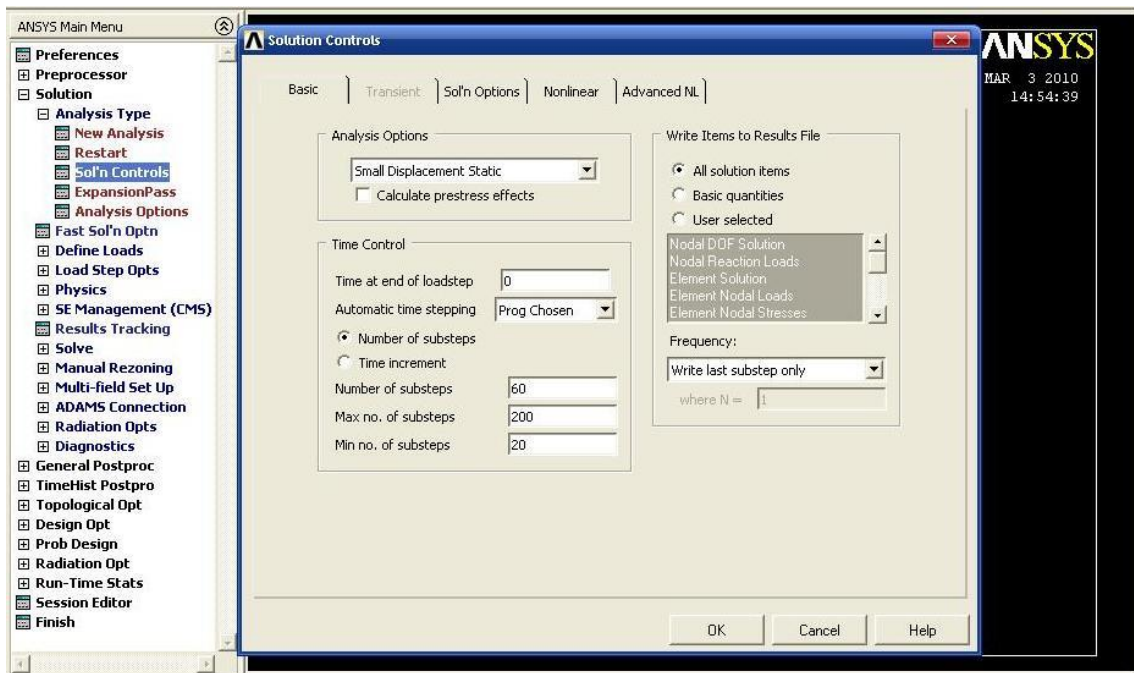
Şekil 3.1.1.15: Kompozit plaka yüzeyine termal yükleme yapılması



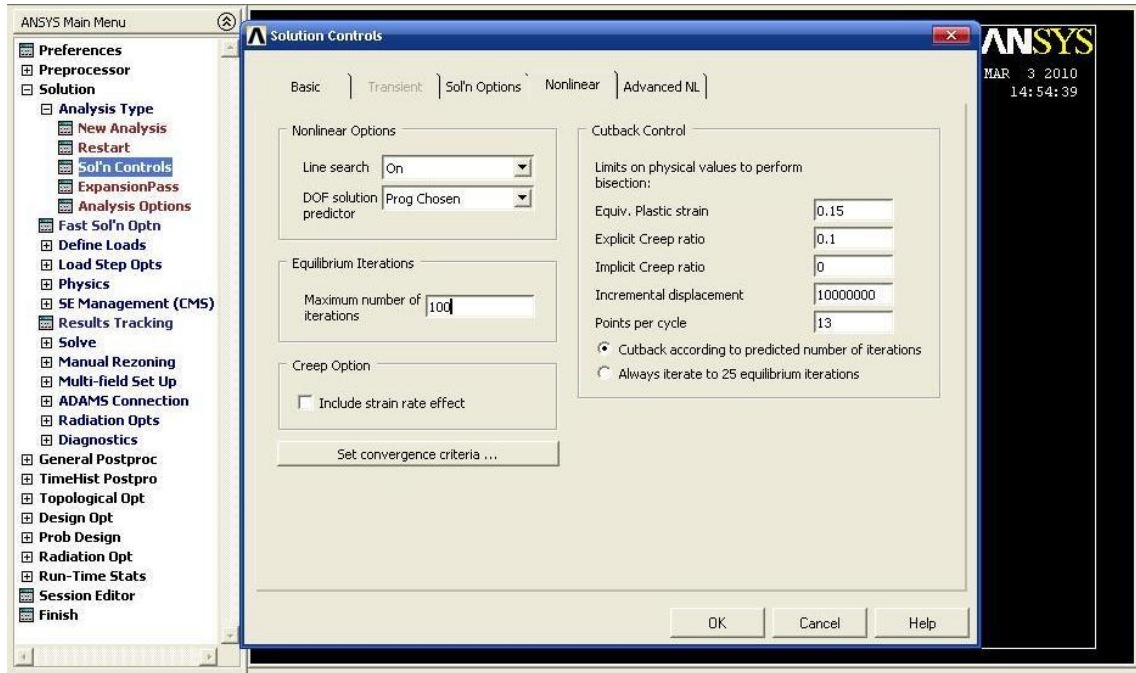
Şekil 3.1.1.16: Kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi



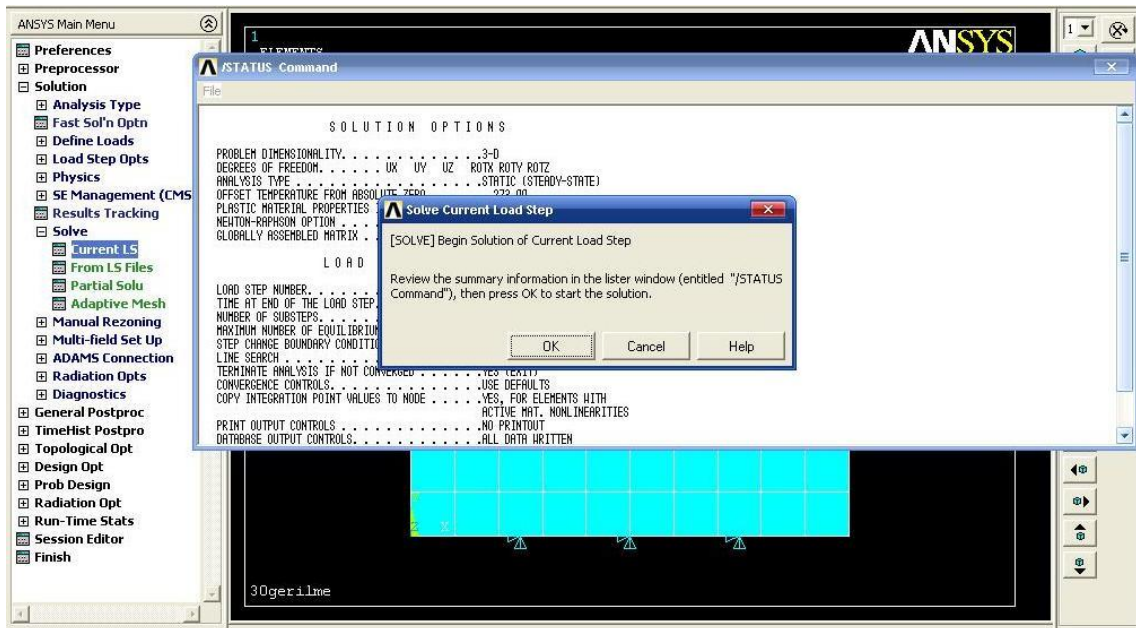
Şekil 3.1.1.17: Analiz tipinin seçilmesi



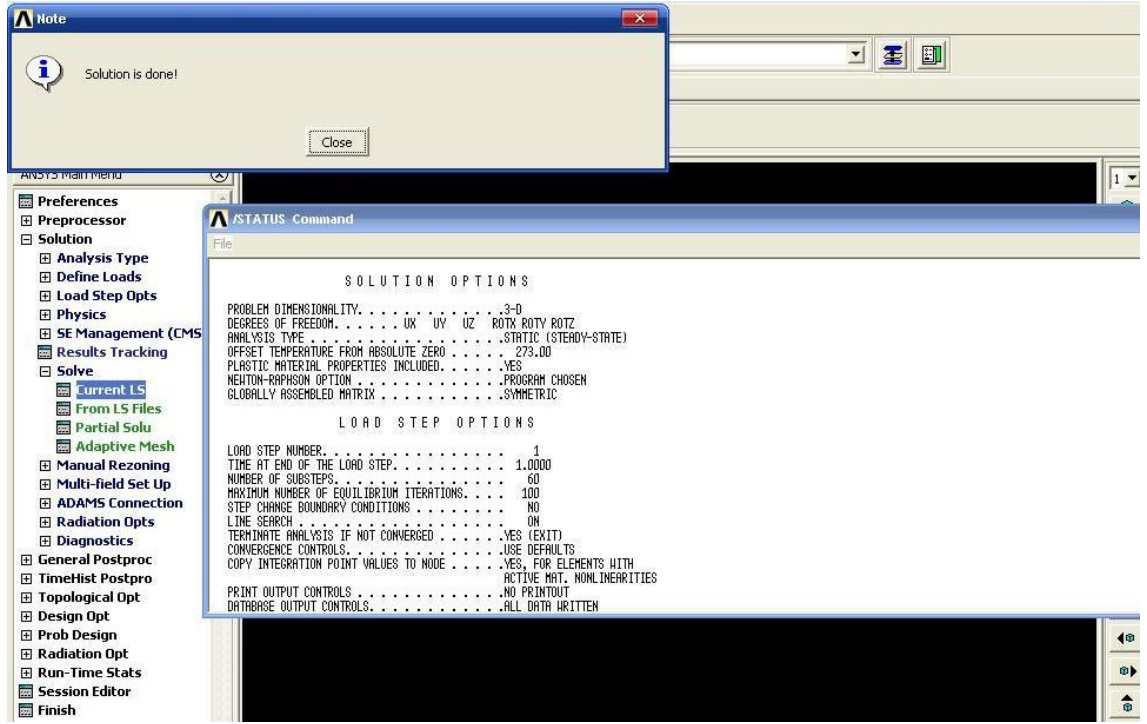
Şekil 3.1.1.18: Adım sayılarının belirlenmesi



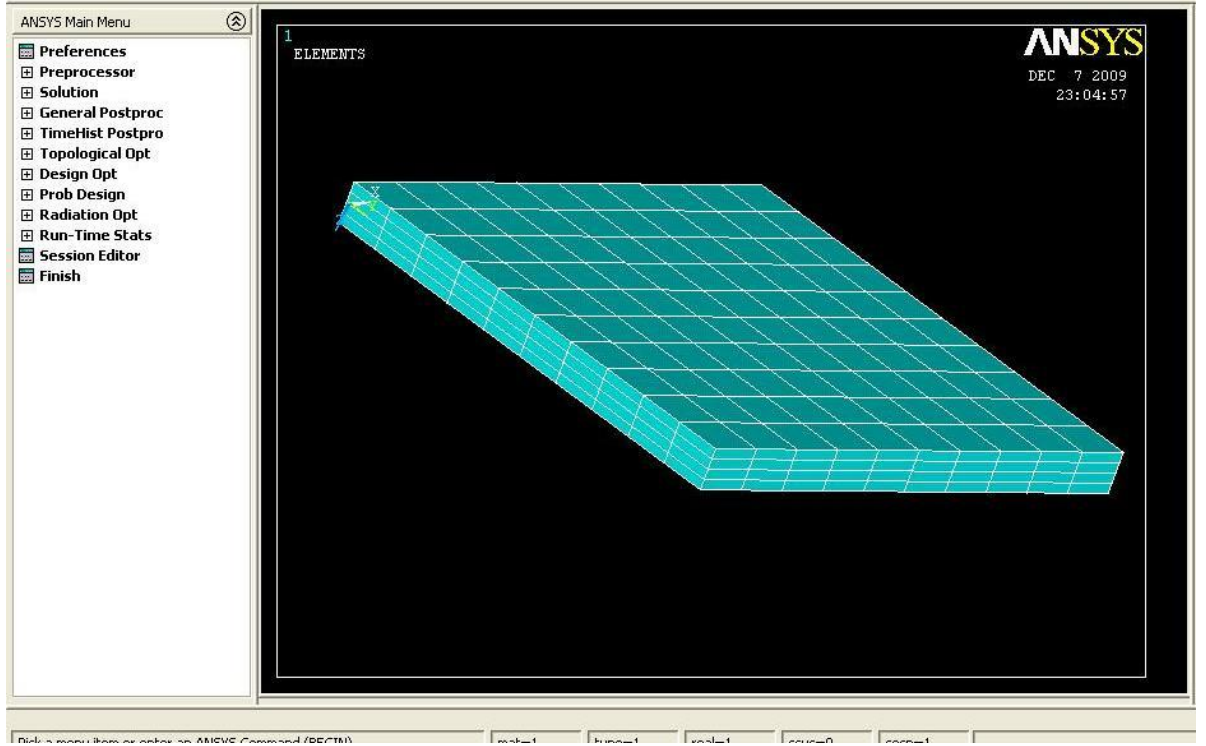
Şekil 3.1.1.19: İterasyon sayısının belirlenmesi



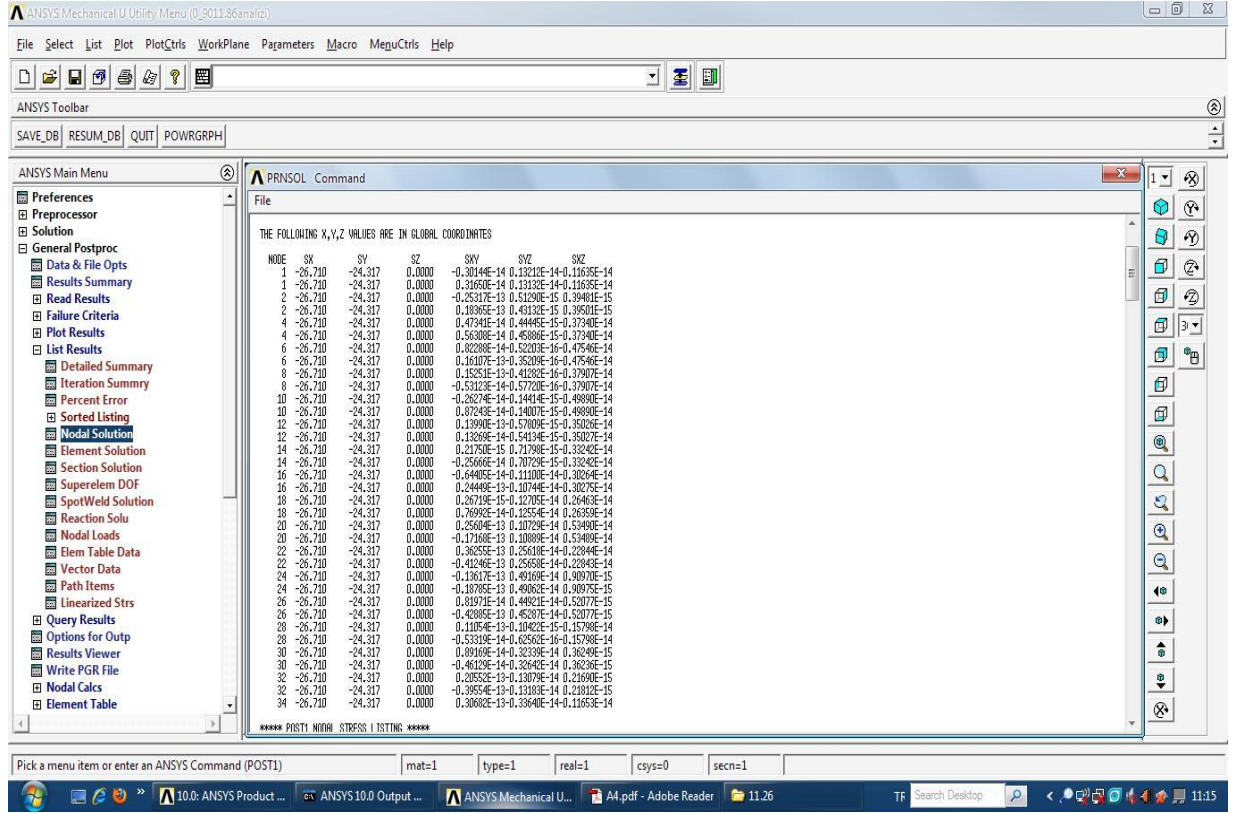
Şekil 3.1.1.20: Çözümlemenin yapılması



Şekil 3.1.1.21: Çözümün hatasız olarak sonuçlanması



Şekil 3.1.1.22: Modelin 3 boyutlu görüntülenmesi



Şekil 3.1.1.23: $[0/90]_s$ dizilimli plakanın 11.26°C 'deki gerilme değerleri sonuçları

3.1.2. 12.86°C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.1.1'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.1.3. 15.01°C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.1.2'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.1.4. 18.01°C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.1.3'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.1.5. 22.51°C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.1.4'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.1.6. 30.02°C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.1.5'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.1.7. 45.02 ° C Isıl Y¼k Altındaki N¼merik Analizi

Bir ¼nceki 3.1.6'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.1.8. 90.05 ° C Isıl Y¼k Altındaki N¼merik Analizi

Bir ¼nceki 3.1.7'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.2. 30°/ -30°/ -30°/ 30° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Analizleri

3.2.1. 11.26 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.1.8’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.2.2. 12.86 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.2.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.2.3. 15.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.2.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.2.4. 18.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.2.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.2.5. 22.51 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.2.4’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.2.6. 30.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.2.5’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.2.7. 45.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.2.6’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.2.8. 90.05 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.2.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.3. 45°/ -45°/ -45°/ 45° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Analizleri

3.3.1. 11.26 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.2.8’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.3.2. 12.86 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.3.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.3.3. 15.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.3.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.3.4. 18.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.3.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.3.5. 22.51 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.3.4’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.3.6. 30.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.3.5’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.3.7. 45.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.3.6’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.3.8. 90.05 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.3.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.4. 60°/ -60°/ -60°/ 60° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Analizleri

3.4.1. 11.26 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.3.8’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.4.2. 12.86 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.4.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.4.3. 15.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.4.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.4.4. 18.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.4.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.4.5. 22.51 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.4.4’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.4.6. 30.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.4.5’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.4.7. 45.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.4.6’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.4.8. 90.05 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

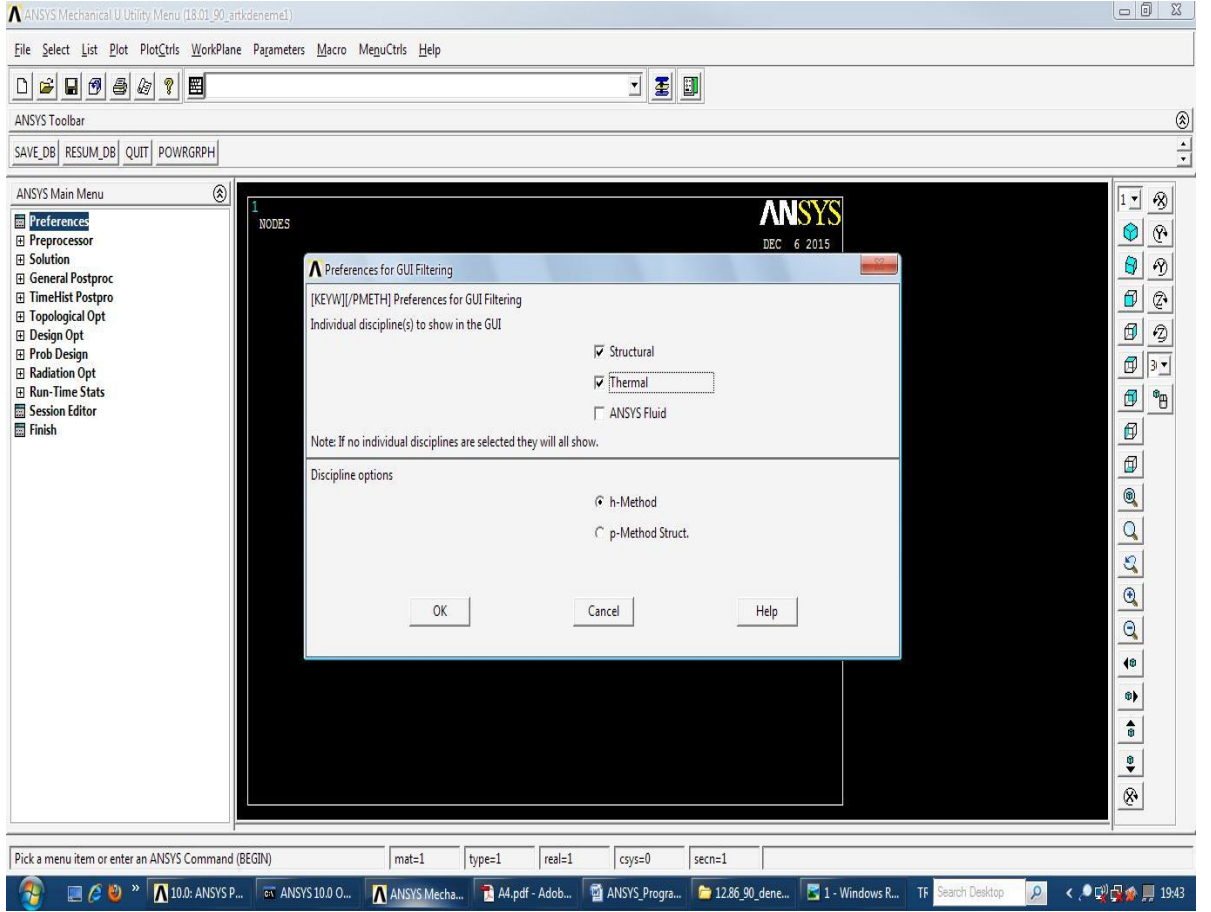
Bir önceki 3.4.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.5. 0°/ 90°/ 90°/ 0° Oryantasyon Açısındaki Kompozit Plaka Plastik Gerilmeleri

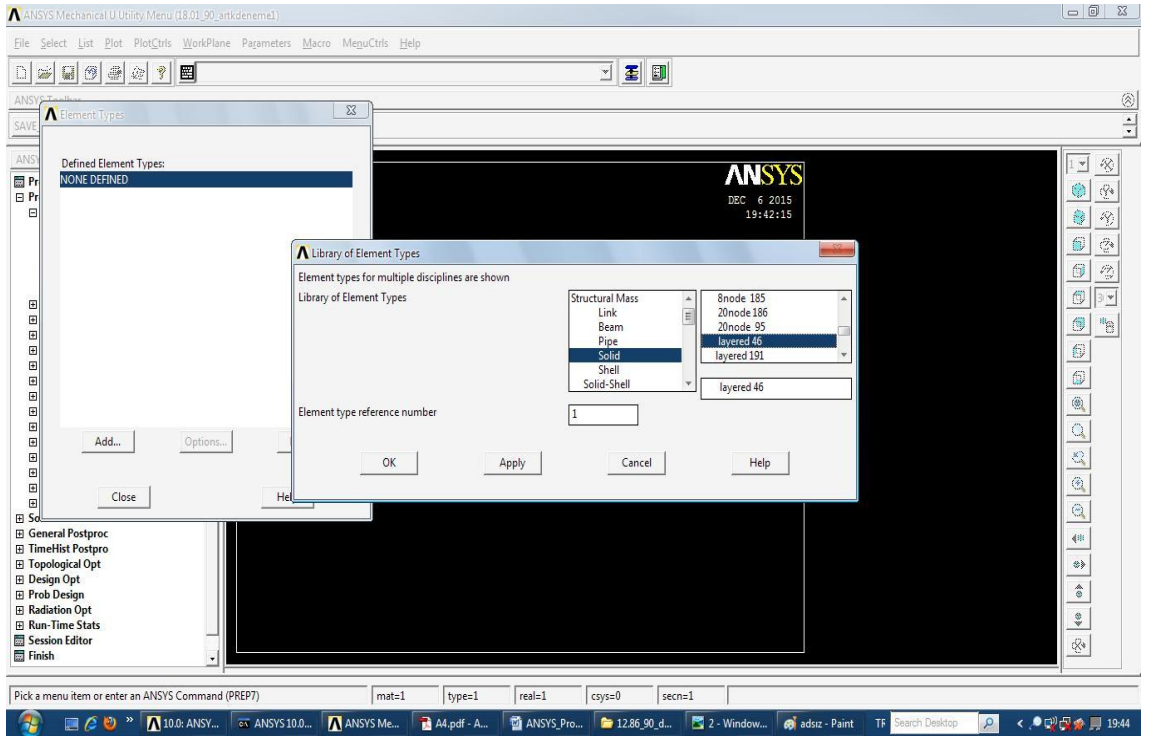
3.5.1. 12.86 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizle Plastik Gerilmeleri

Burada burkulma olmayacak şekilde 0°/ 90°/ 90°/ 0° fiber takviye açılarına sahip bir kompozit plak ANSYS paket programında modellenmiştir ve 12.86 ° C ısı yüküne maruz bırakılmıştır. Bu ısı yüküne maruz kalan kompozit plakalı model dört tarafından basit mesnetle mesnetlenmiştir. Fakat xy düzleminde yerdeğiştirmelere izin verilmesi de xy dik düzlemine dik z doğrultusunda sıcaklık farkından doğan yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. Bu sistem ANSYS paket programında analiz edilerek nümerik sonuçlar elde edilerek Tablo 4.2’de artık gerilme değeri MPa cinsinden gösterilmiştir.

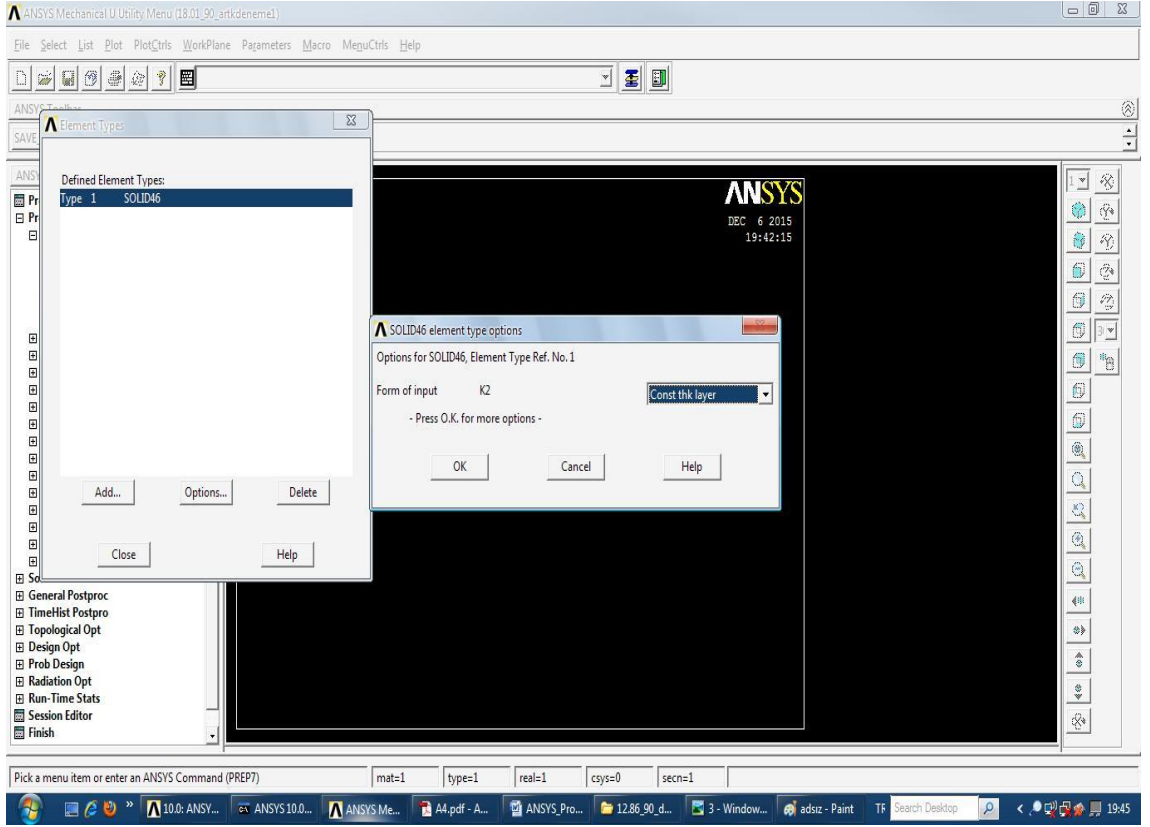
ANSYS paket programında analiz tipinin seçilmesi, eleman tipinin seçilmesi, bütün tabakalardaki değeri veri olarak kaydedilmesi, tabaka sayısının belirlenmesi, sıcaklık biriminin belirlenmesi, malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi, termal genleşme katsayılarının girilmesi, malzemeye ait diğeri özelliklerin girilmesi, dikdörtgen kompozit plaka alanının oluşturulması, mesh işleminin uygulanması, x eksenine ait sınır şartların belirlenmesi, sınır şartların hangi kenarlarda uygulanacağını seçimi, sınır şartların aynı kenarlar seçilerek tekrar belirlenmesi, y eksenine ait sınır şartların belirlenmesi, kompozit plaka yüzeyine termal yükleme yapılması, kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değeri girilmesi, analiz tipinin seçilmesi, adım sayılarının belirlenmesi, iterasyon sayısının belirlenmesi, çözümlenimin yapılması, çözümlerin hatasız olarak sonuçlanması ile uygulamaların tamamı yapılır.



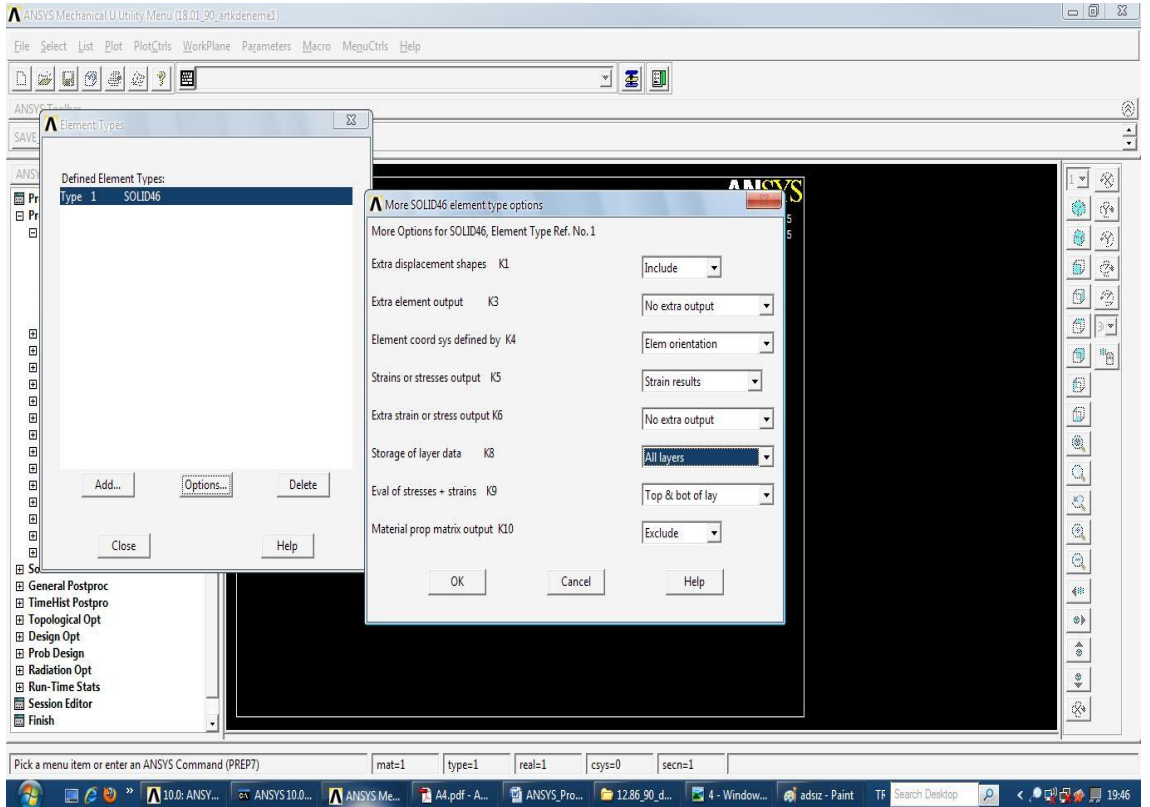
Şekil 3.5.1.1: Analiz tipinin seçilmesi



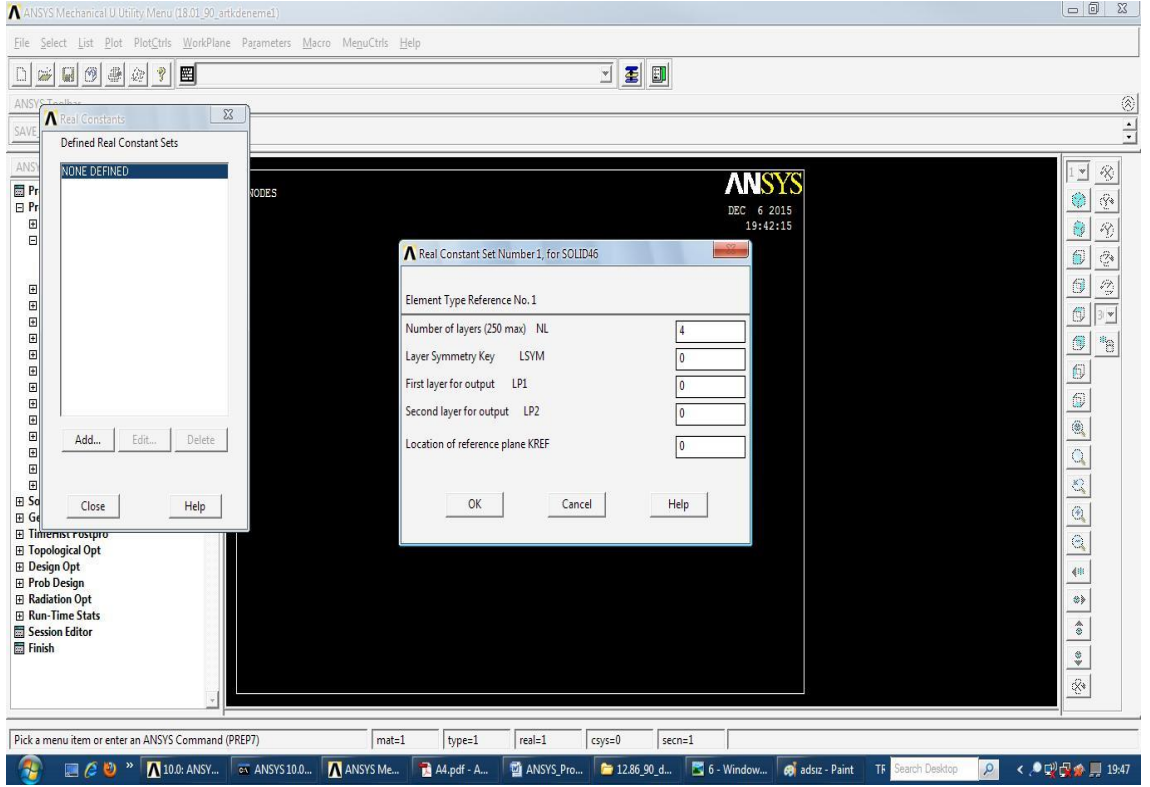
Şekil 3.5.1.2: Eleman tipinin seçilmesi



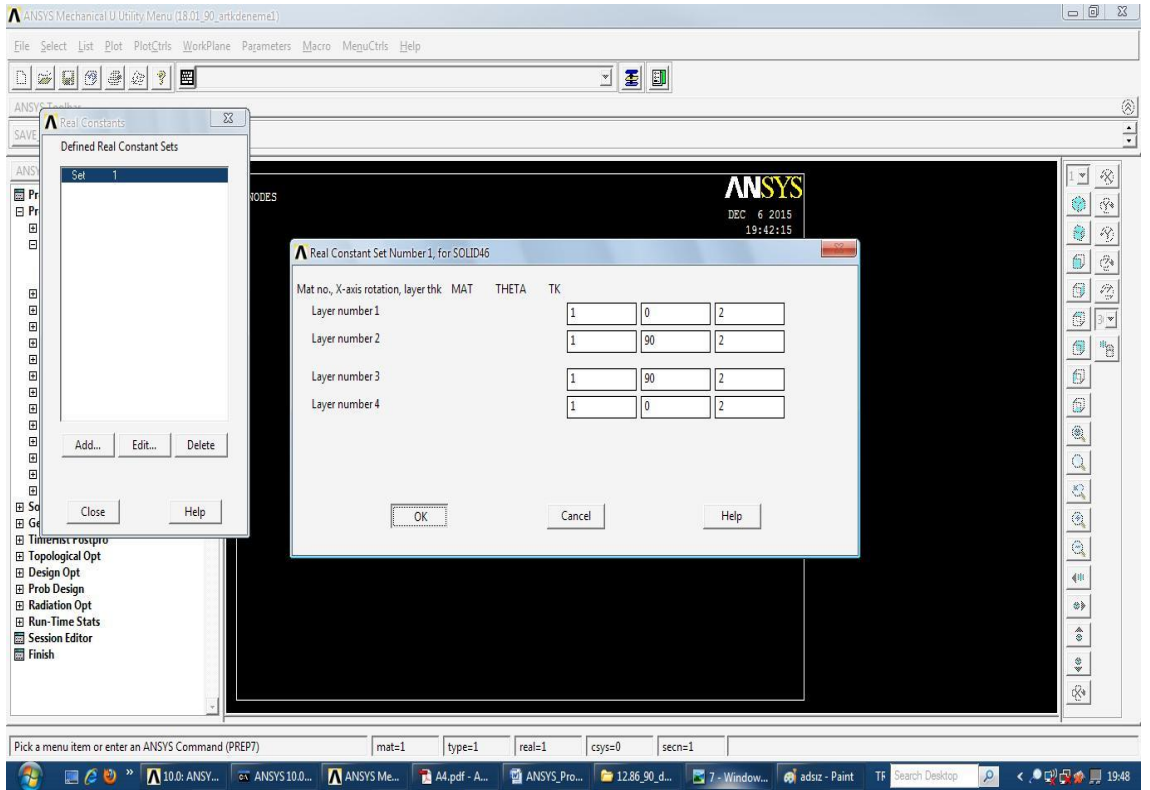
Şekil 3.5.1.3: Sabit tabaka kalınlığının seçilmesi



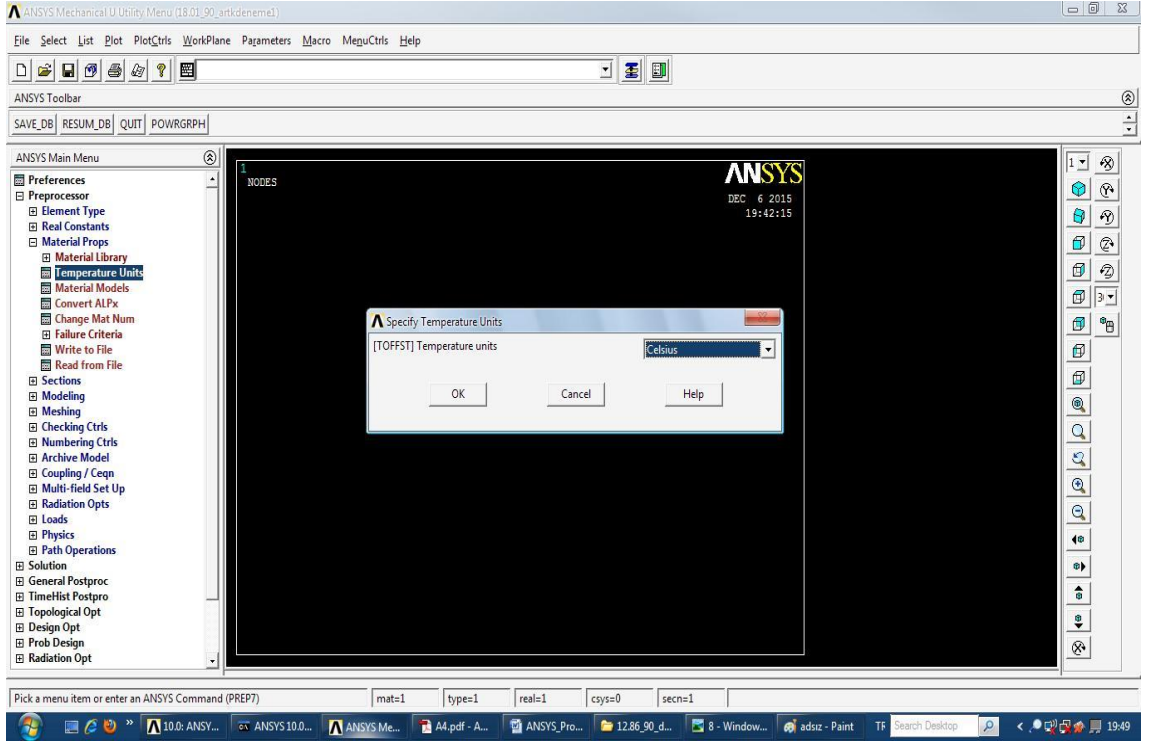
Şekil 3.5.1.4: Tüm tabakalardaki gerilme değerlerinin veri olarak kaydedilmesi



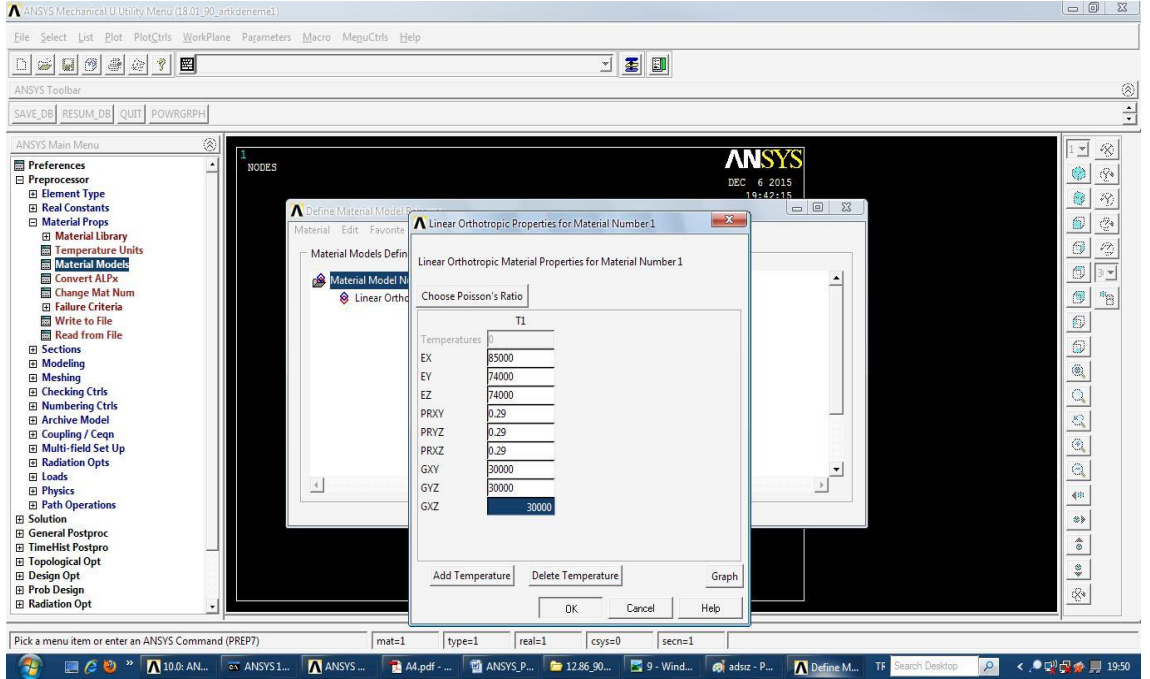
Şekil 3.5.1.5: Tabaka sayısının girilmesi



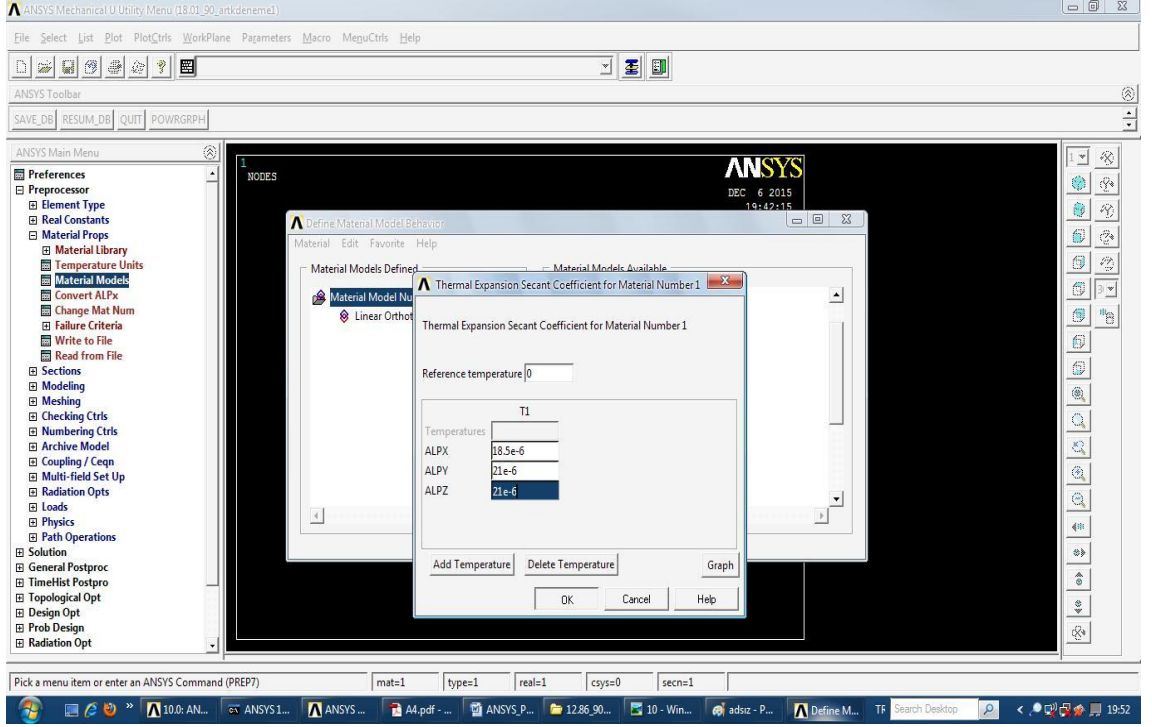
Şekil 3.5.1.6: Oryantasyon açılarının ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesi



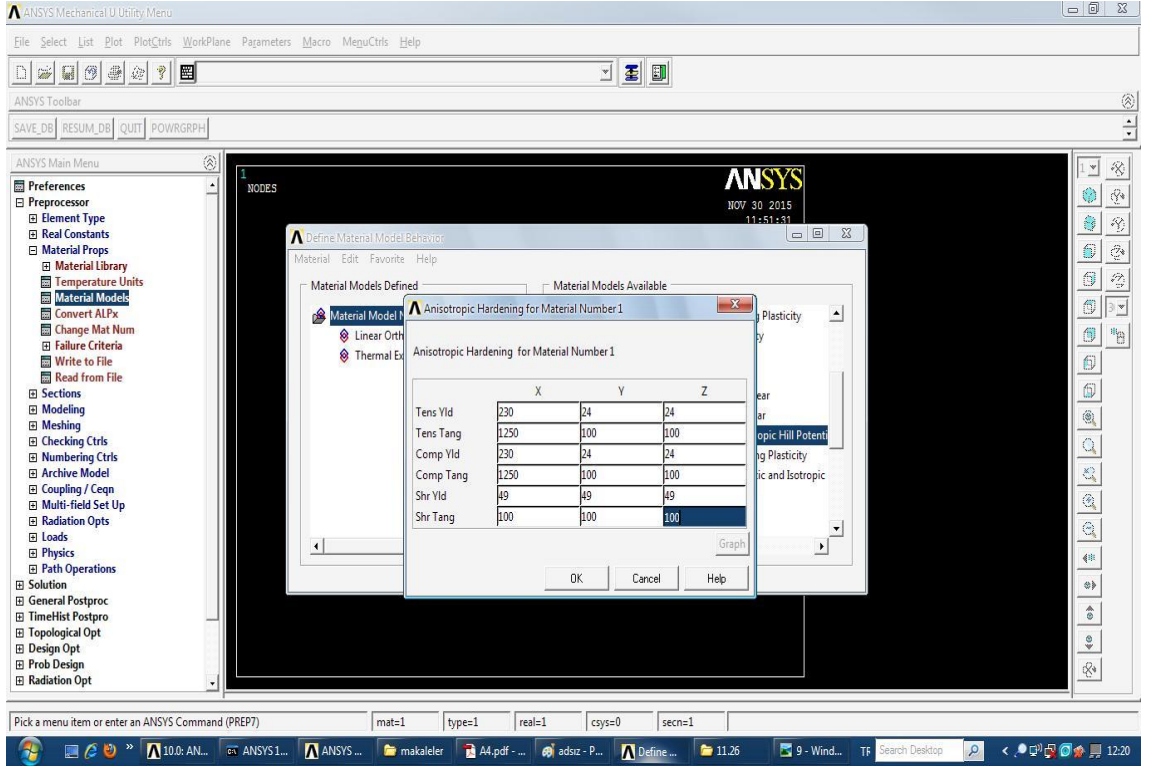
Şekil 3.5.1.7: Sıcaklık biriminin Celcius olarak belirlenmesi



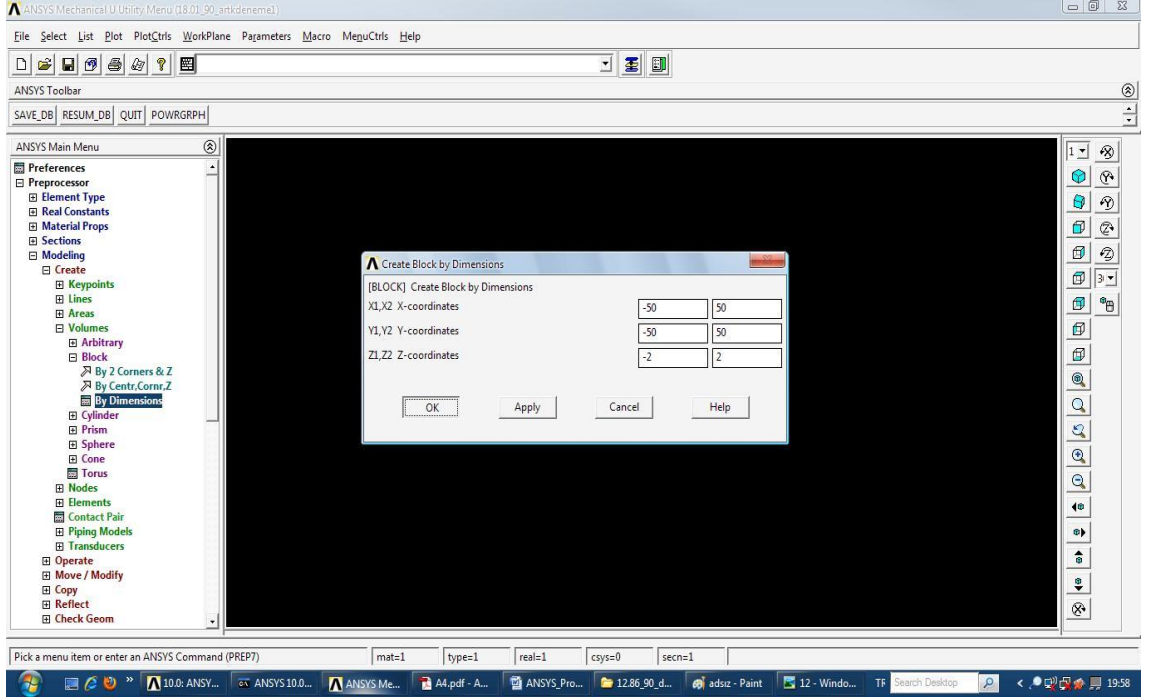
Şekil 3.5.1.8: Malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi



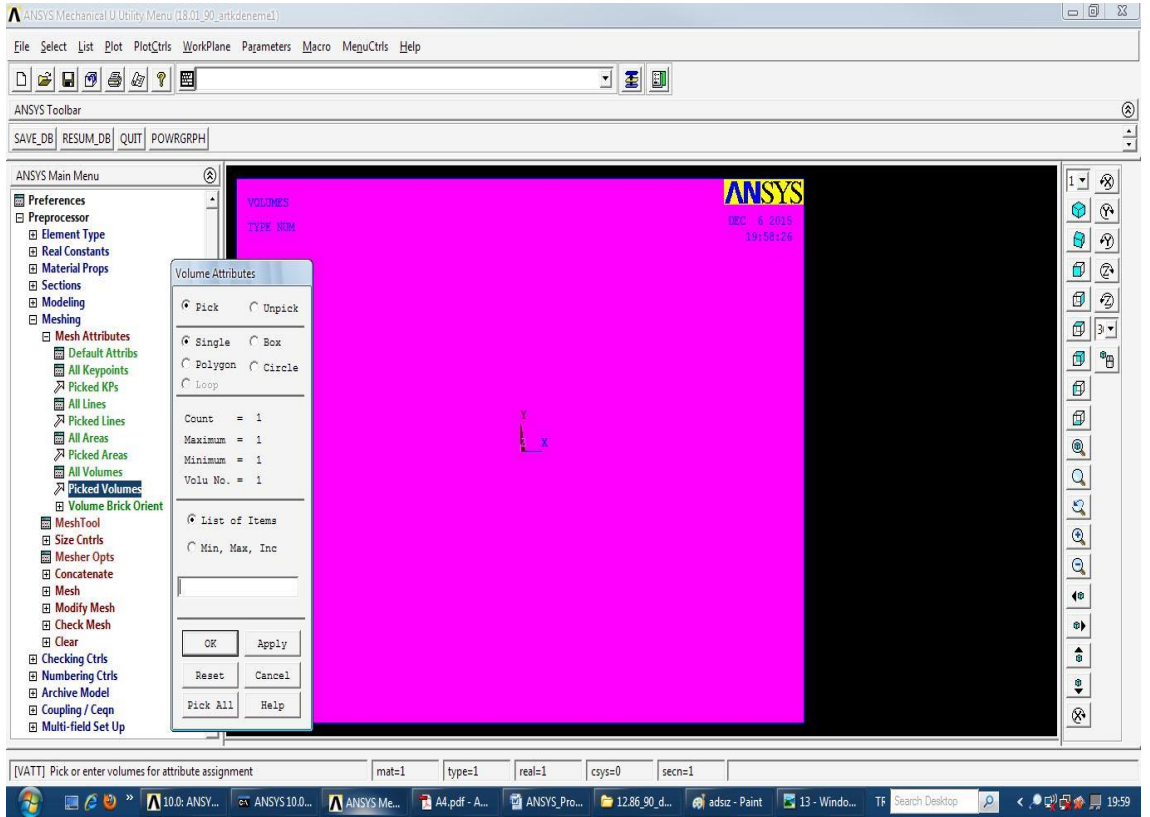
Şekil 3.5.1.9: Termal genleşme katsayılarının girilmesi



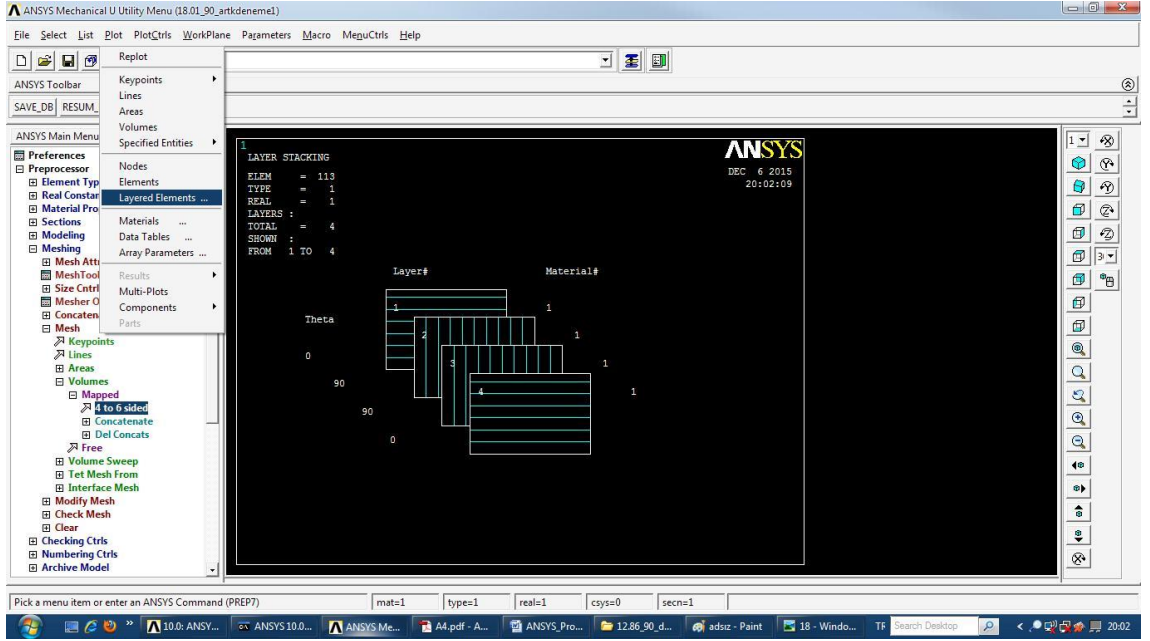
Şekil 3.5.1.10: Malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi



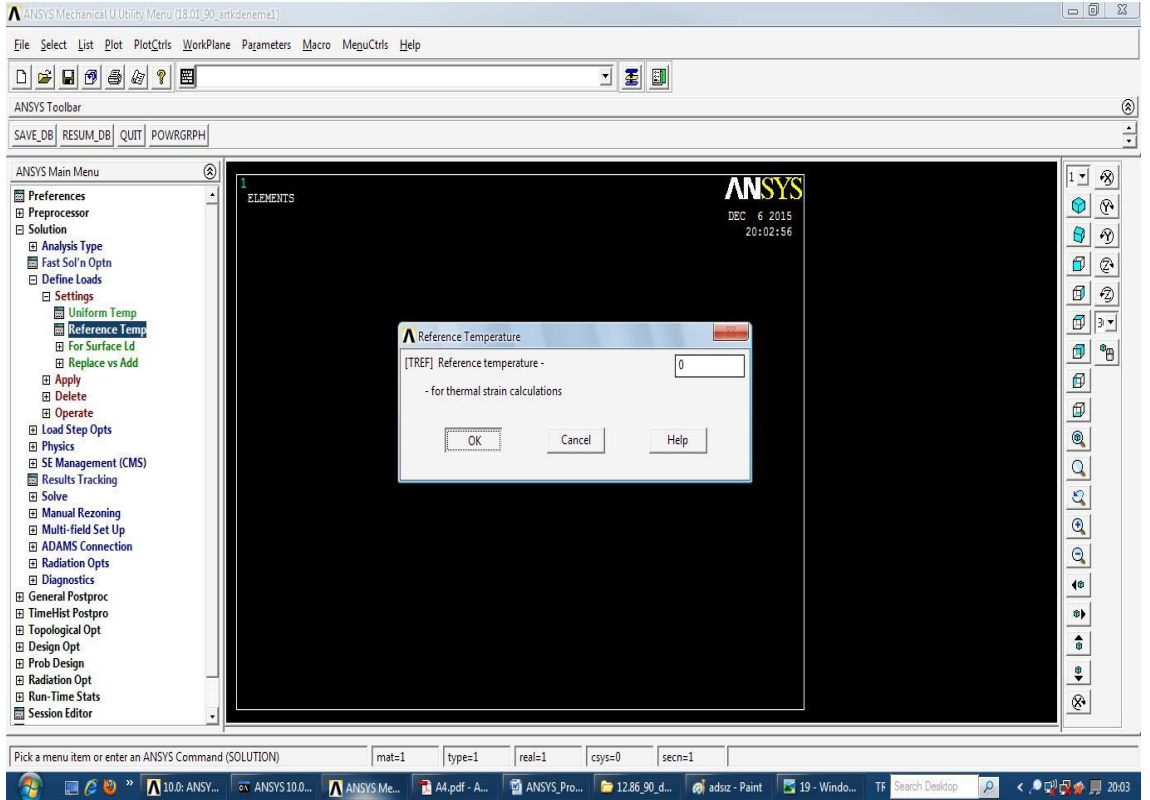
Şekil 3.5.1.11: Dikdörtgen kompozit plaka alanın oluşturulması



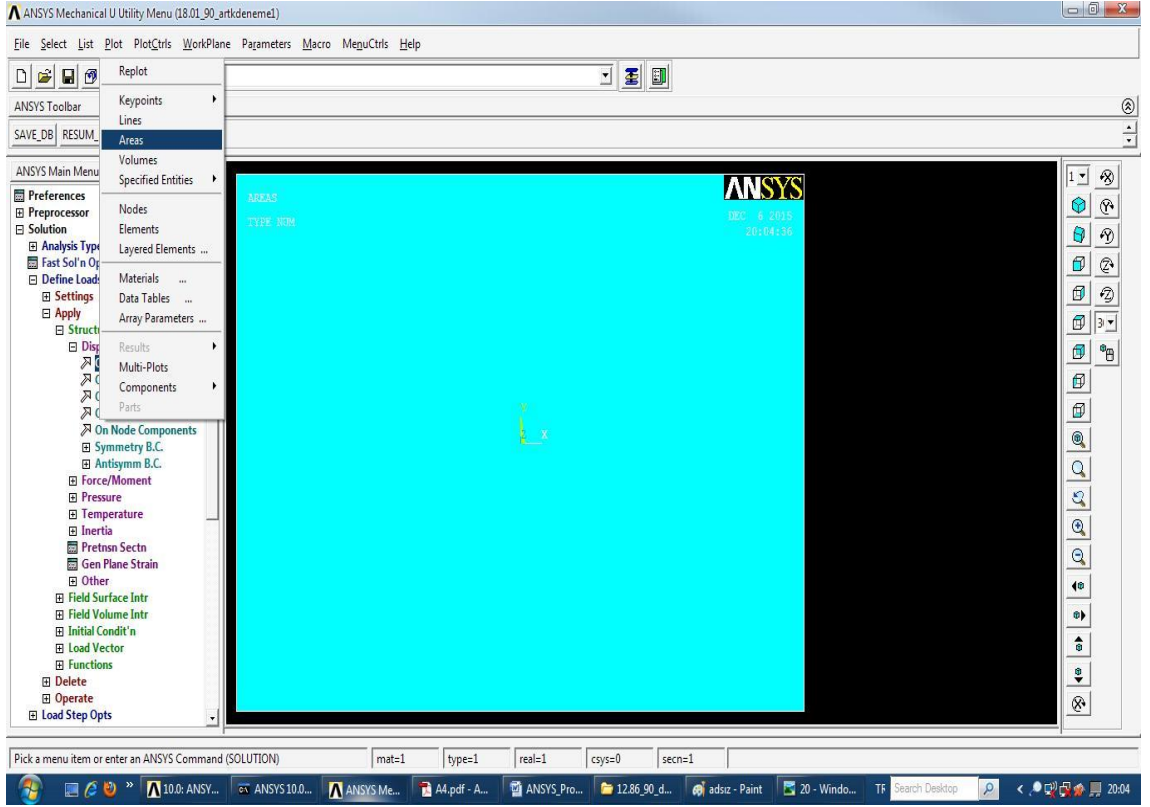
Şekil 3.5.1.12: Mesh işleminin uygulanması



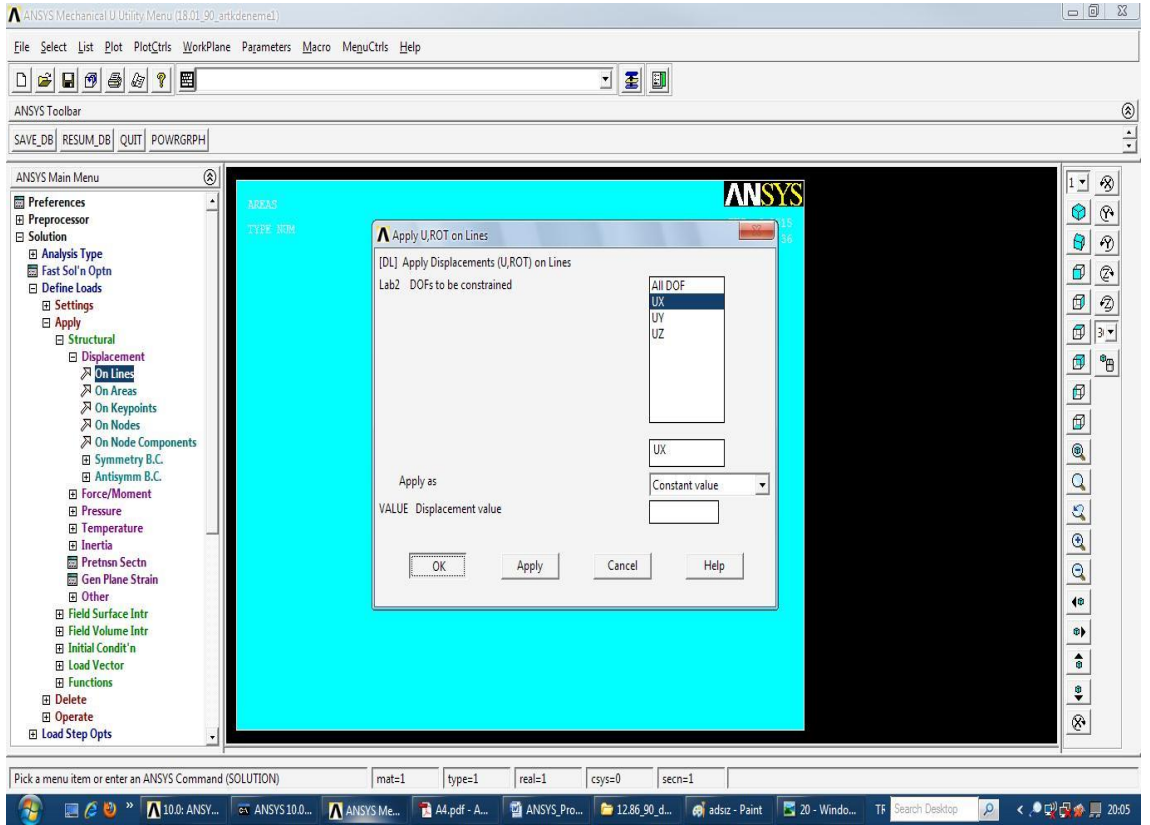
Şekil 3.5.1.13: Tabakaların oryantasyon açılarının görsel kontrolü



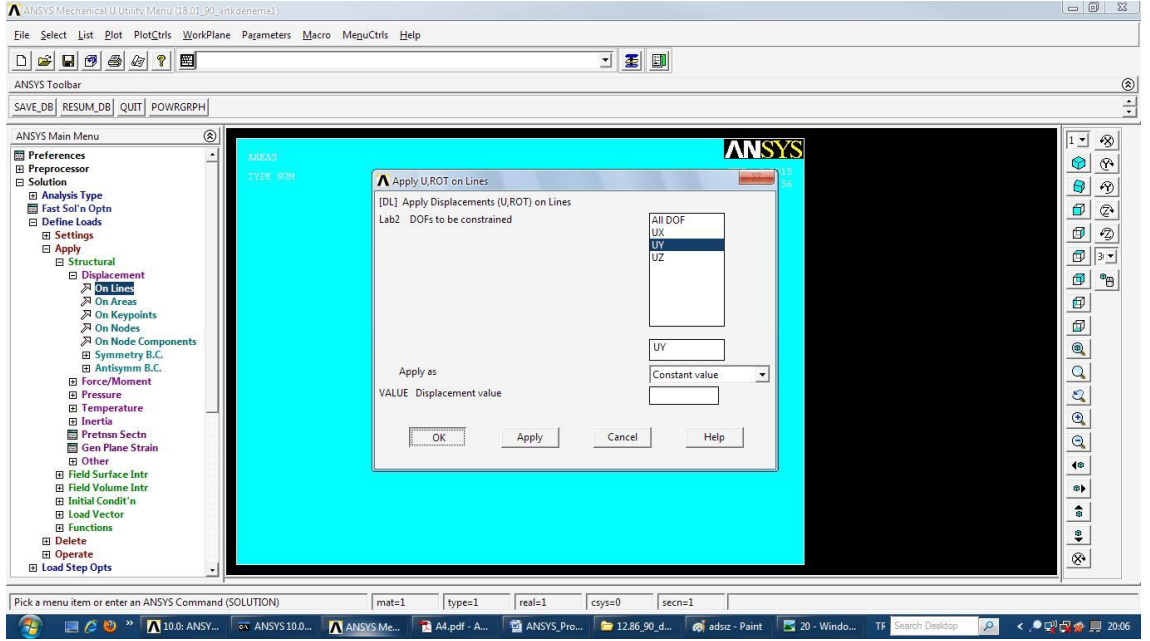
Şekil 3.5.1.14: Referans sıcaklığının girilmesi



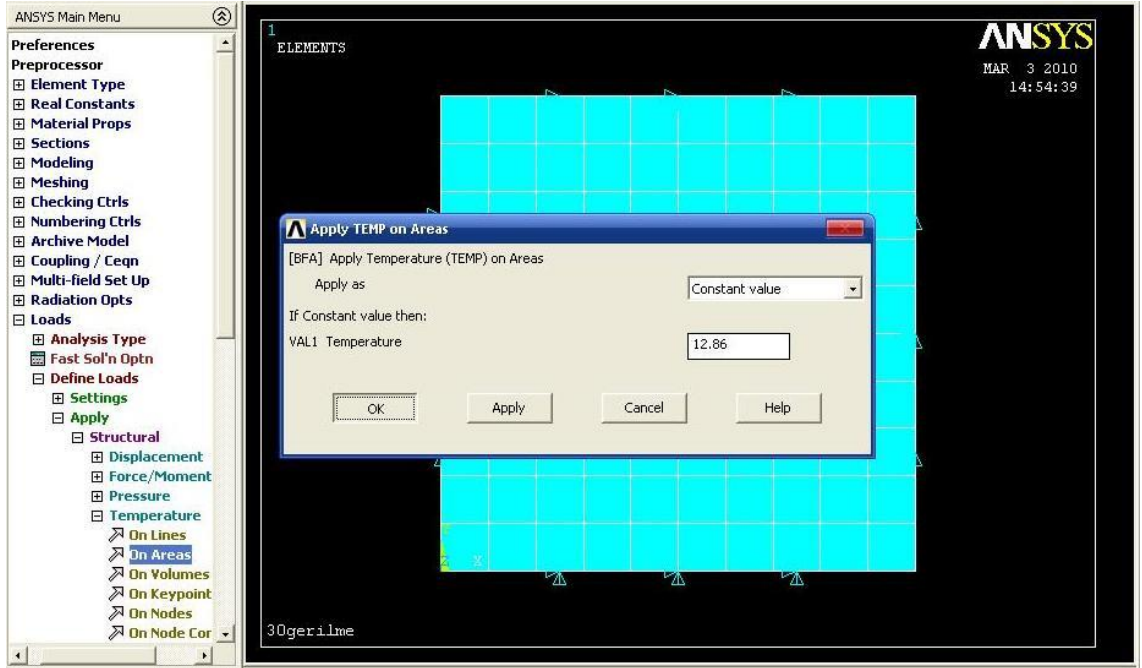
Şekil 3.5.1.15: Kompozit plaka yüzey görüntüsüne geri dönülmesi



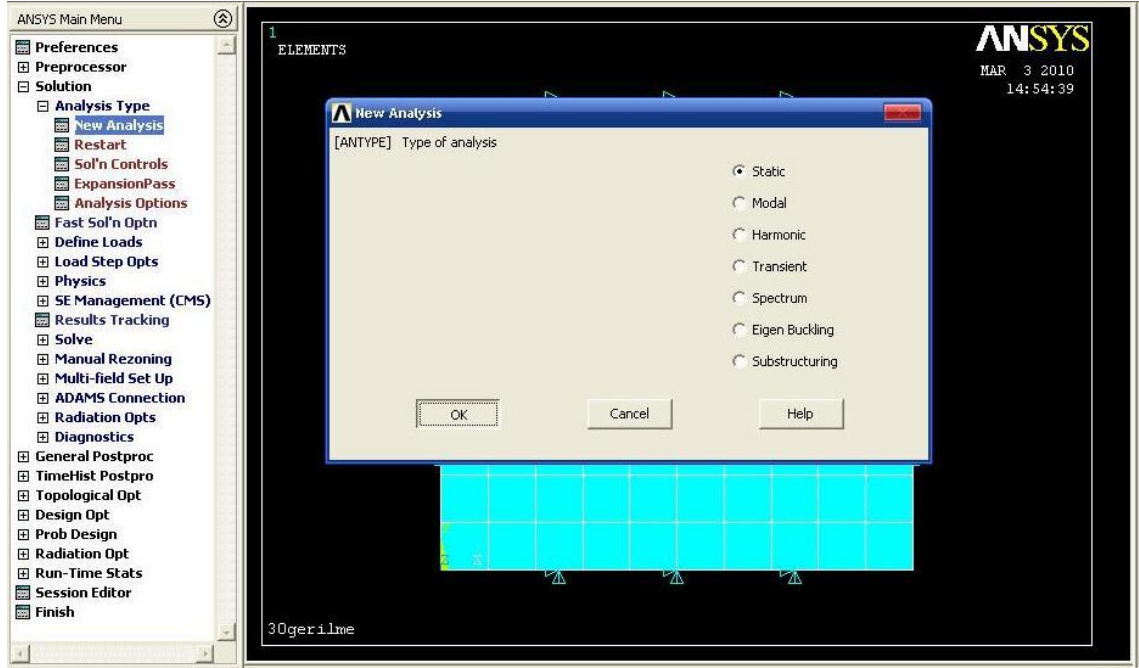
Şekil 3.5.1.16: X eksenindeki sınır şartların belirlenmesi



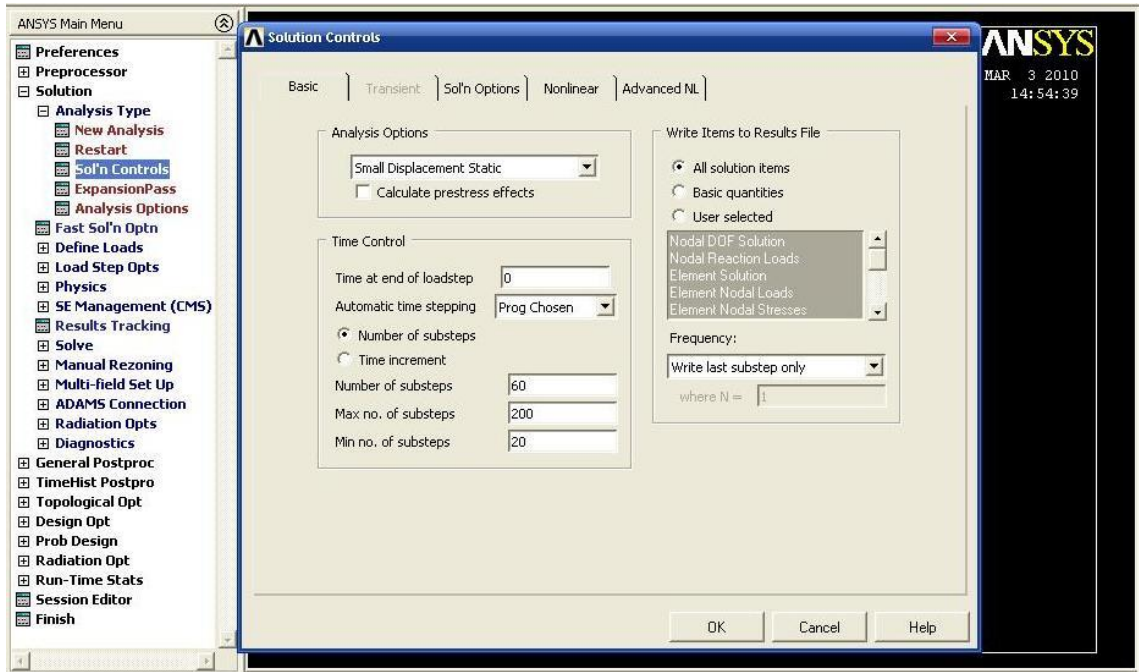
Şekil 3.5.1.17: Y eksenindeki sınır şartların belirlenmesi



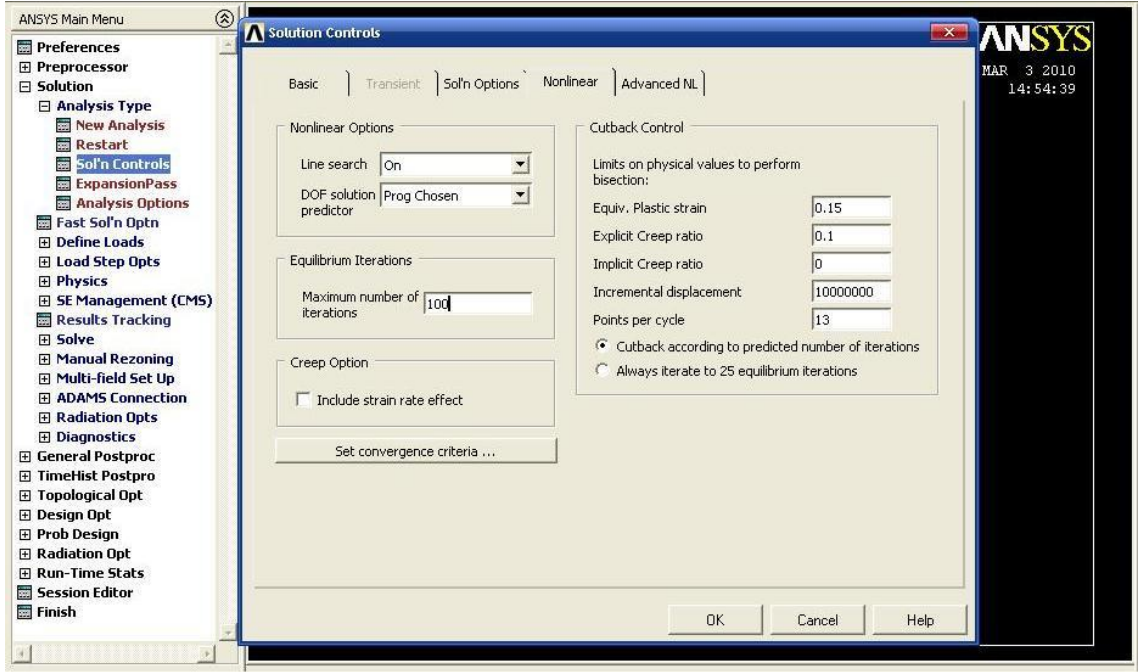
Şekil 3.5.1.18: Kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi



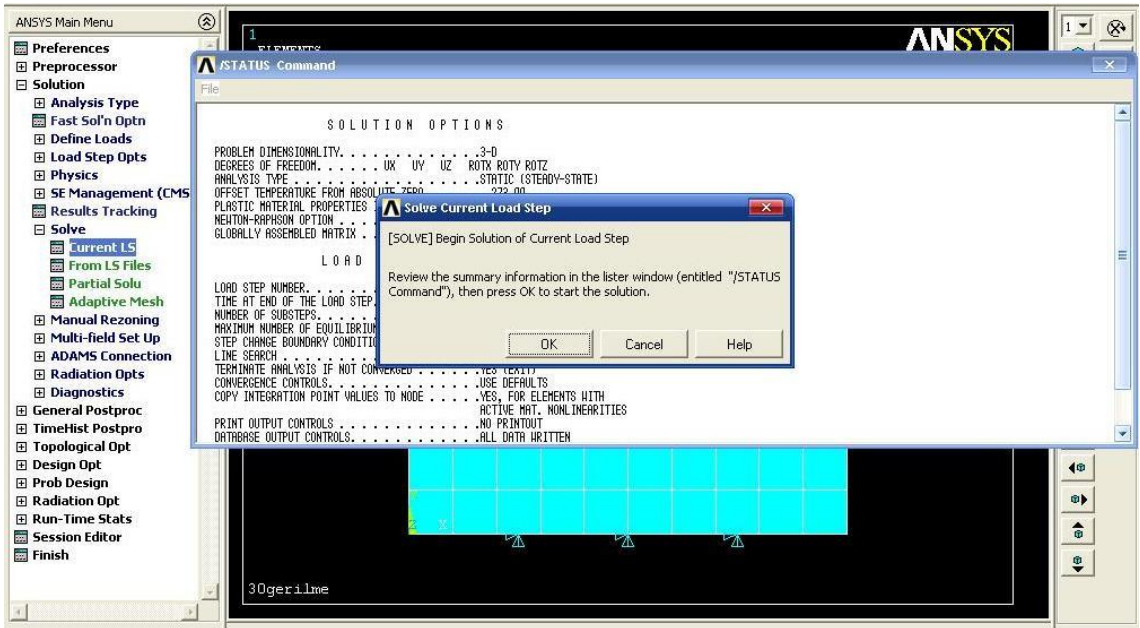
Şekil 3.5.1.19: Analiz tipinin seçilmesi



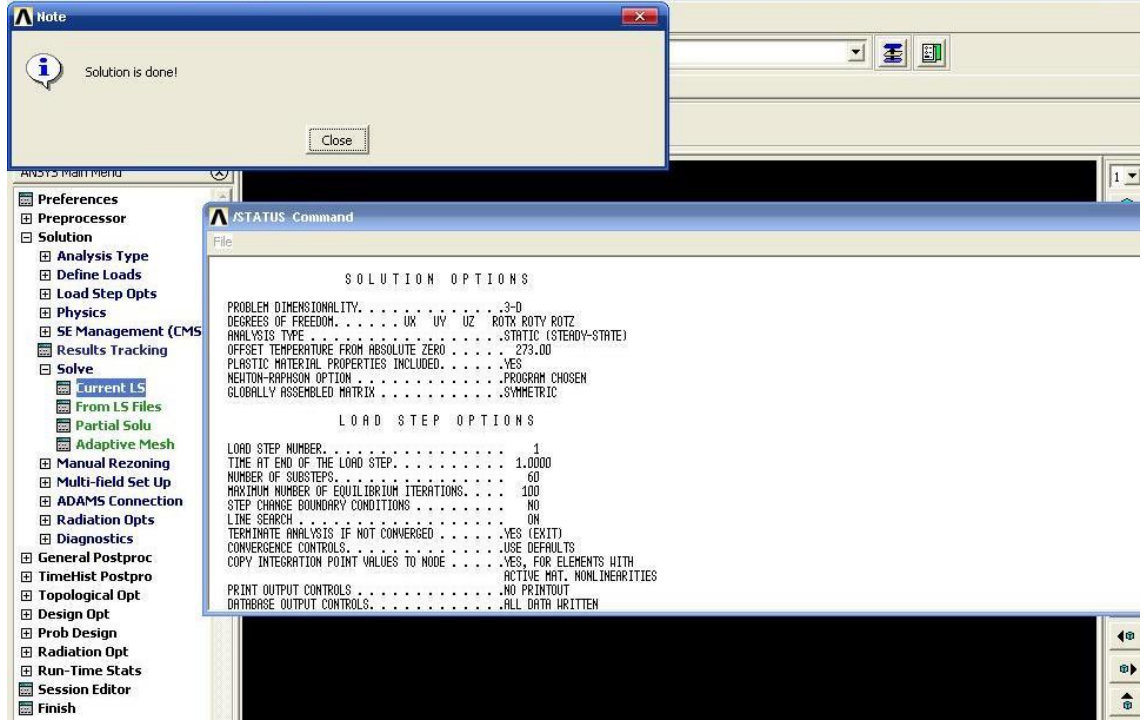
Şekil 3.5.1.20: Adım sayılarının belirlenmesi



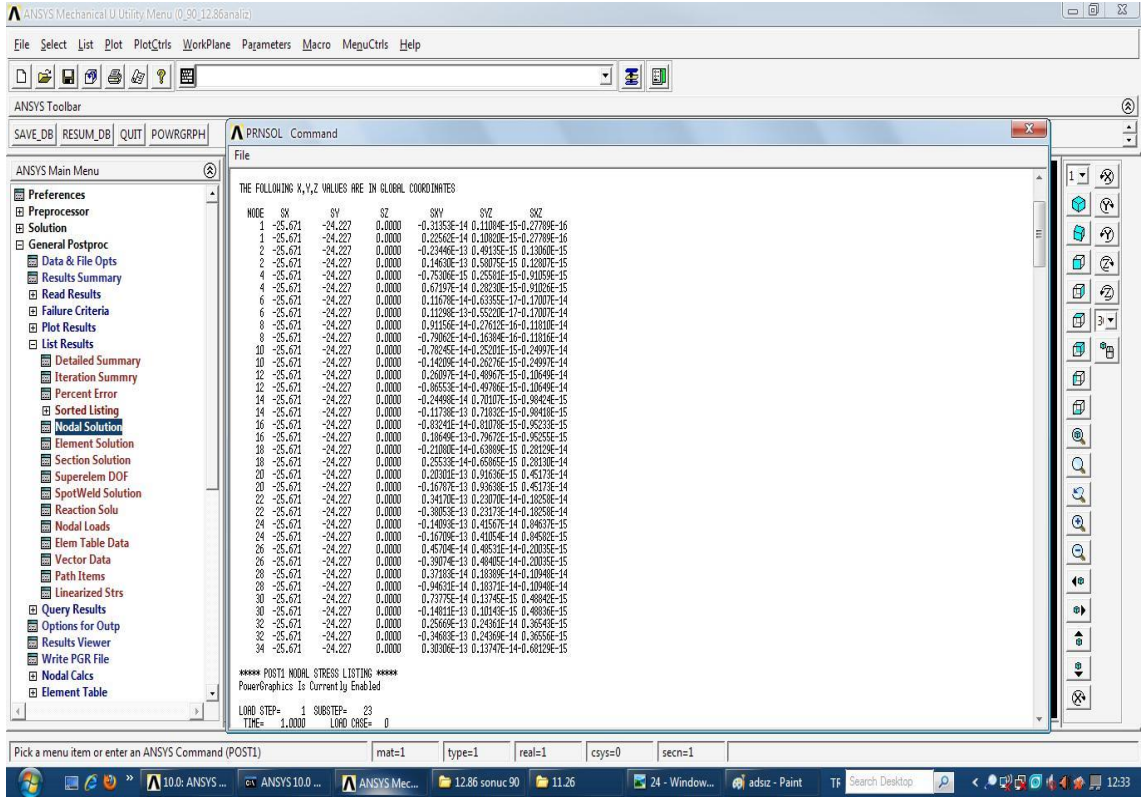
Şekil 3.5.1.21: İterasyon sayısının belirlenmesi



Şekil 3.5.1.22: Çözümlemenin yapılması



Şekil 3.5.1.23: Çözümün hatasız olarak sonuçlanması



Şekil 3.5.1.24: [0/90]_s dizilimli plakanın 12.86 ° C'deki plastik gerilmelerin sonuçları

3.5.2. 15.01 ° C Isıl Y¼k Altındaki N¼merik Analizi

Bir ¼nceki 3.5.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.5.3. 18.01 ° C Isıl Y¼k Altındaki N¼merik Analizi

Bir ¼nceki 3.5.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.5.4. 22.51 ° C Isıl Y¼k Altındaki N¼merik Analizi

Bir ¼nceki 3.5.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.5.5. 30.02 ° C Isıl Y¼k Altındaki N¼merik Analizi

Bir ¼nceki 3.5.4’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.5.6. 45.02 ° C Isıl Y¼k Altındaki N¼merik Analizi

Bir ¼nceki 3.5.5’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.5.7. 90.05 ° C Isıl Y¼k Altındaki N¼merik Analizi

Bir ¼nceki 3.5.6’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.6. 30°/ -30°/ -30°/ 30° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Artık Gerilmeleri

3.6.1. 12.86 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.5.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.6.2. 15.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.6.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.6.3. 18.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.6.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.6.4. 22.51 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.6.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.6.5. 30.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.6.4’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.6.6. 45.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.6.5’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.6.7. 90.05 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.6.6’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.7. 45°/ -45°/ -45°/ 45° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Artık Gerilmeleri

3.7.1. 12.86 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.6.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.7.2. 15.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.7.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.7.3. 18.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.7.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.7.4. 22.51 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.7.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.7.5. 30.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.7.4’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.7.6. 45.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.7.5’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.7.7. 90.05 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.7.6’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.8. 60°/ -60°/ -60°/ 60° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Artık Gerilmeleri

3.8.1. 12.86 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.7.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.8.2. 15.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.8.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.8.3. 18.01 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.8.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.8.4. 22.51 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.8.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.8.5. 30.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

Bir önceki 3.8.4’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.8.6. 45.02 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

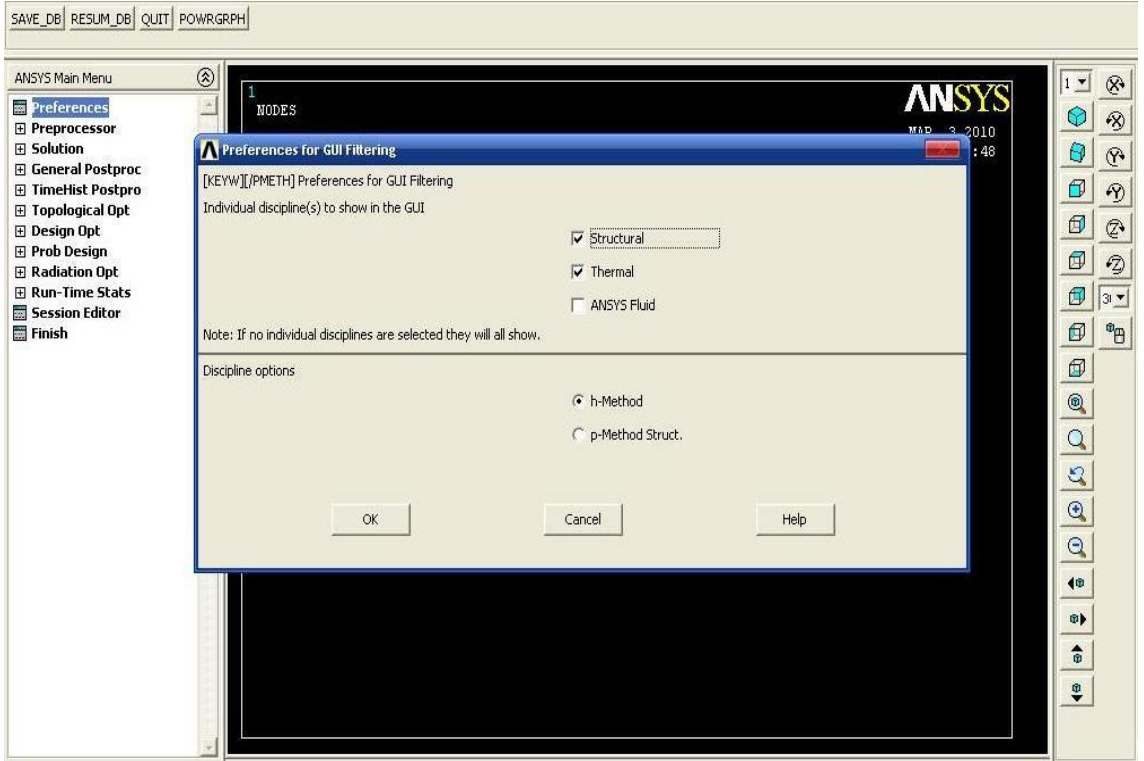
Bir önceki 3.8.5’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.8.7. 90.05 ° C Isıl Yük Altındaki Nümerik Analizi

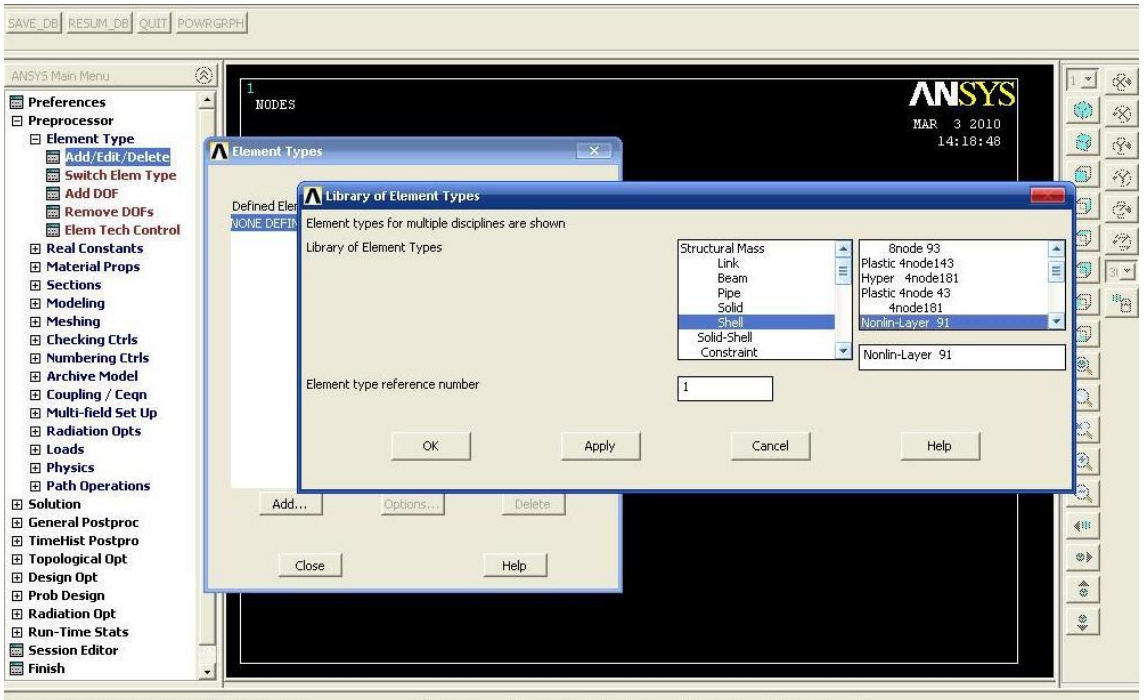
Bir önceki 3.8.6’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.9. 0°/ 90°/ 90°/ 0° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmeleri

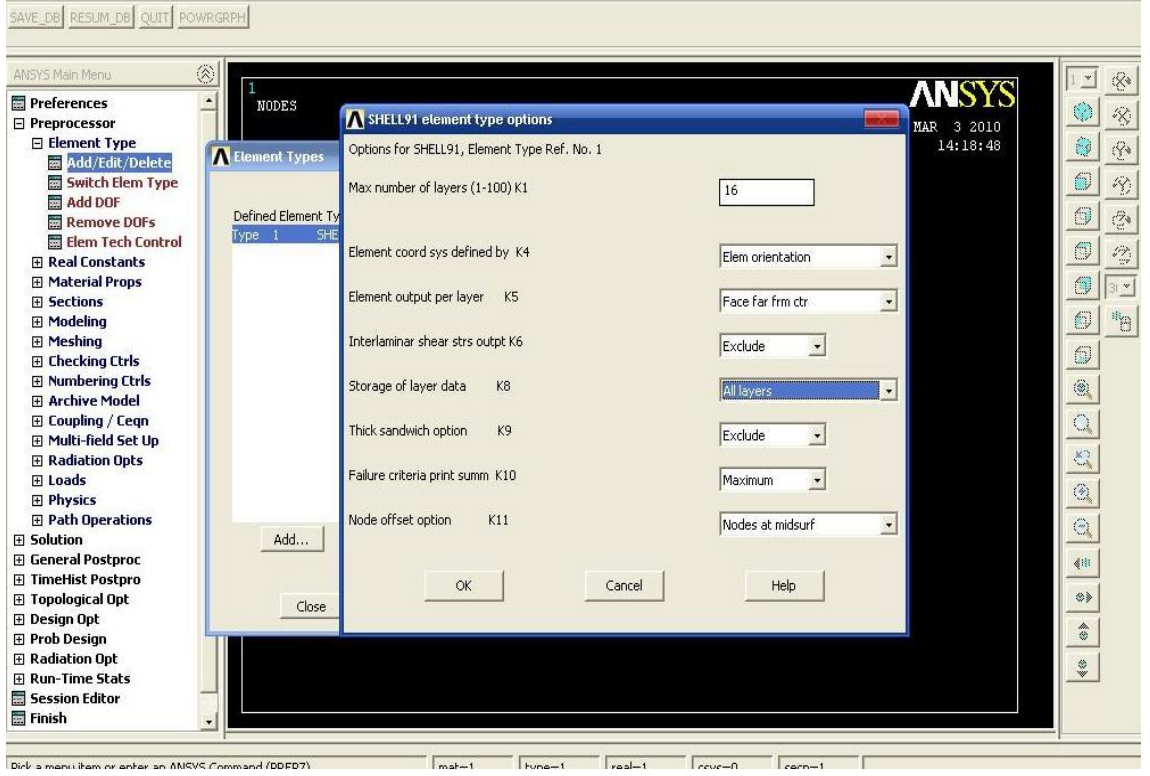
3.9.1. [0/90]_s Dizilimli Plakanın 45.02° C'deki Z=1 mm'de Plastik Gerilmesi



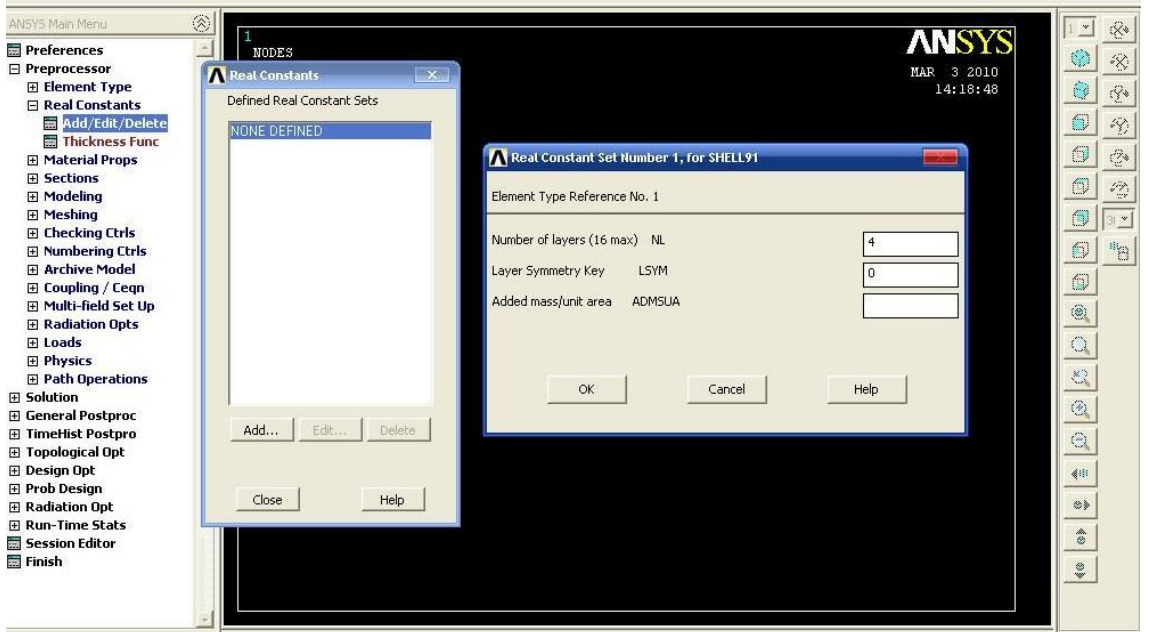
Şekil 3.9.1.1: Analiz tipinin seçilmesi



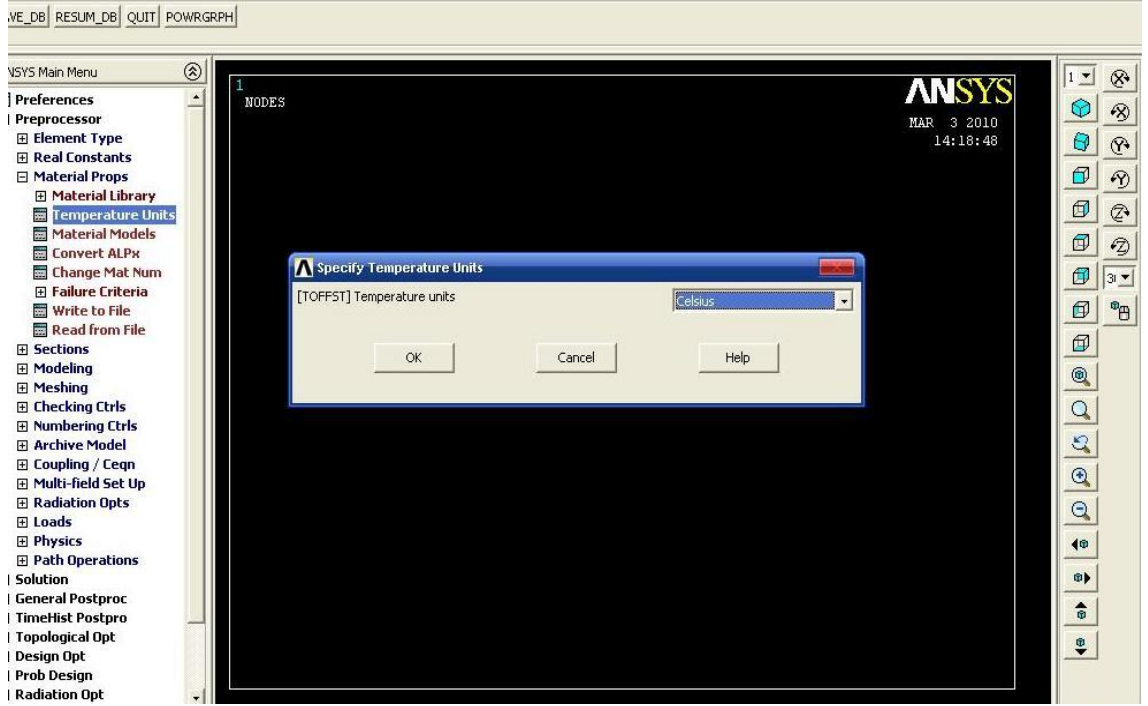
Şekil 3.9.1.2: Eleman tipinin seçilmesi



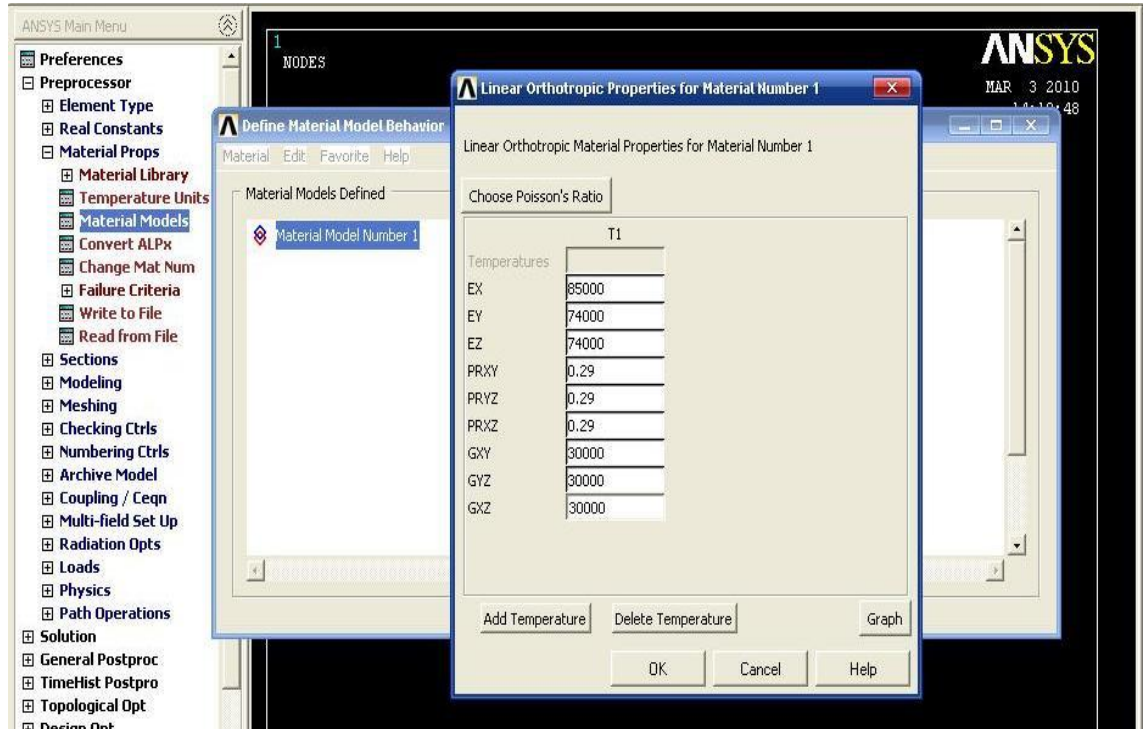
Şekil 3.9.1.3: Bütün tabakalardaki değerlerin veri olarak kaydedilmesi



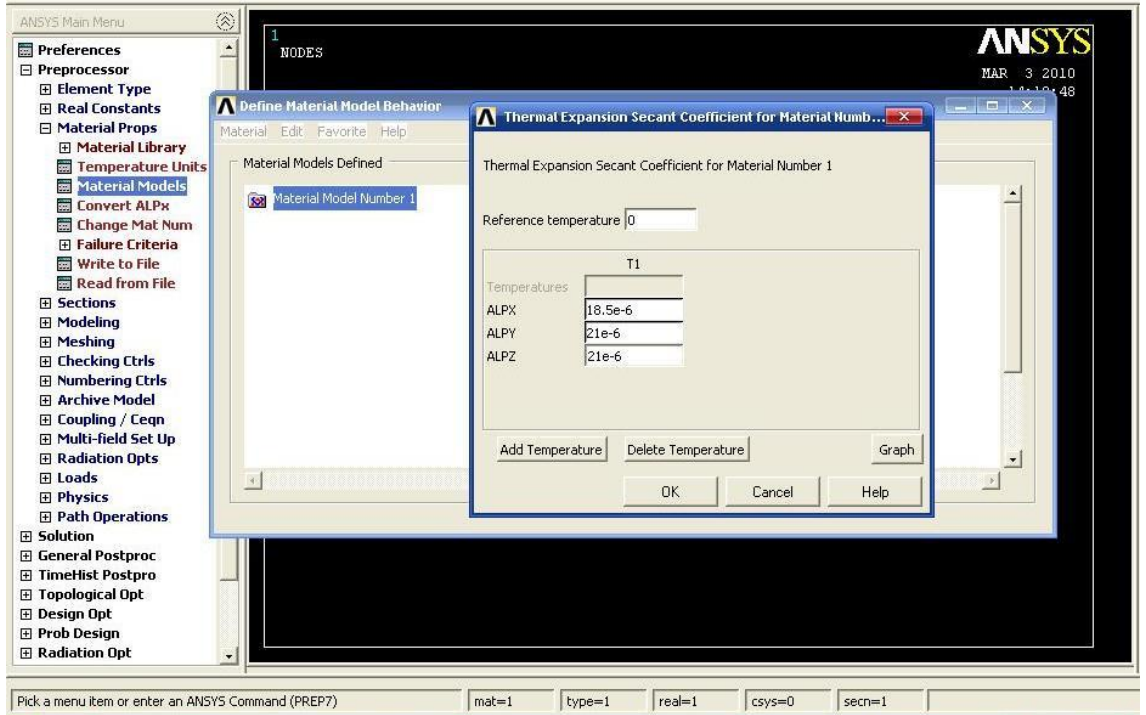
Şekil 3.9.1.4: Tabaka sayısının belirlenmesi



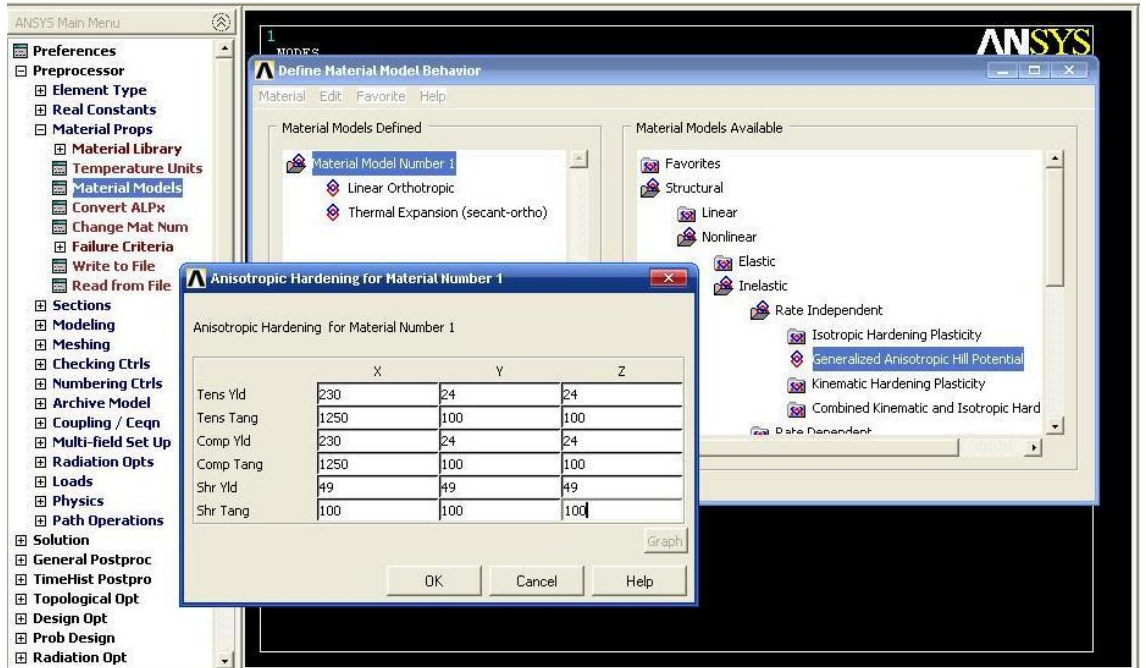
Şekil 3.9.1.5: Sıcaklık biriminin belirlenmesi



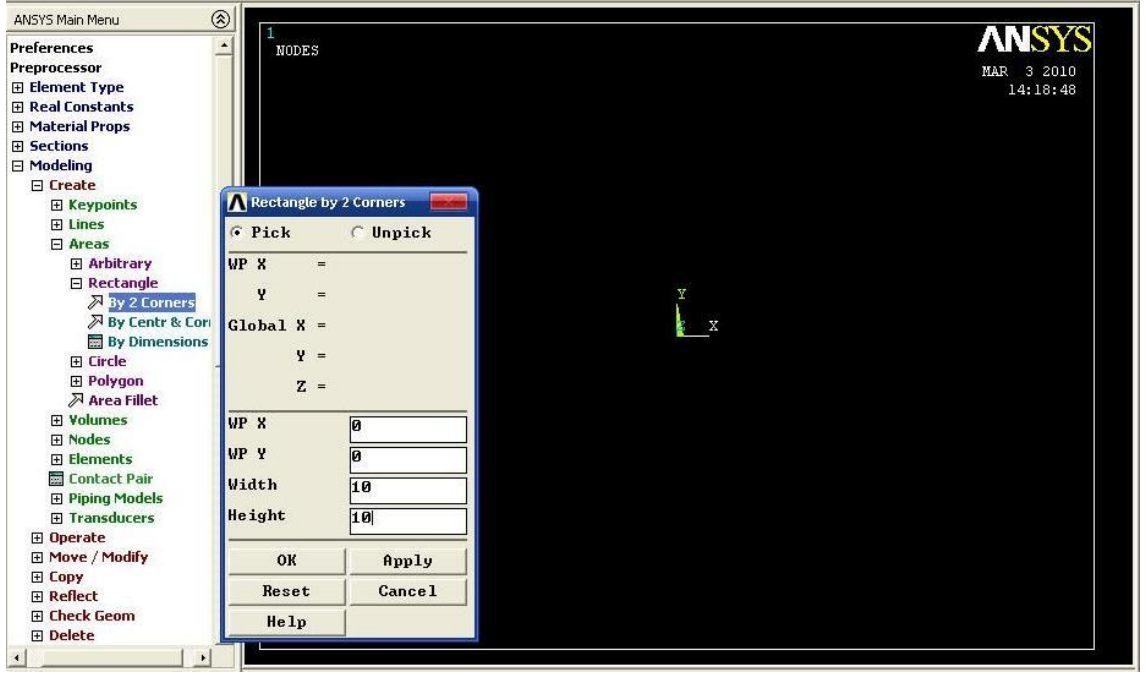
Şekil 3.9.1.6: Malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi



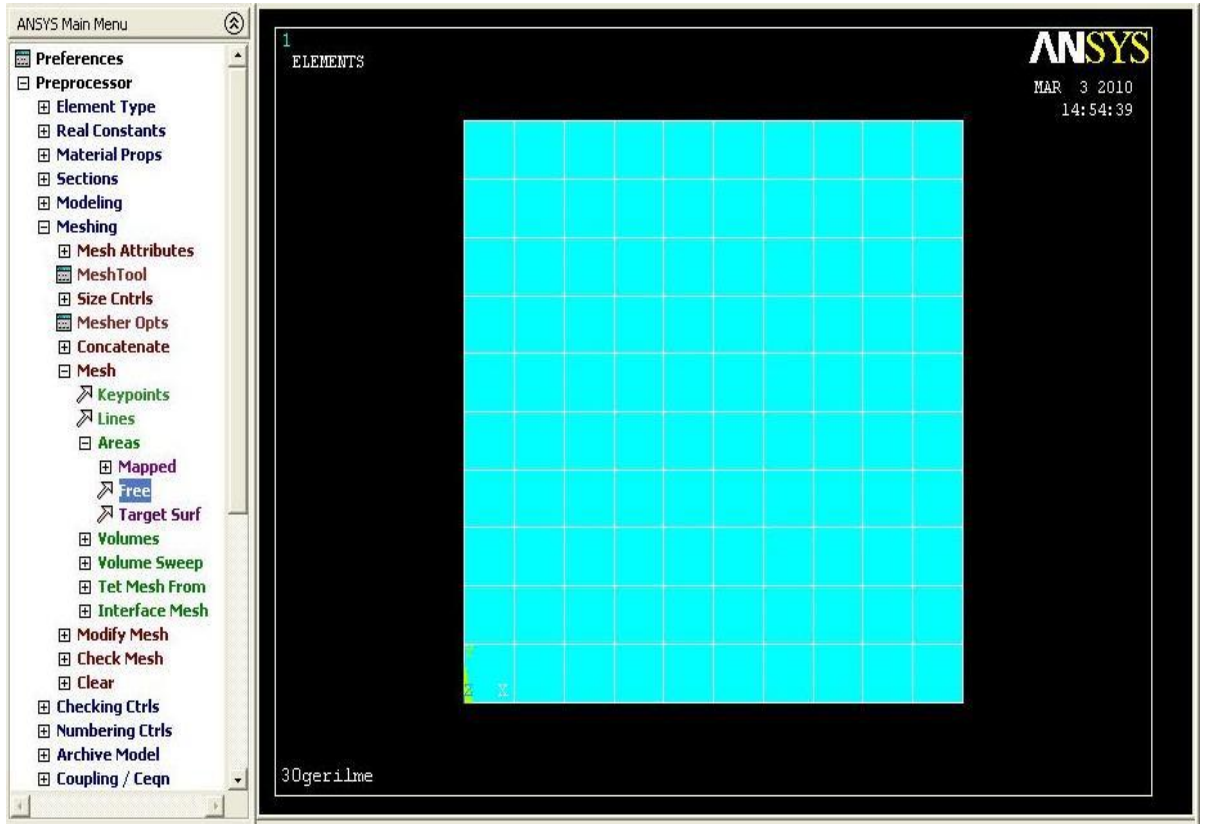
Şekil 3.9.1.7: Termal genişleme katsayılarının girilmesi



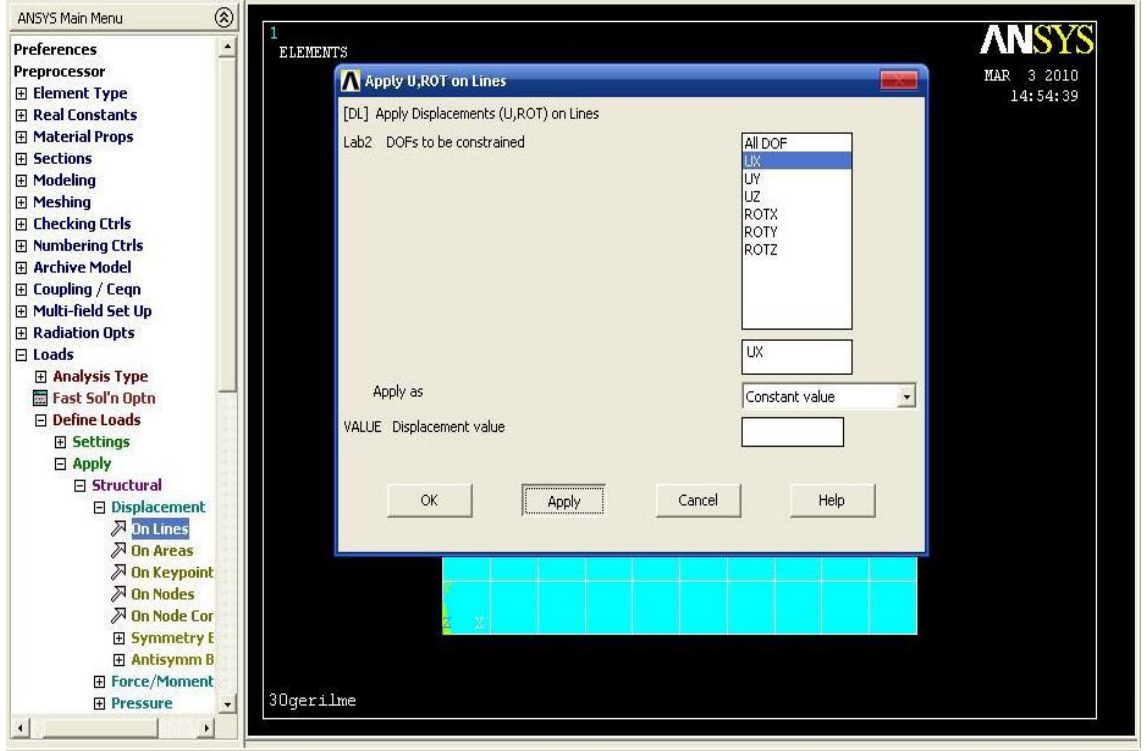
Şekil 3.9.1.8: Malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi



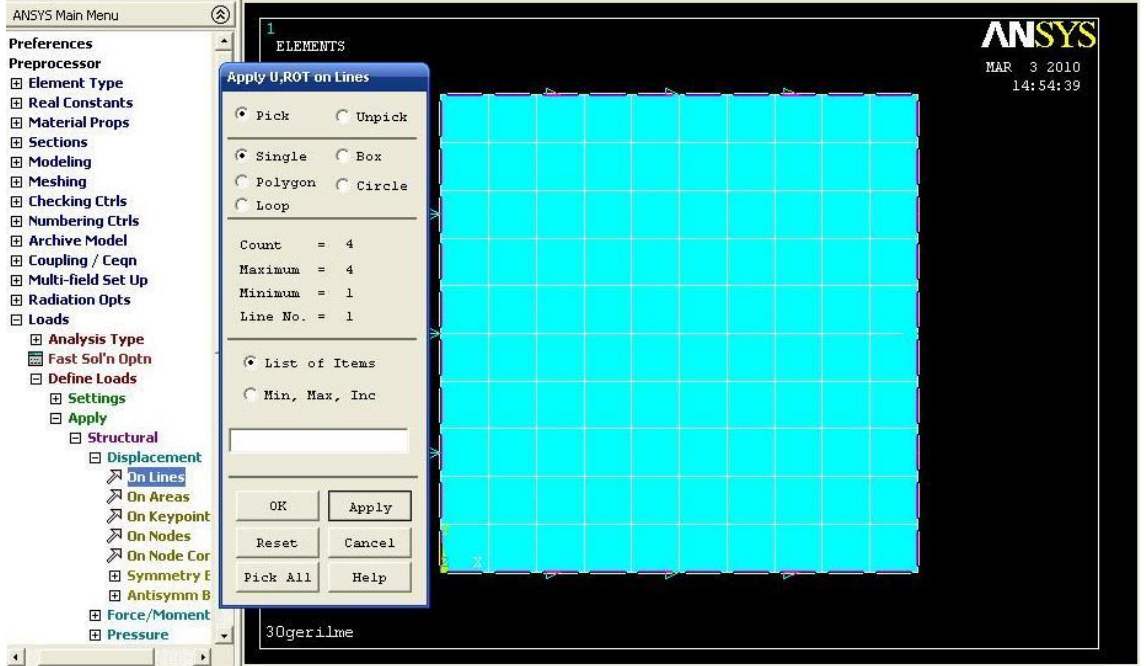
Şekil 3.9.1.9: Dikdörtgen kompozit plaka alanının oluşturulması



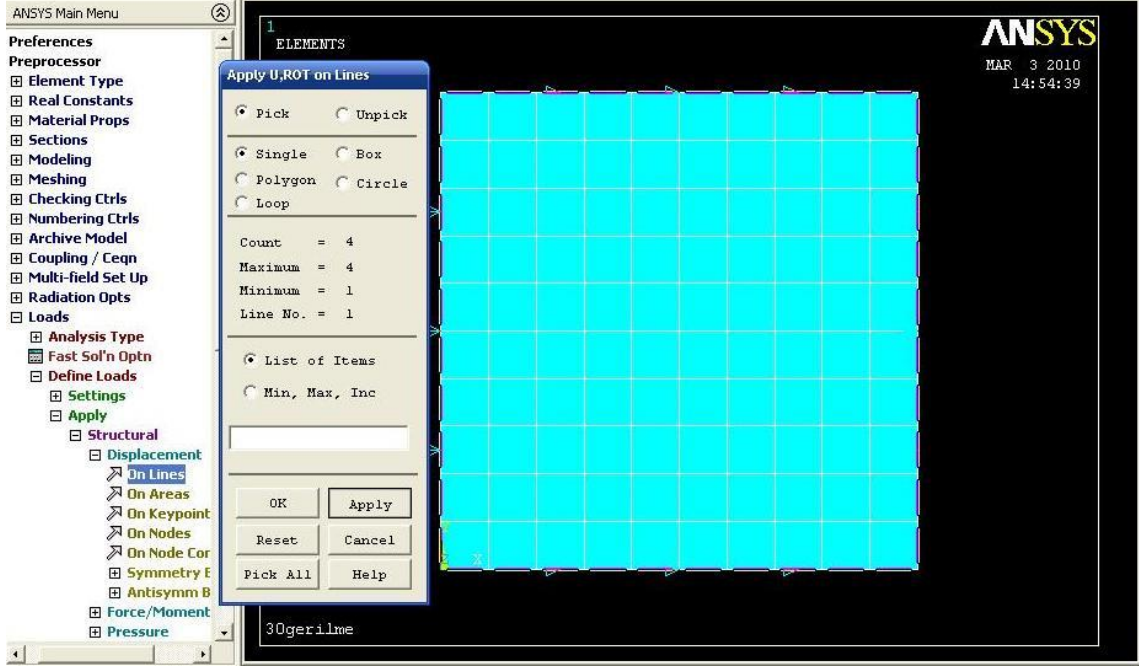
Şekil 3.9.1.10: Mesh işleminin uygulanması



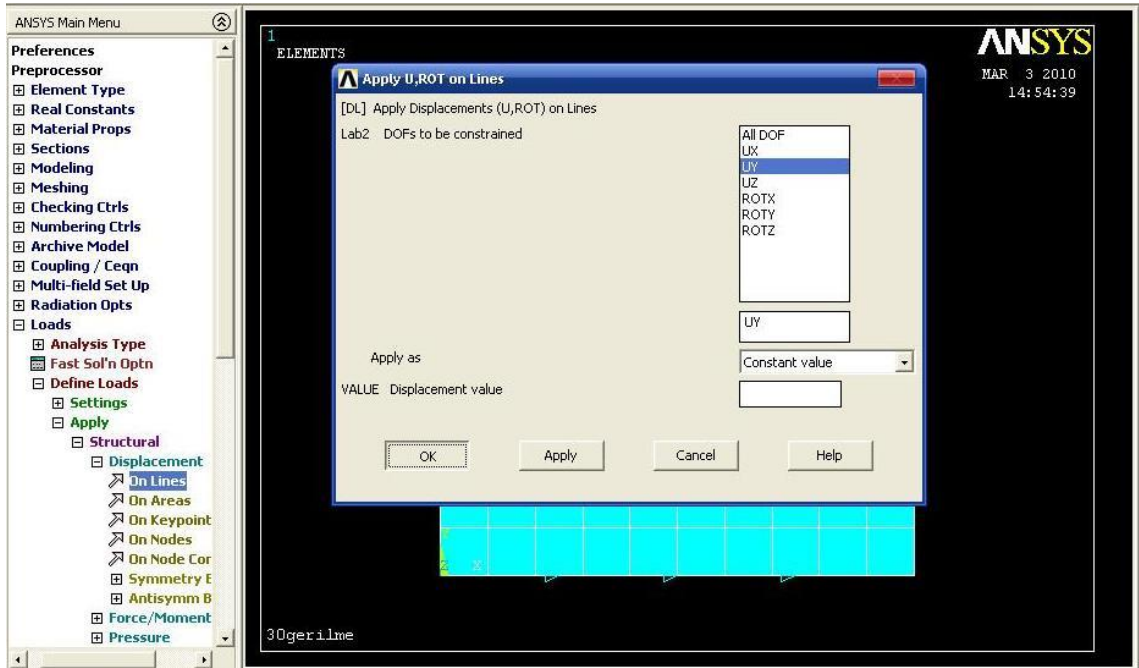
Şekil 3.9.1.11: X eksenine ait sınır şartların belirlenmesi



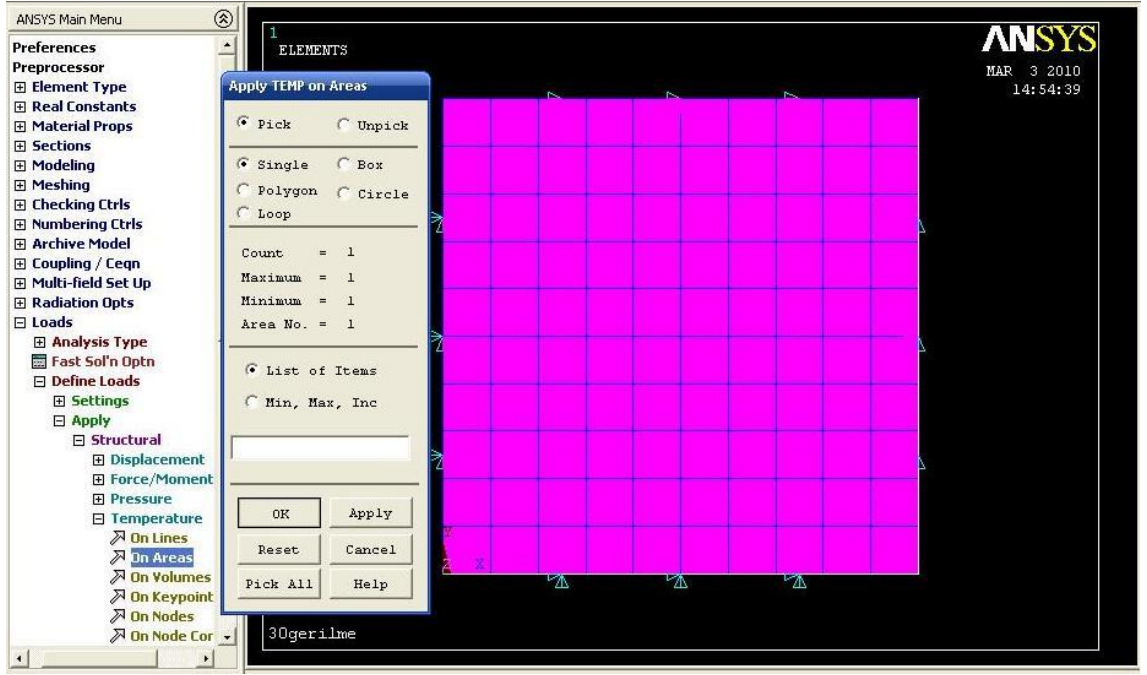
Şekil 3.9.1.12: Sınır şartların hangi kenarlara uygulanacağını seçimi



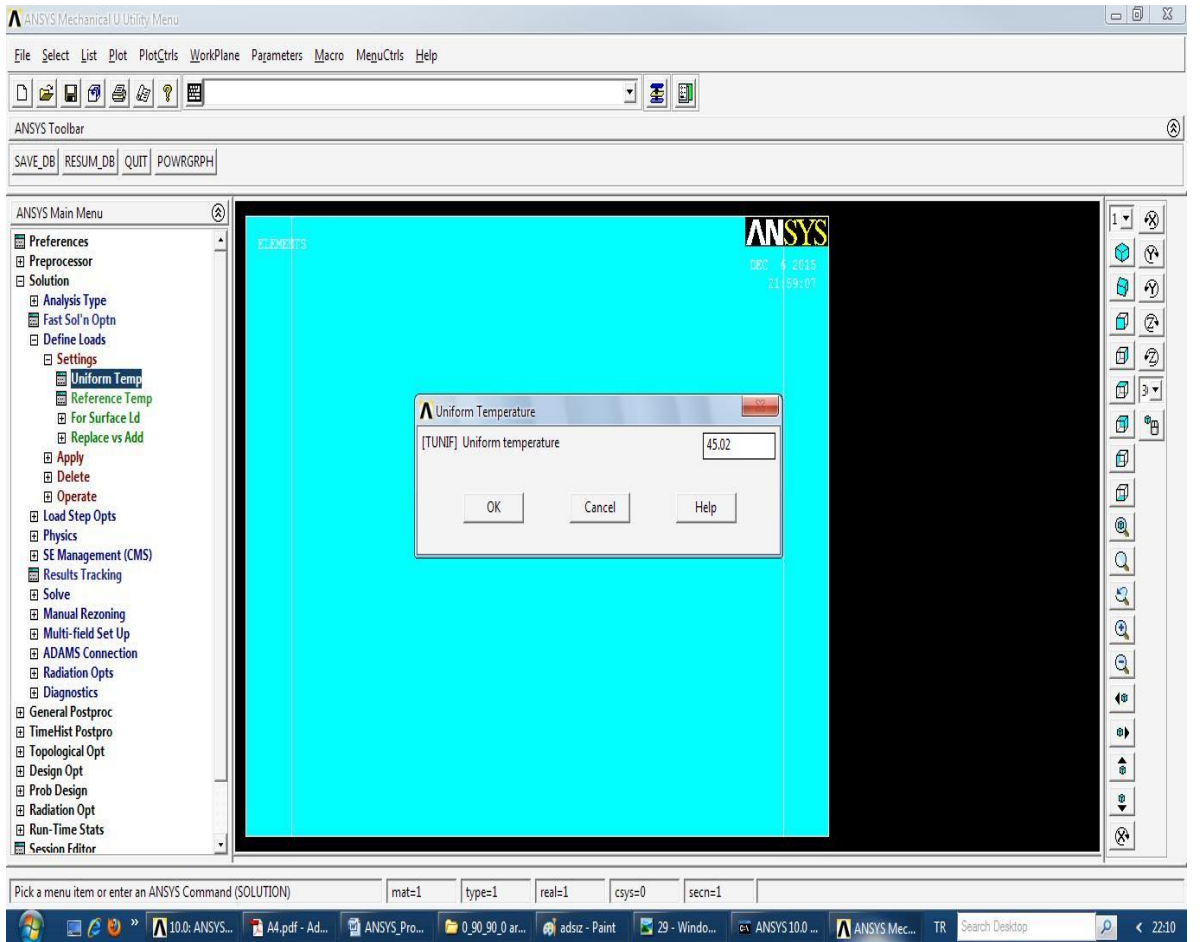
Şekil 3.9.1.13: Sınır şartların aynı kenarlar seçilerek tekrar belirlenmesi



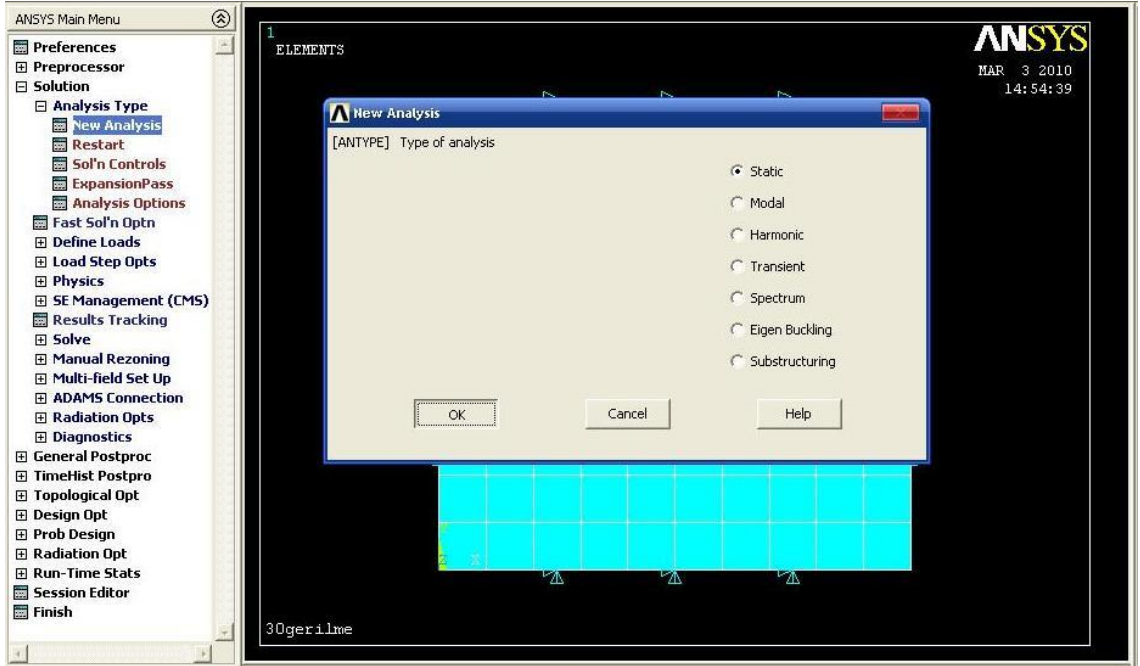
Şekil 3.9.1.14: Y eksenine ait sınır şartların belirlenmesi



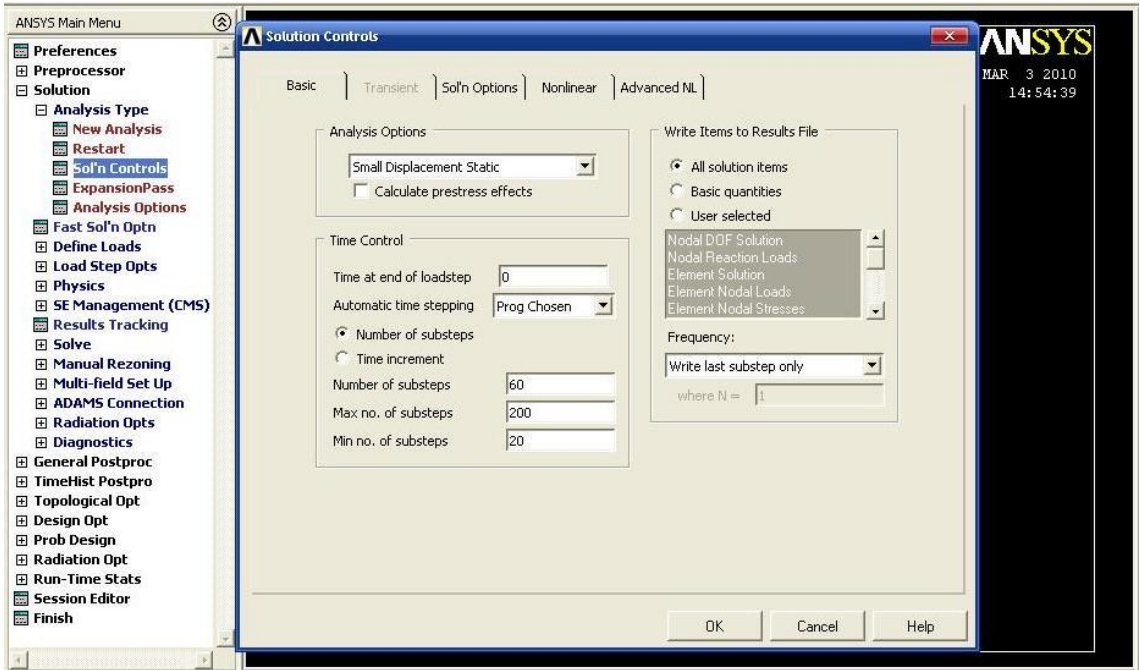
Şekil 3.9.15: Kompozit plaka yüzeyine termal yükleme yapılması



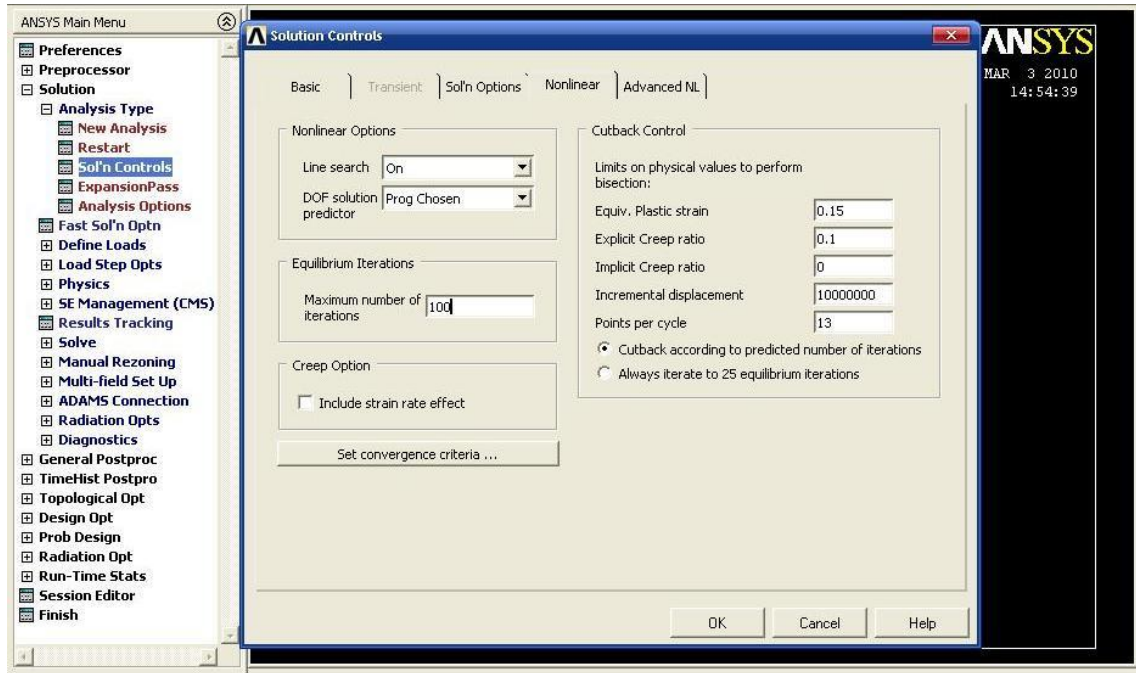
Şekil 3.9.16: Kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi



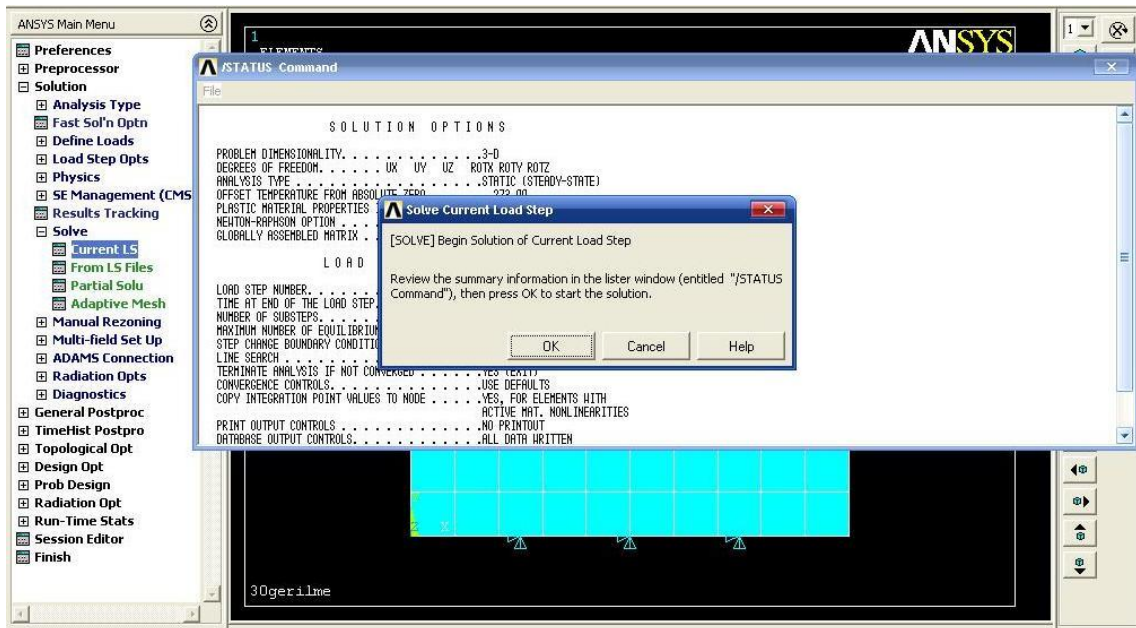
Şekil 3.9.1.17: Analiz tipinin seçilmesi



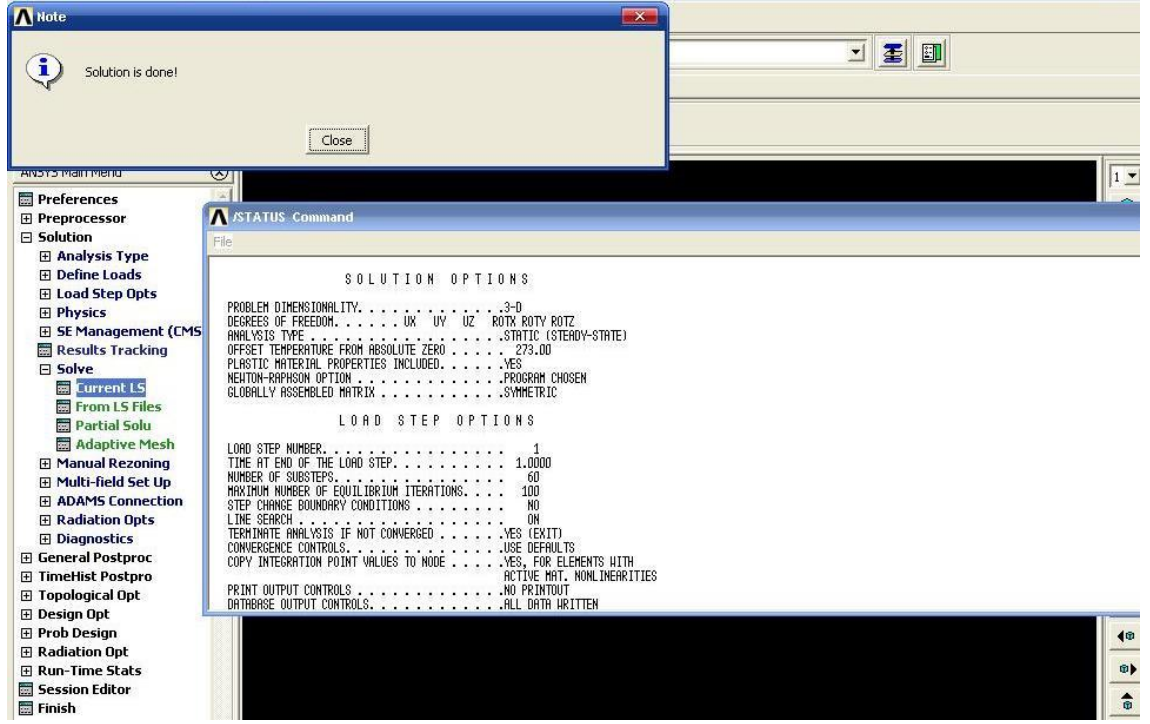
Şekil 3.9.1.18: Adım sayılarının belirlenmesi



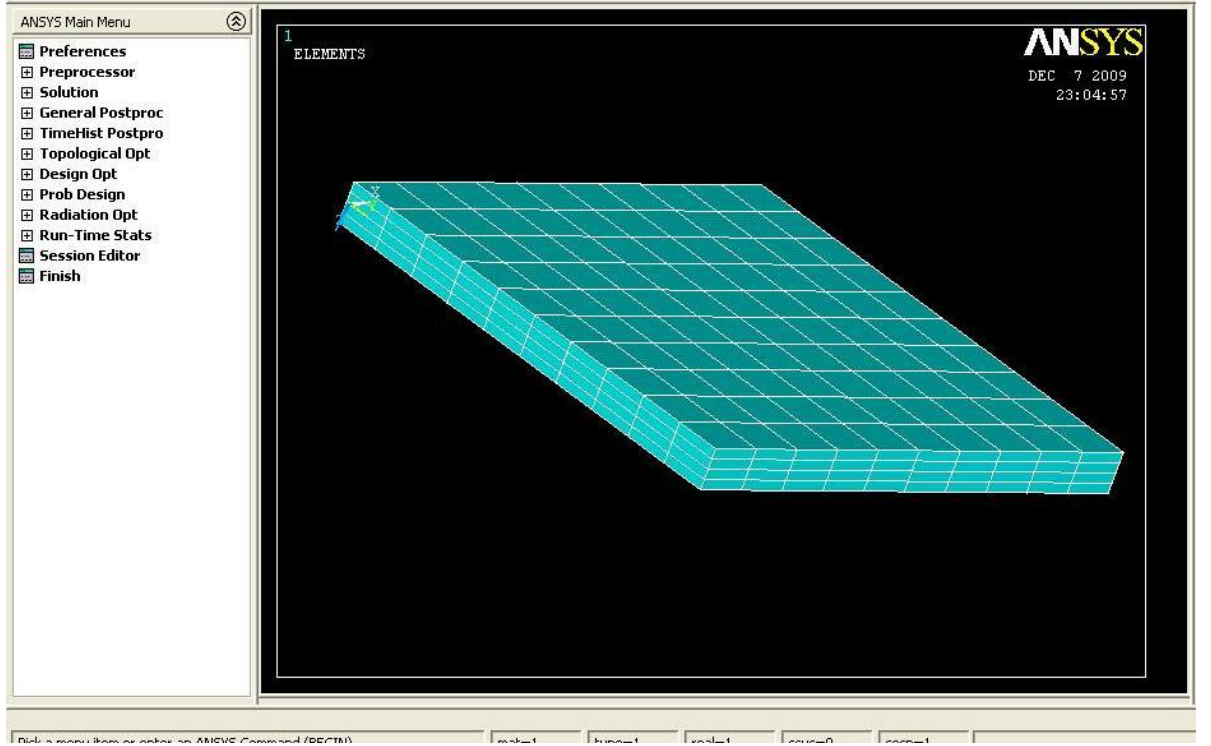
Şekil 3.9.1.19: İterasyon sayısının belirlenmesi



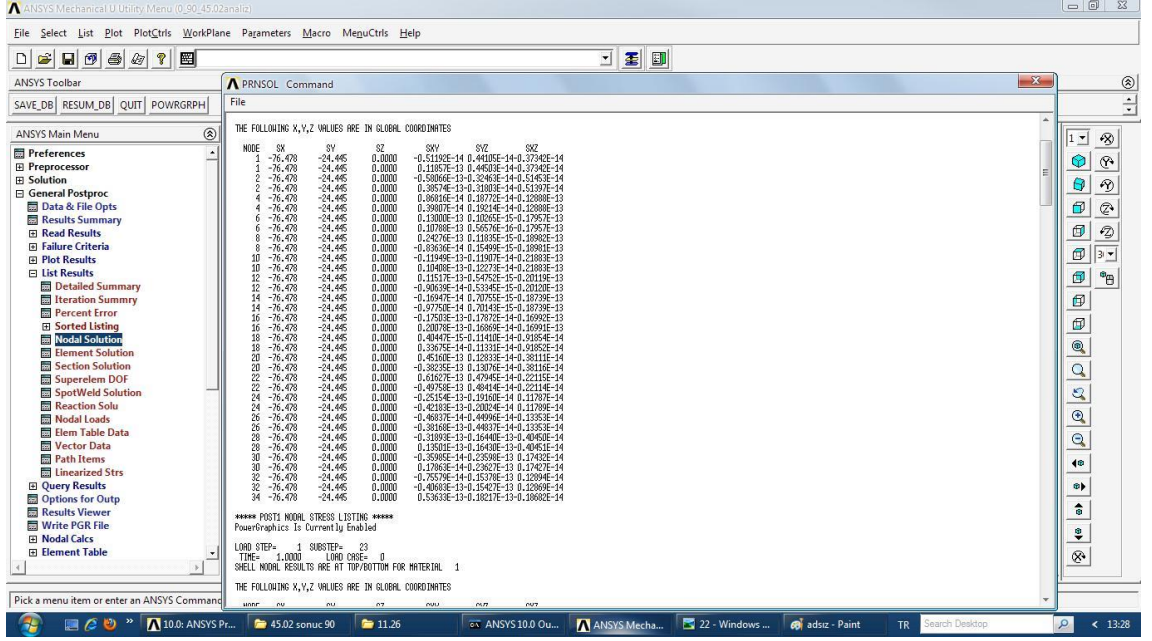
Şekil 3.9.1.20: Çözümlemenin yapılması



Şekil 3.9.1.21: Çözümün hatasız olarak sonuçlanması



Şekil 3.9.1.22: Modelin 3 boyutlu görüntülenmesi



Şekil 3.9.1.23: $[0/90]_s$ dizilimli plakanın 45.02°C 'deki gerilme değerleri sonuçları

3.9.2. $[0/90]_s$ Dizilimli Plakanın 22.51°C 'deki $Z=2 \text{ mm}$ 'de Plastik Gerilmesi

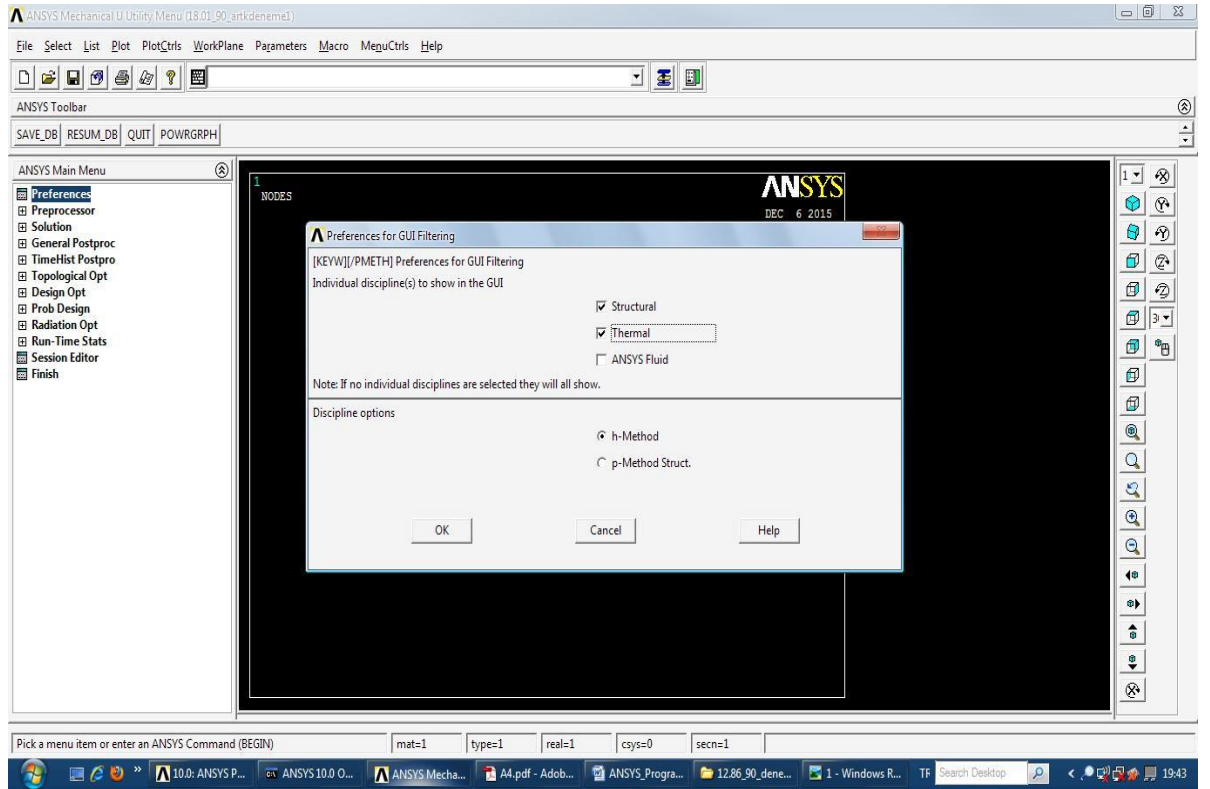
Bir önceki 3.9.1'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.9.3. $[0/90]_s$ Dizilimli Plakanın 15.01°C 'deki $Z=3 \text{ mm}$ 'de Plastik Gerilmesi

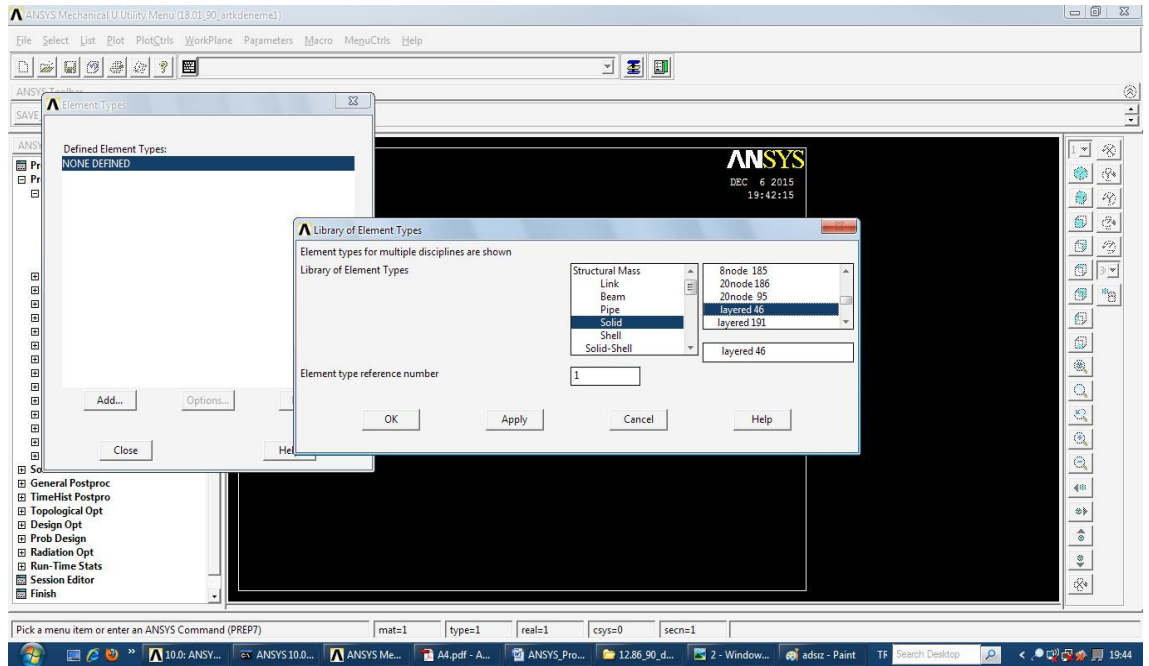
Bir önceki 3.9.2'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.10. 0°/ 90°/ 90°/ 0° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmeleri

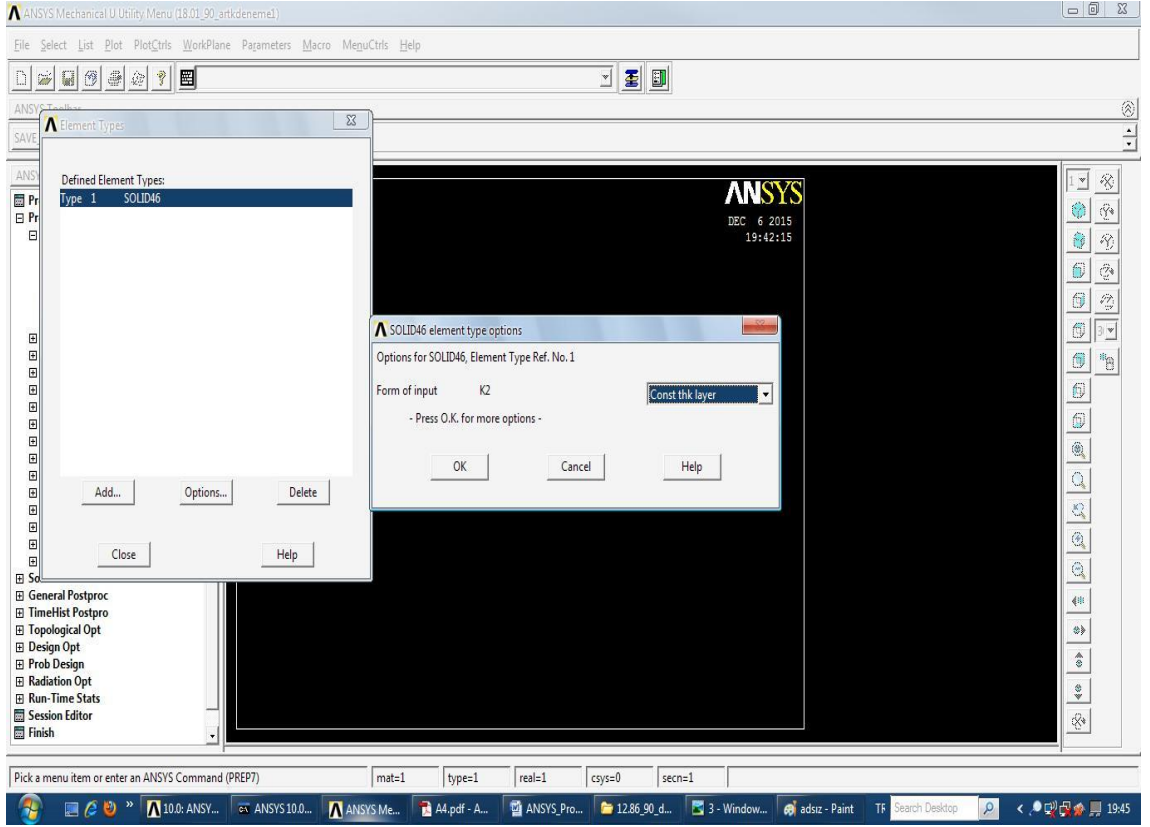
3.10.1. [0/90]_s Dizimli Plakanın 45.02° C'de Z=1 mm'de Plastik Gerilmesi



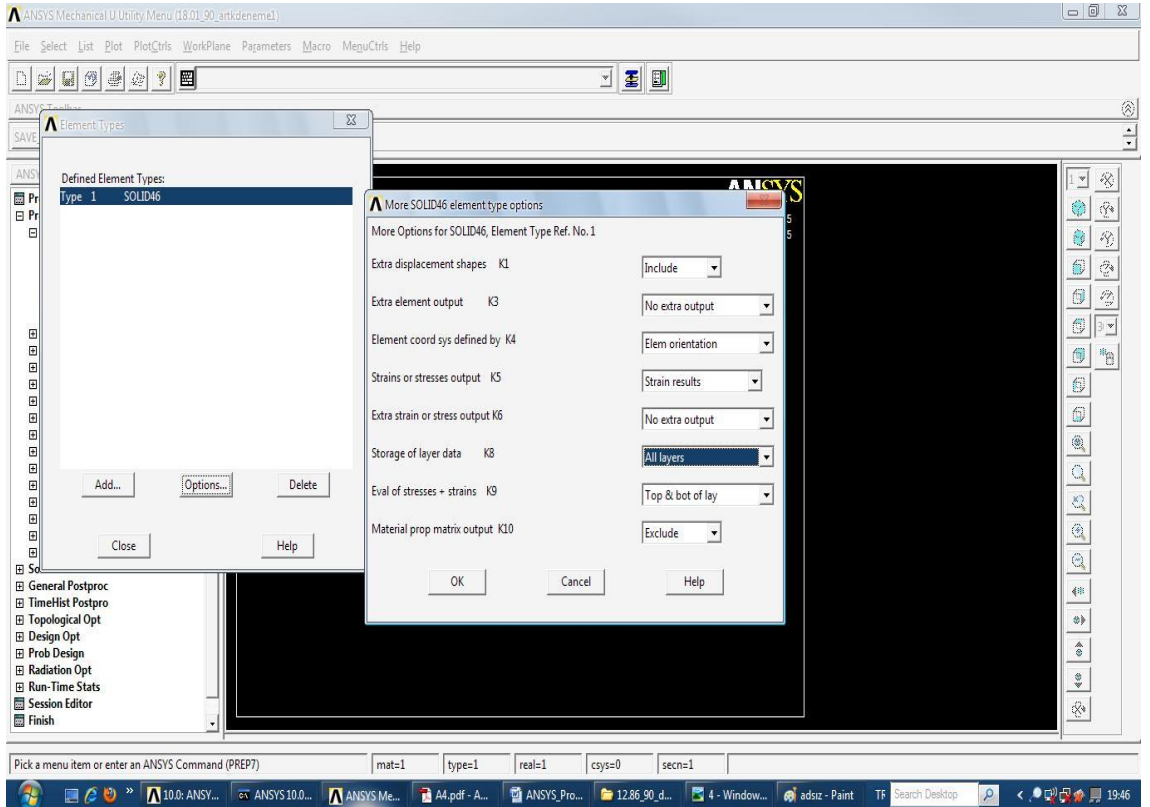
Şekil 3.10.1.1: Analiz tipinin seçilmesi



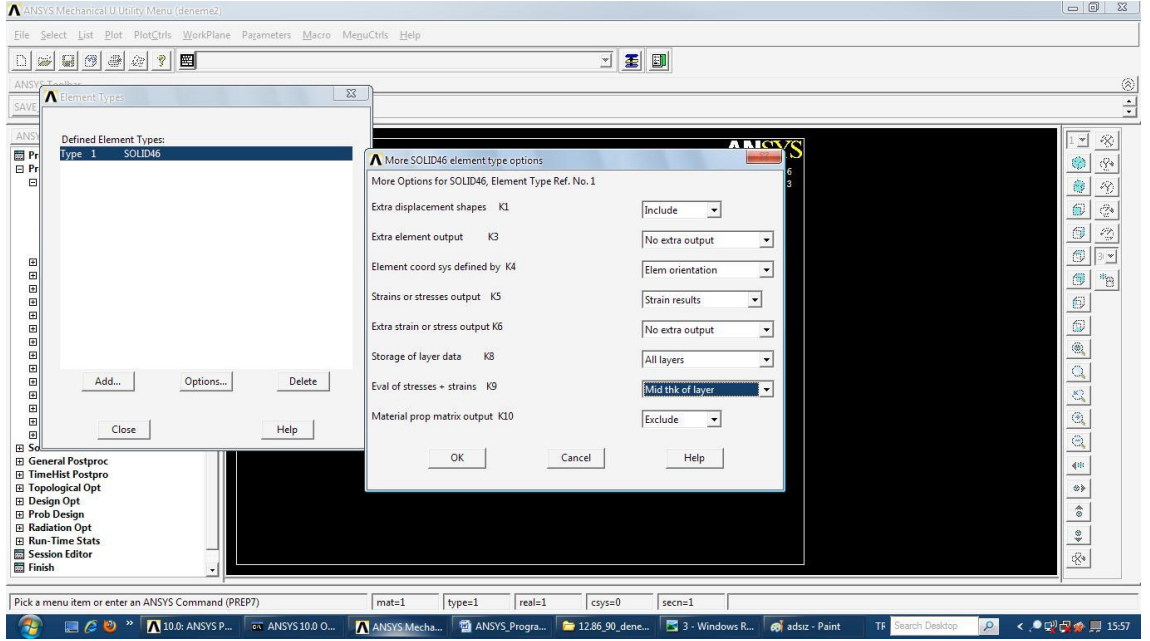
Şekil 3.10.1.2: Eleman tipinin seçilmesi



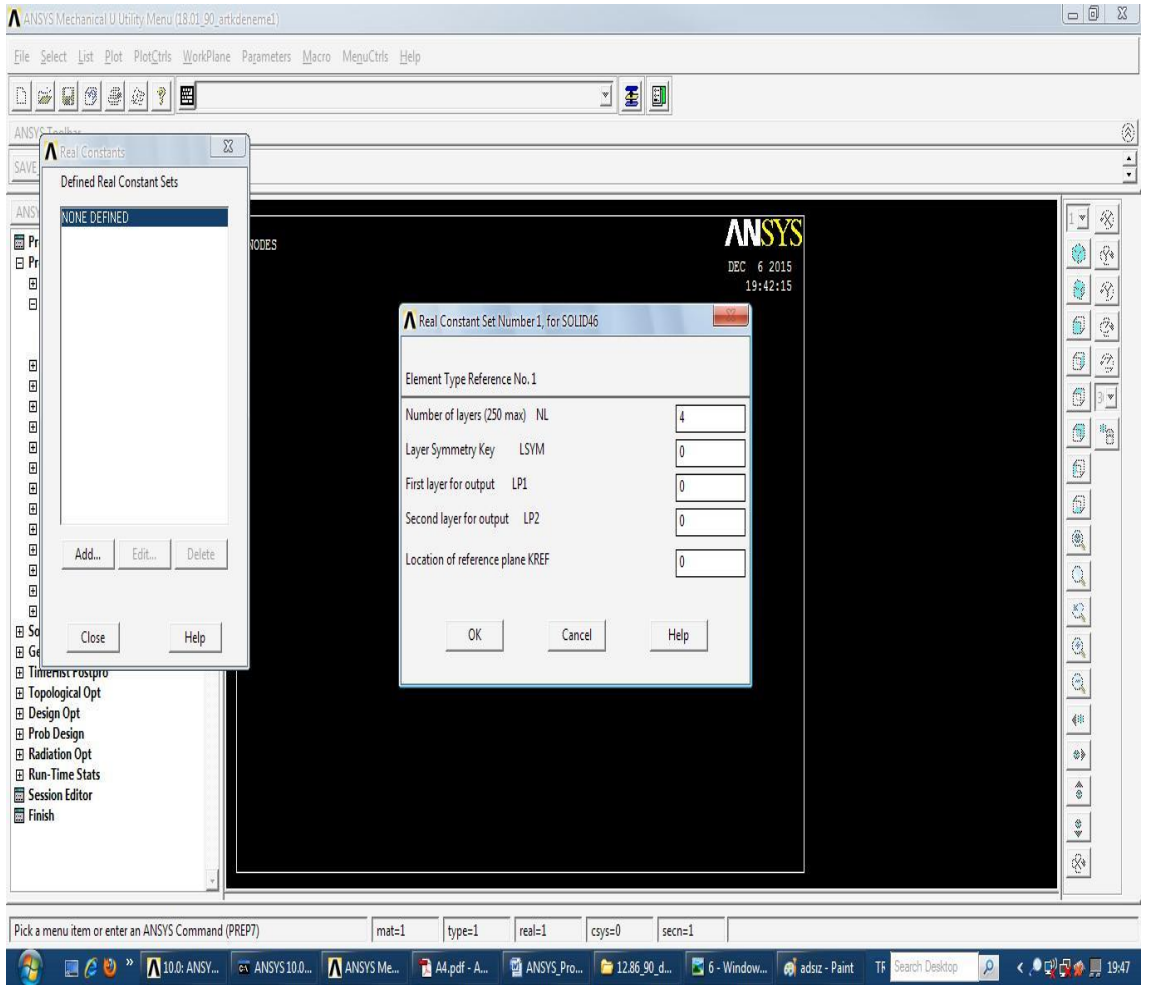
Şekil 3.10.1.3: Sabit tabaka kalınlığının seçilmesi



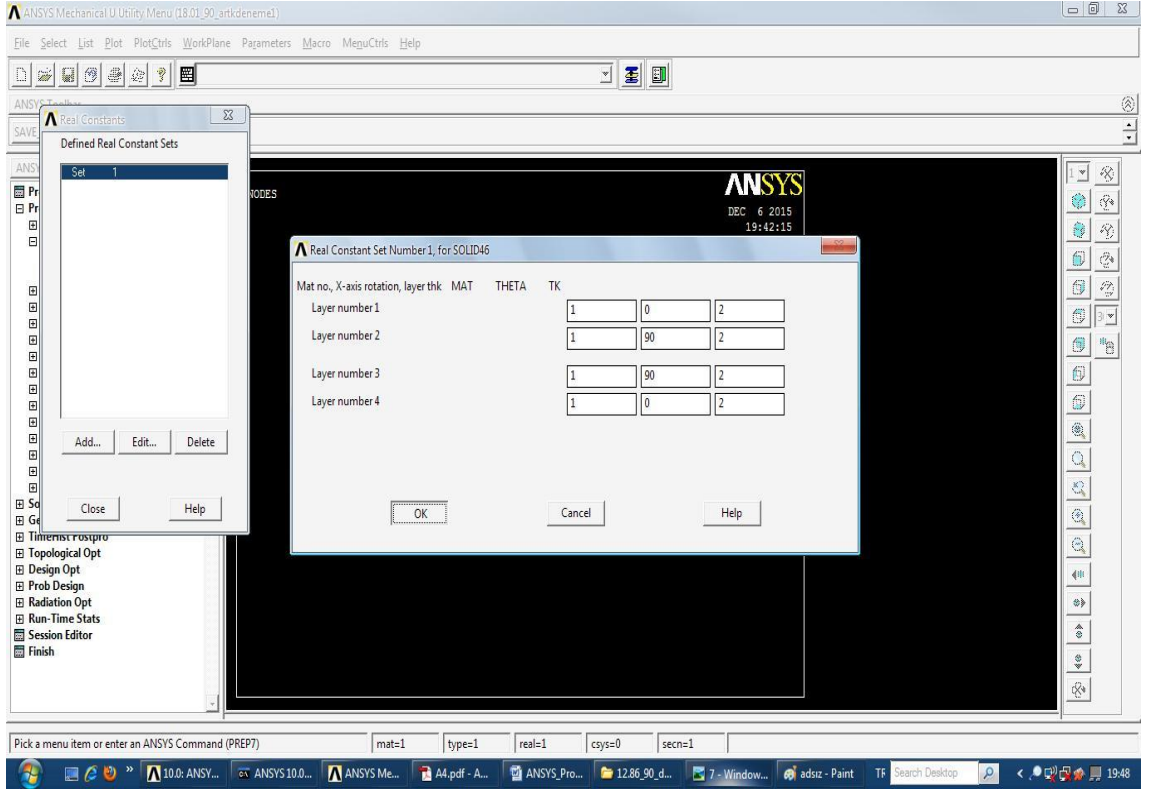
Şekil 3.10.1.4: Tüm tabakalardaki gerilme değerlerinin veri olarak kaydedilmesi



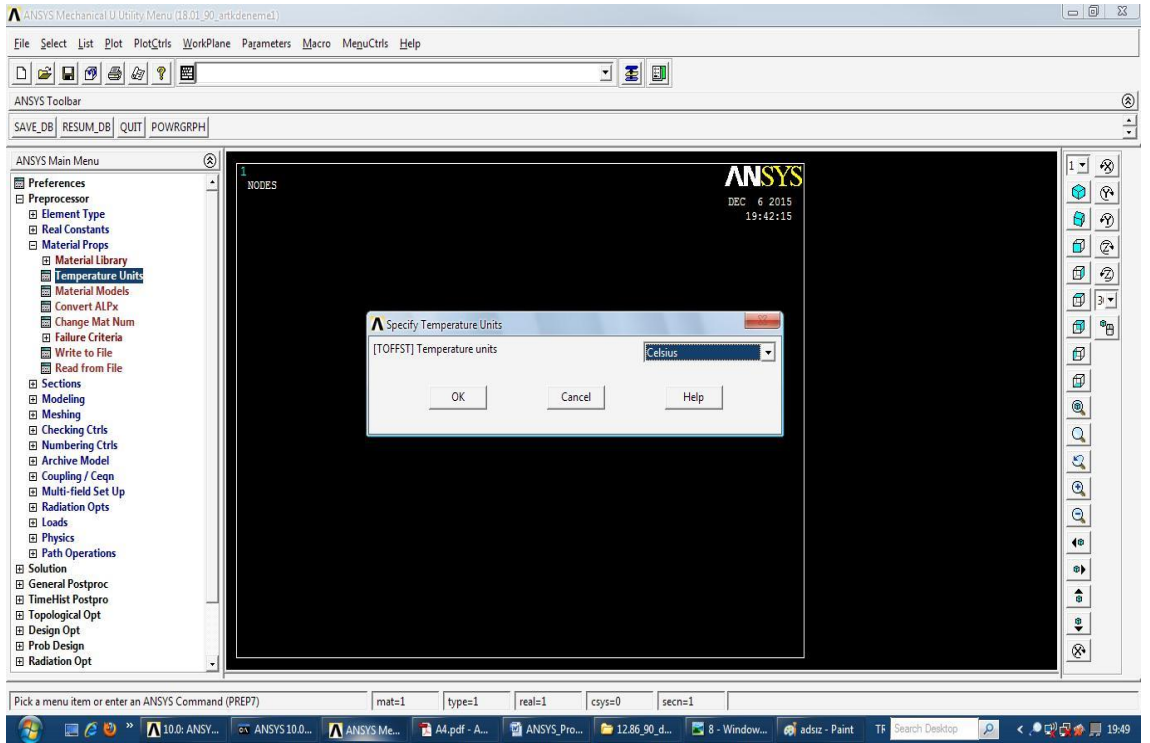
Şekil 3.10.1.5: Tabakanın ortasındaki gerilmenin hesaplanması



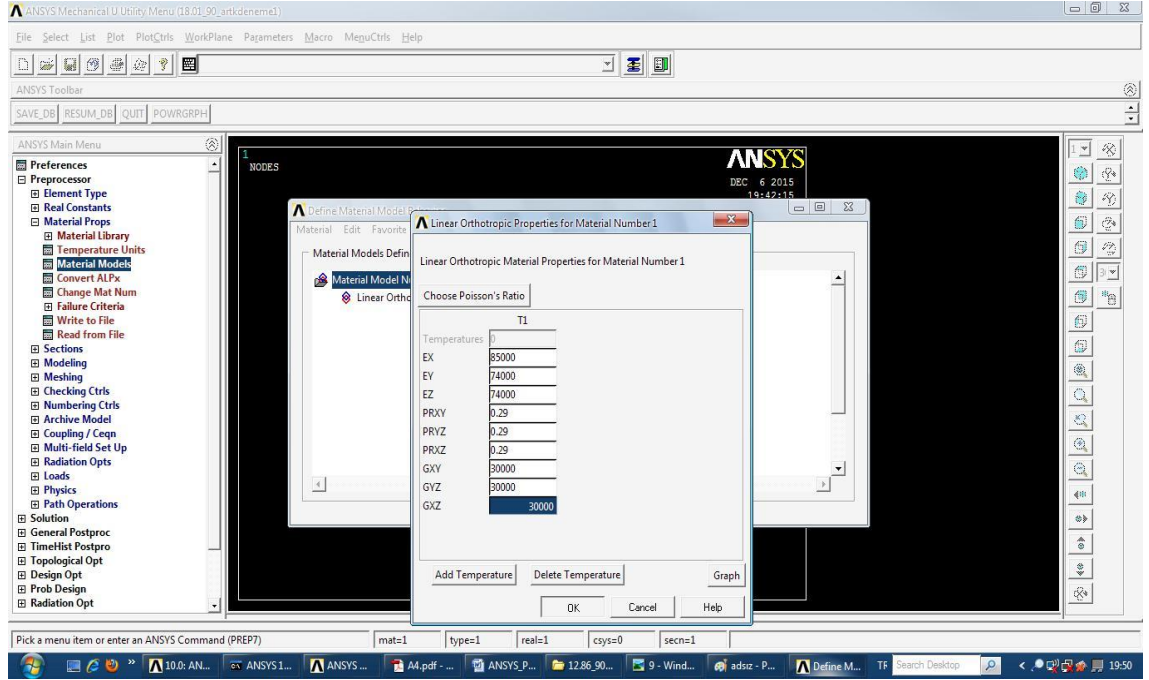
Şekil 3.10.1.6: Tabaka sayısının girilmesi



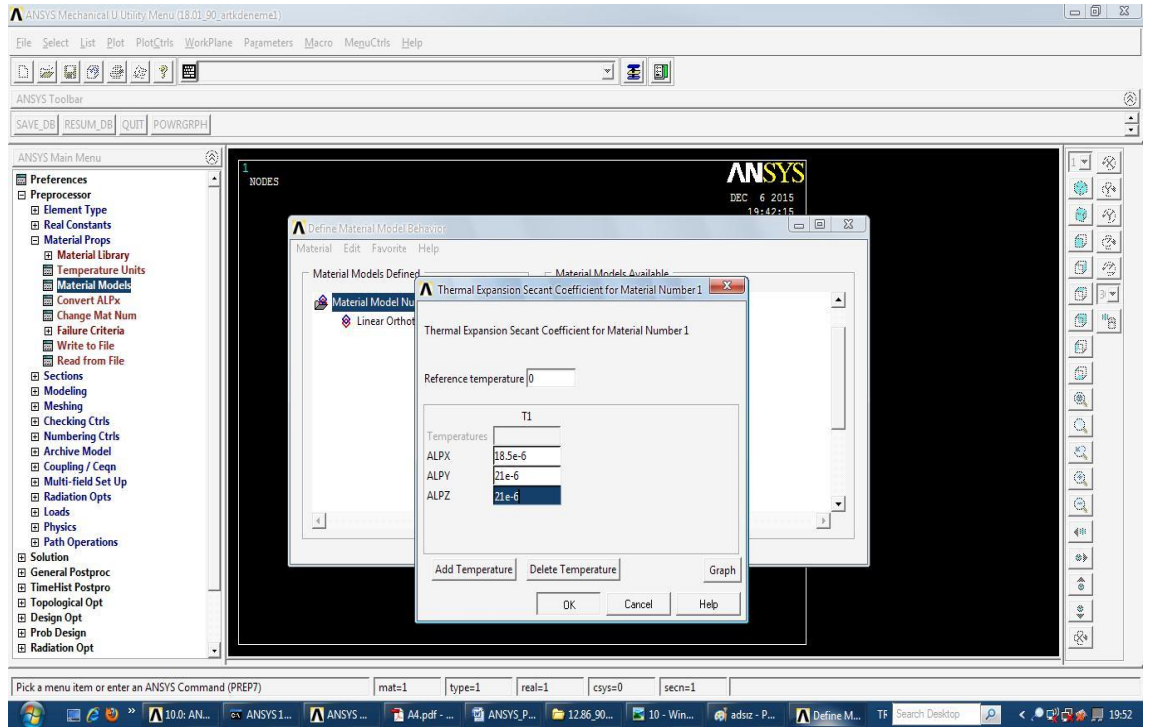
Şekil 3.10.1.7: Oryantasyon açılarının ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesi



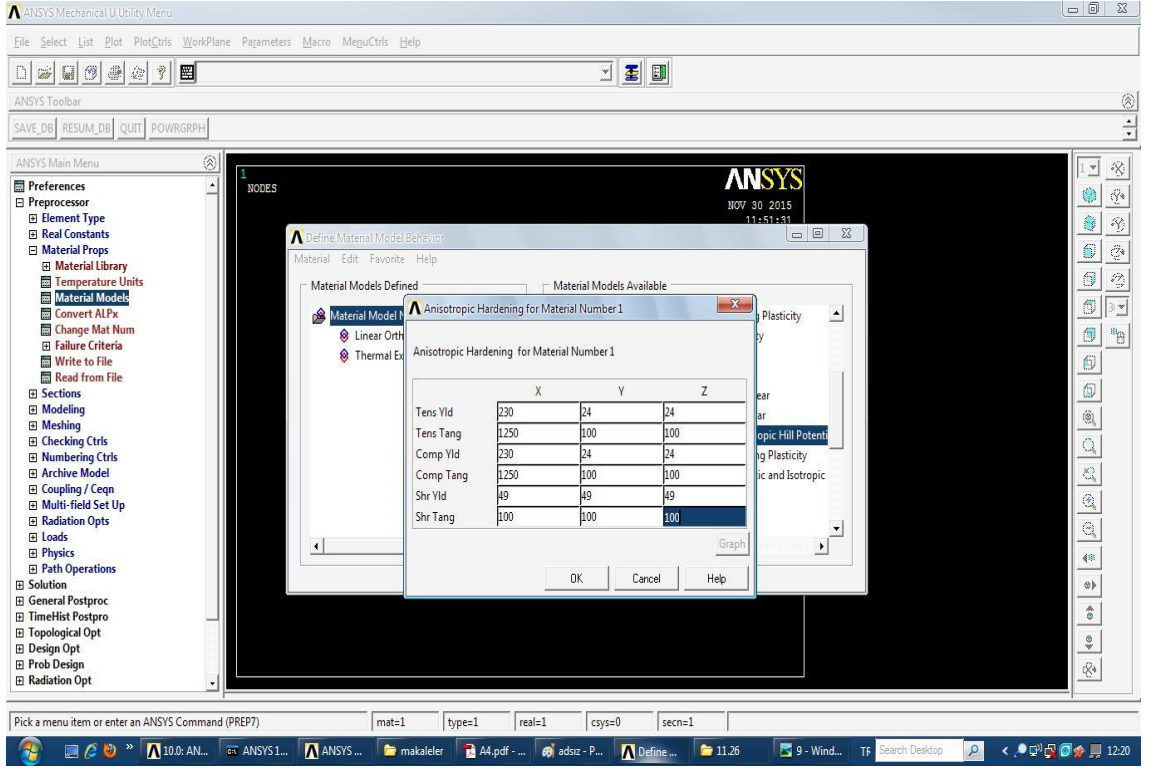
Şekil 3.10.1.8: Sıcaklık biriminin Celcius olarak belirlenmesi



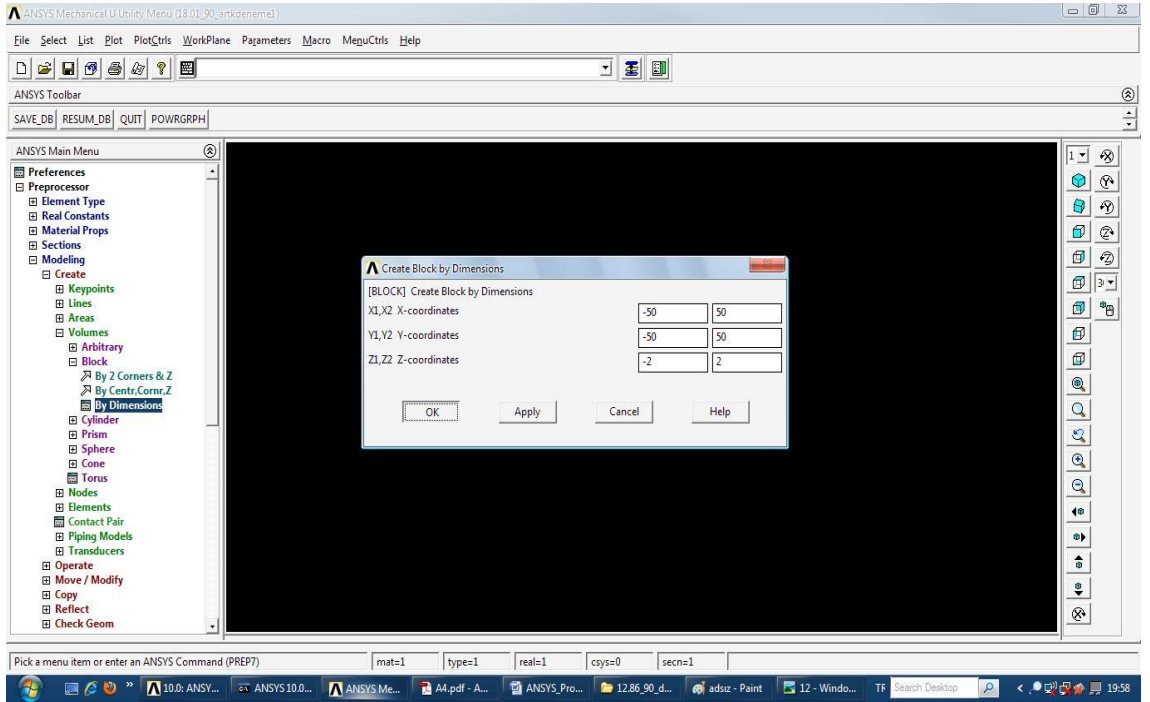
Şekil 3.10.1.9: Malzemeye ait mekanik özelliklerin girilmesi



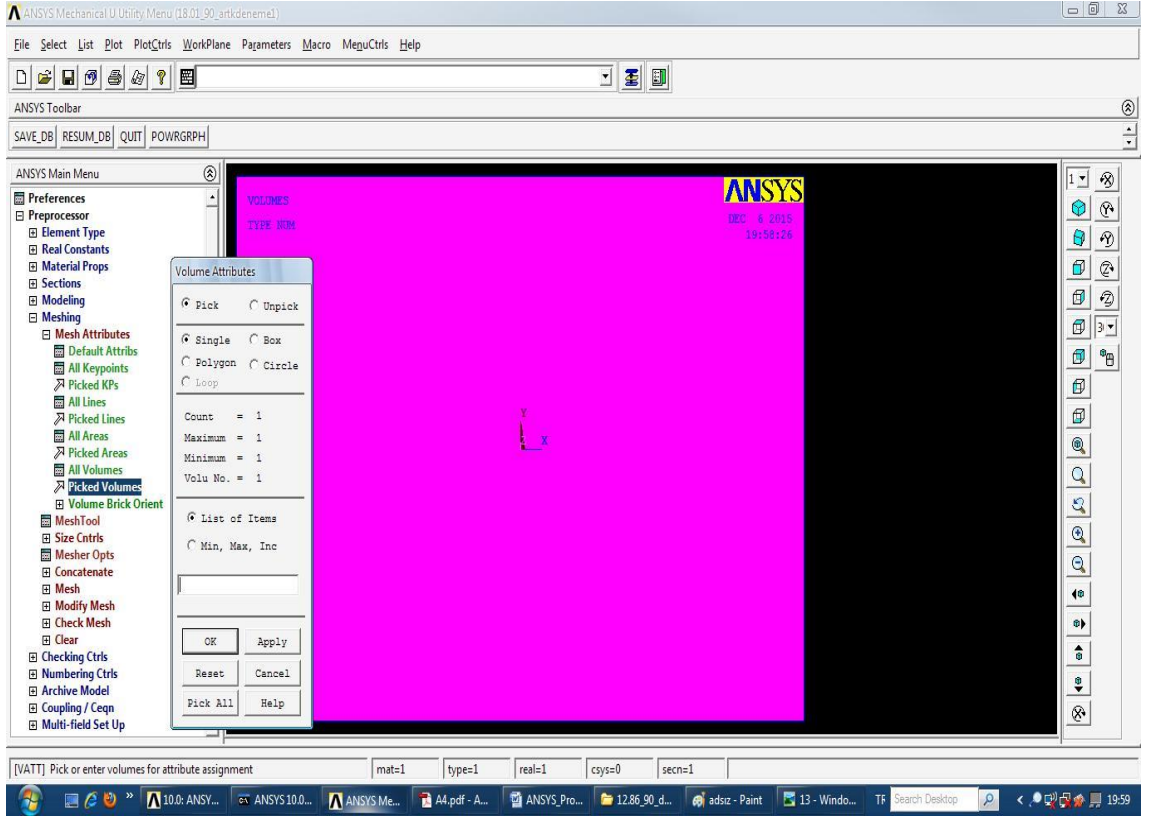
Şekil 3.10.1.10: Termal genişleme katsayılarının girilmesi



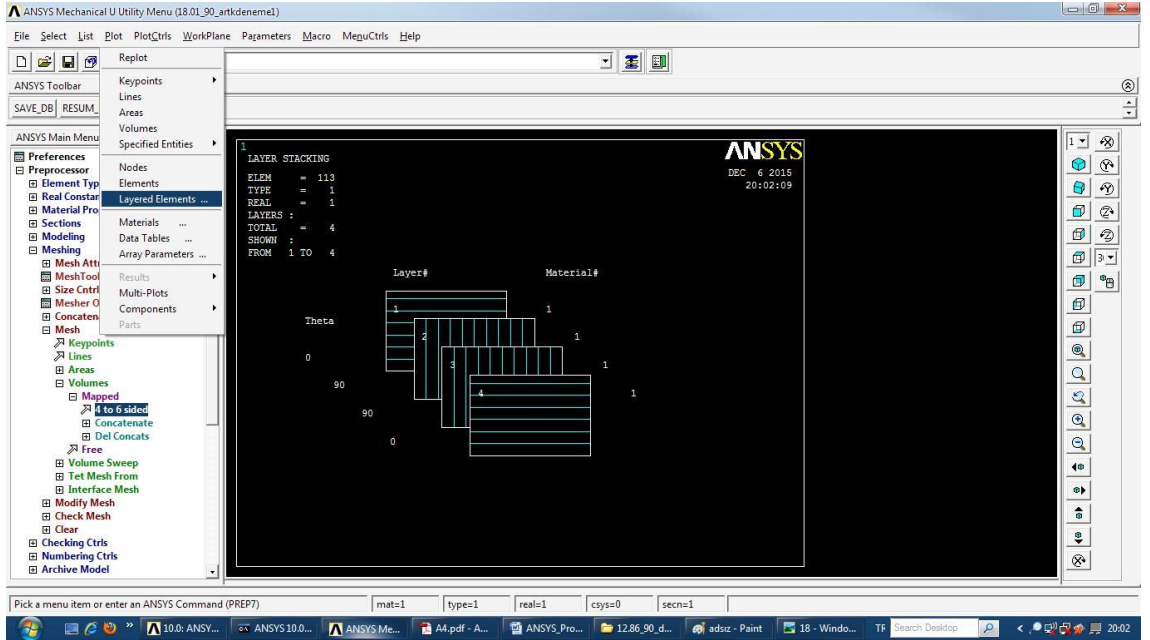
Şekil 3.10.1.11: Malzemeye ait diğer özelliklerin girilmesi



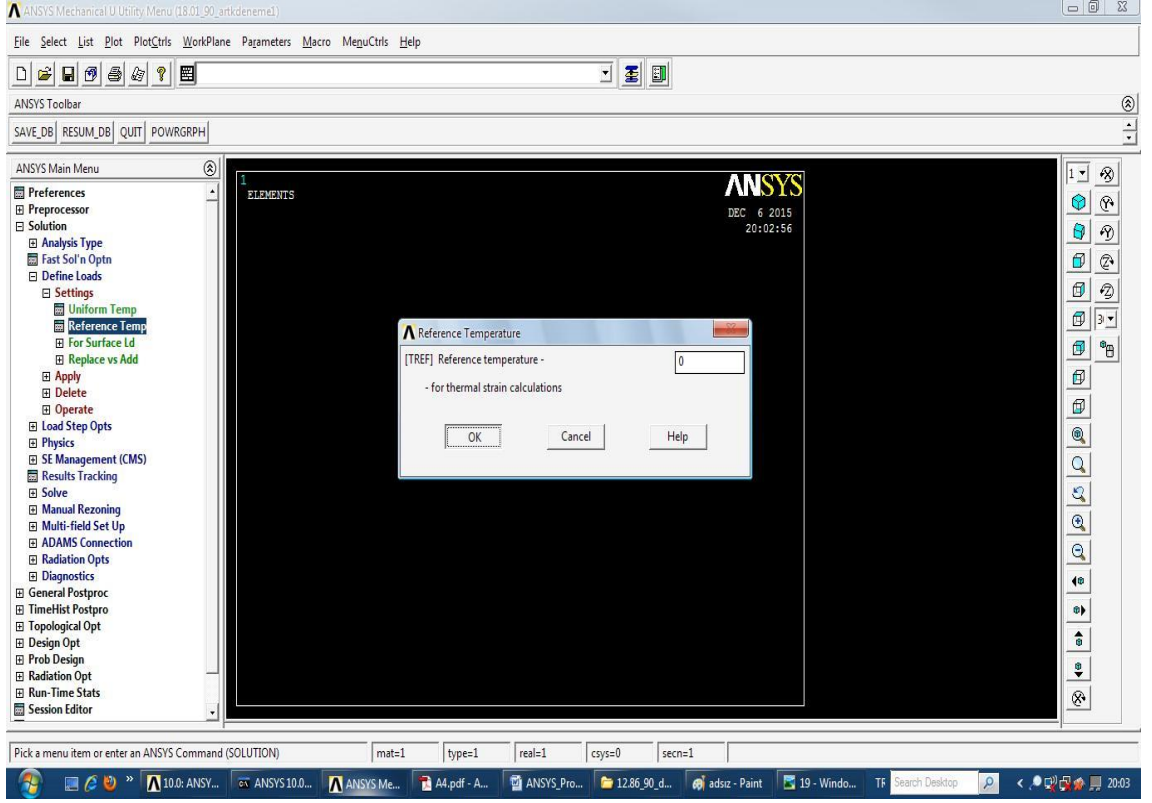
Şekil 3.10.1.12: Dikdörtgen kompozit plaka alanın oluşturulması



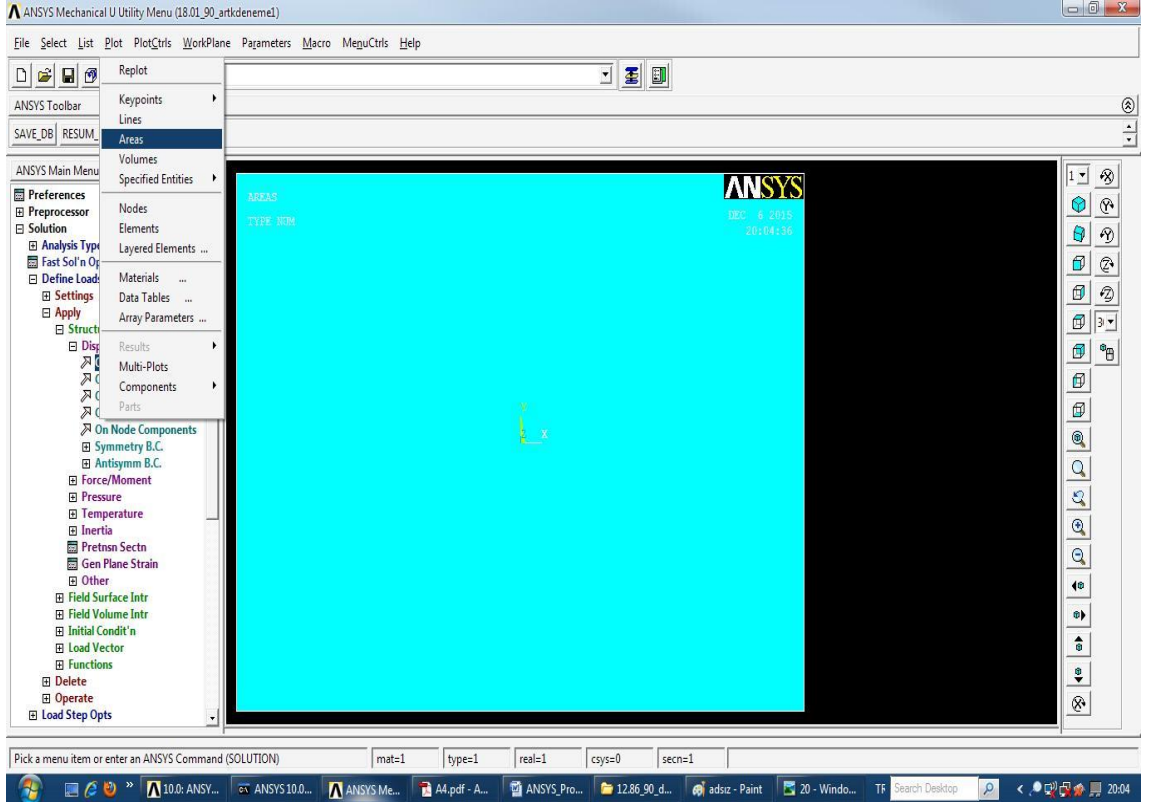
Şekil 3.10.1.13: Mesh işleminin uygulanması



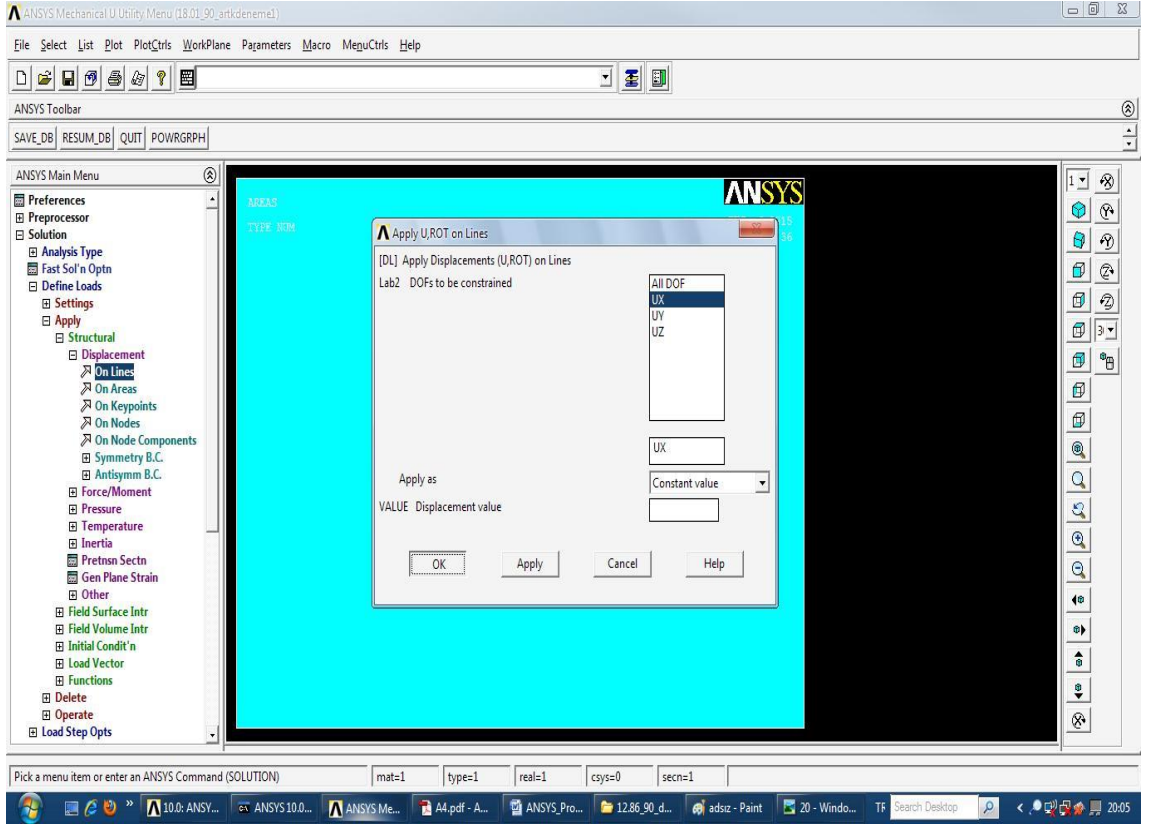
Şekil 3.10.1.14: Tabakaların oryantasyon açılarının görsel kontrolü



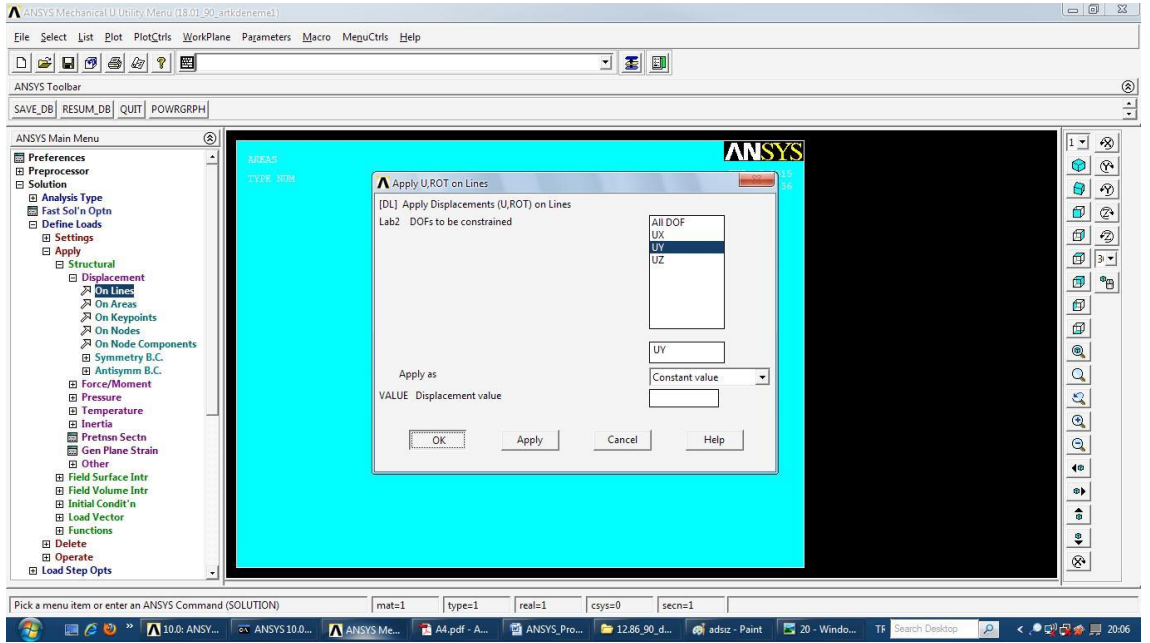
Şekil 3.10.1.15: Referans sıcaklığının girilmesi



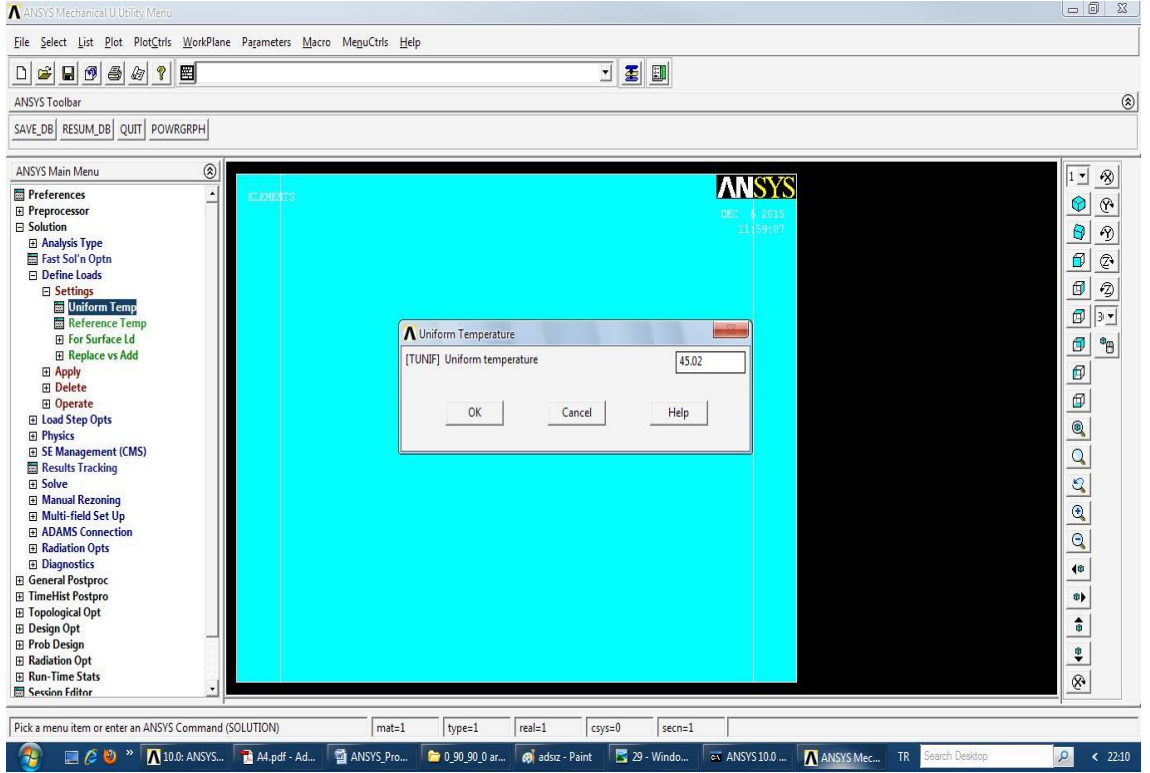
Şekil 3.10.1.16: Kompozit plaka yüzey görüntüsüne geri dönülmesi



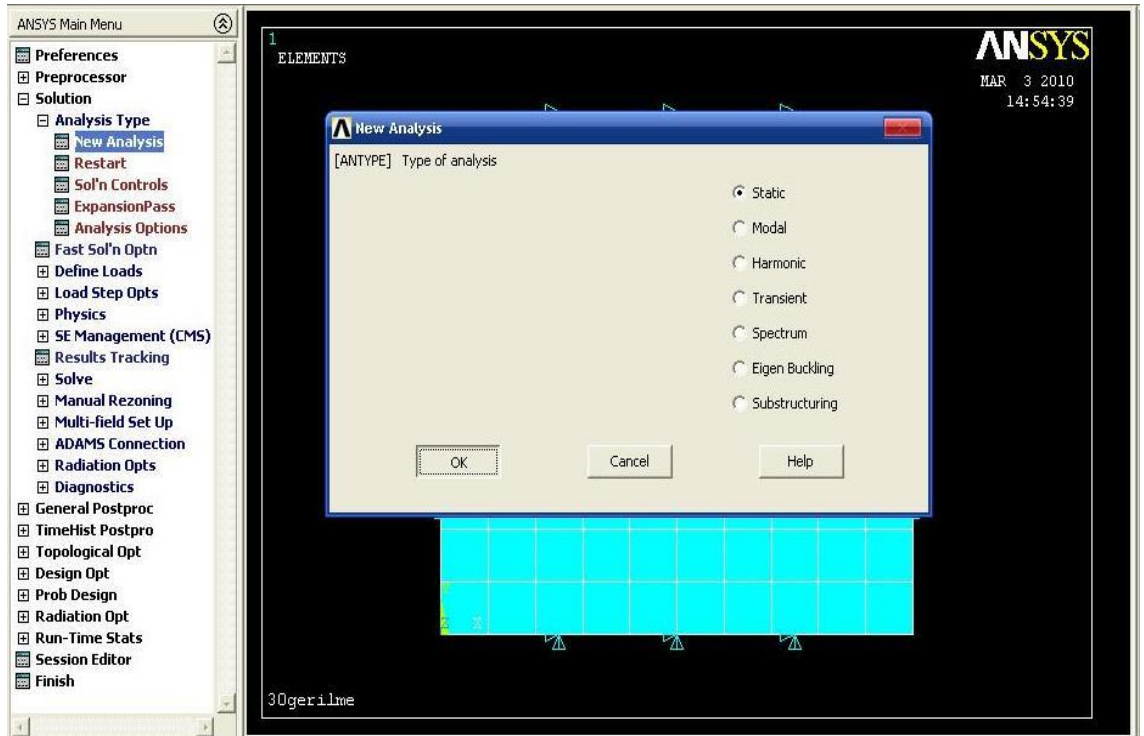
Şekil 3.10.17: X eksenindeki sınır şartların belirlenmesi



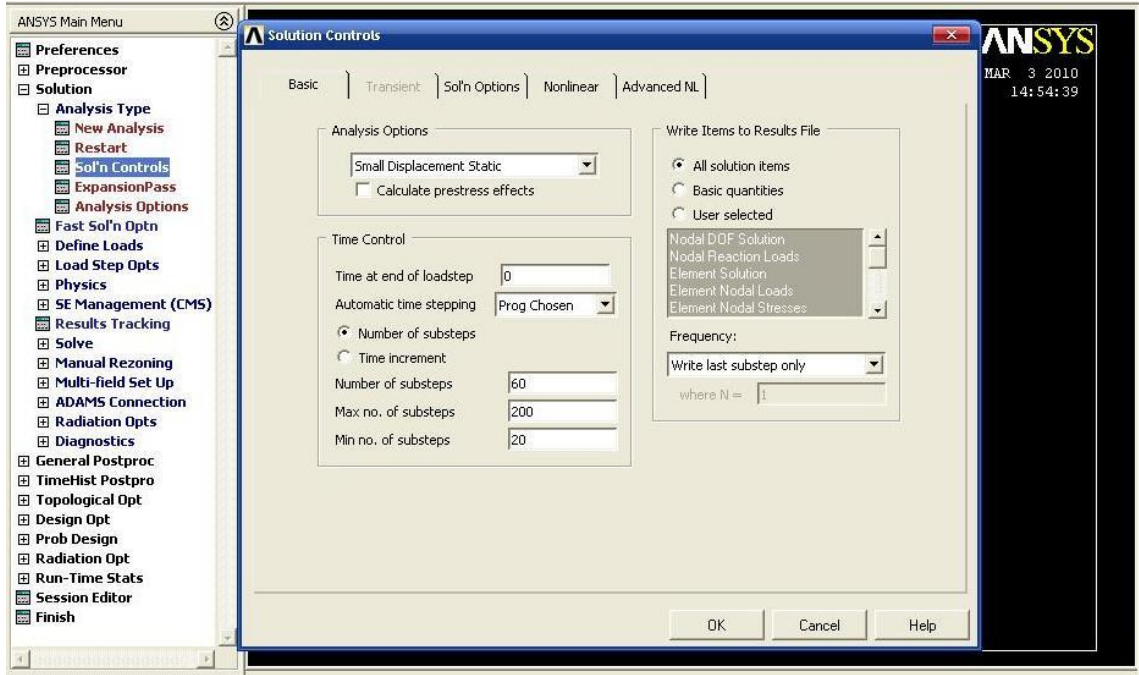
Şekil 3.10.18: Y eksenindeki sınır şartların belirlenmesi



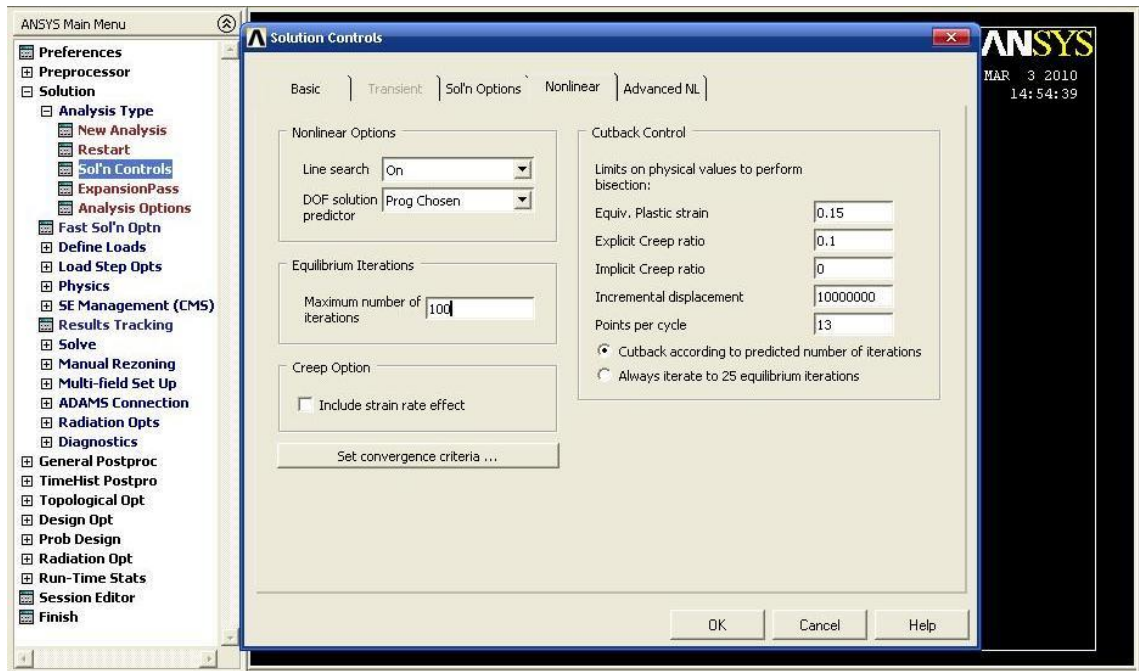
Şekil 3.10.1.19: Kompozit plakaya uygulanacak sıcaklık değerinin girilmesi



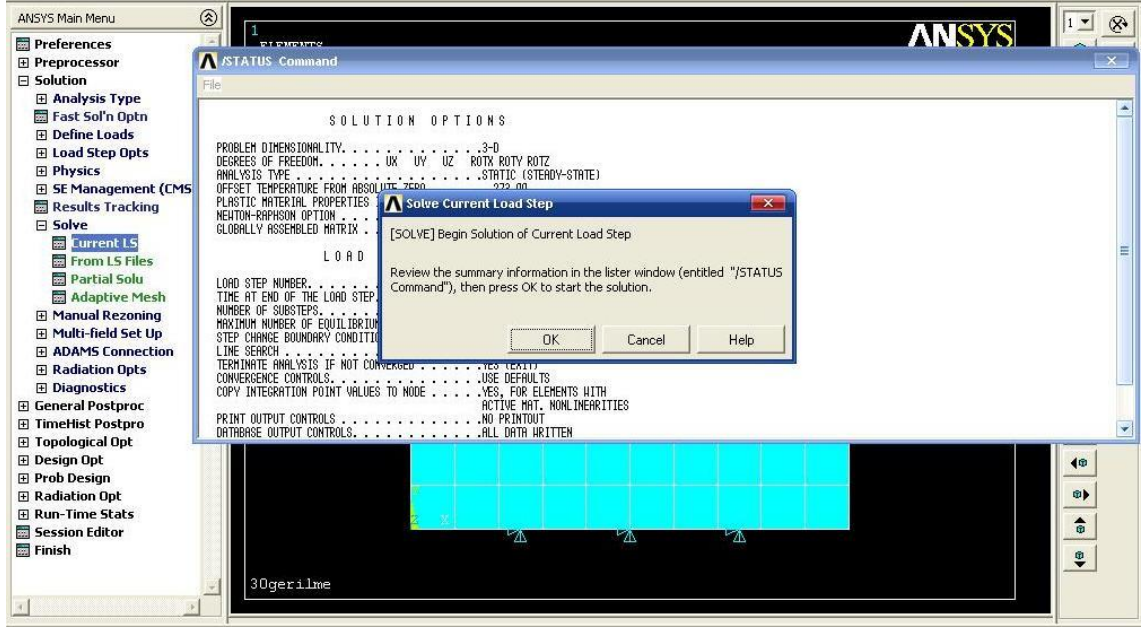
Şekil 3.10.1.20: Analiz tipinin seçilmesi



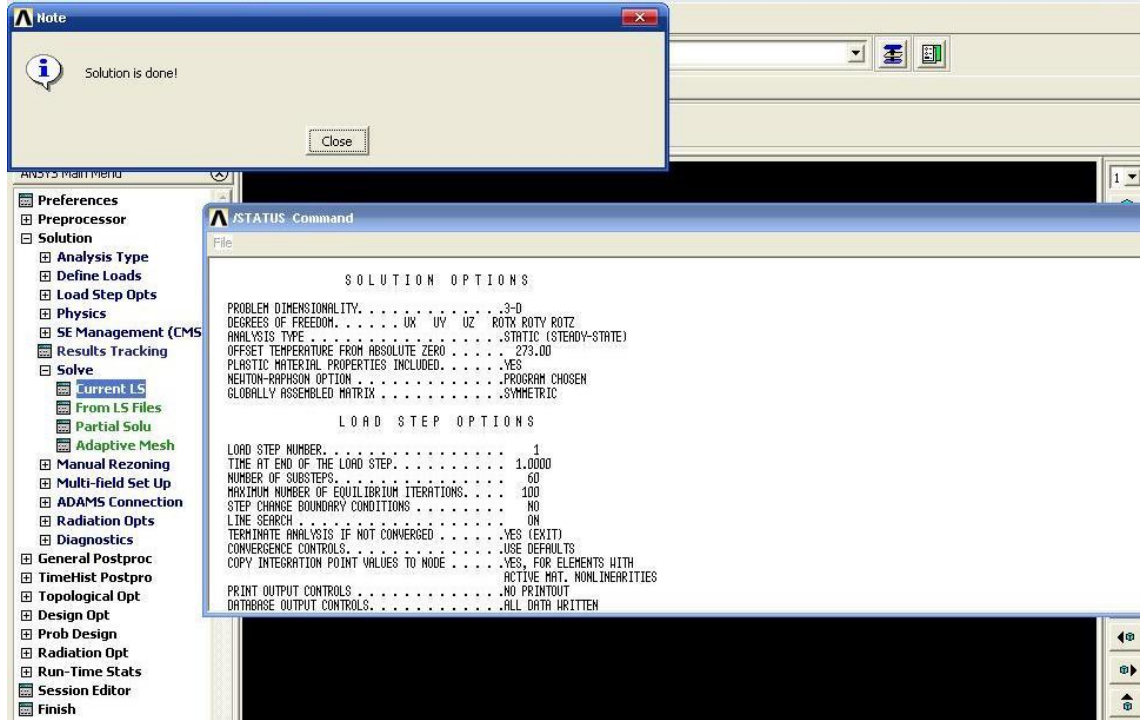
Şekil 3.10.1.21: Adım sayılarının belirlenmesi



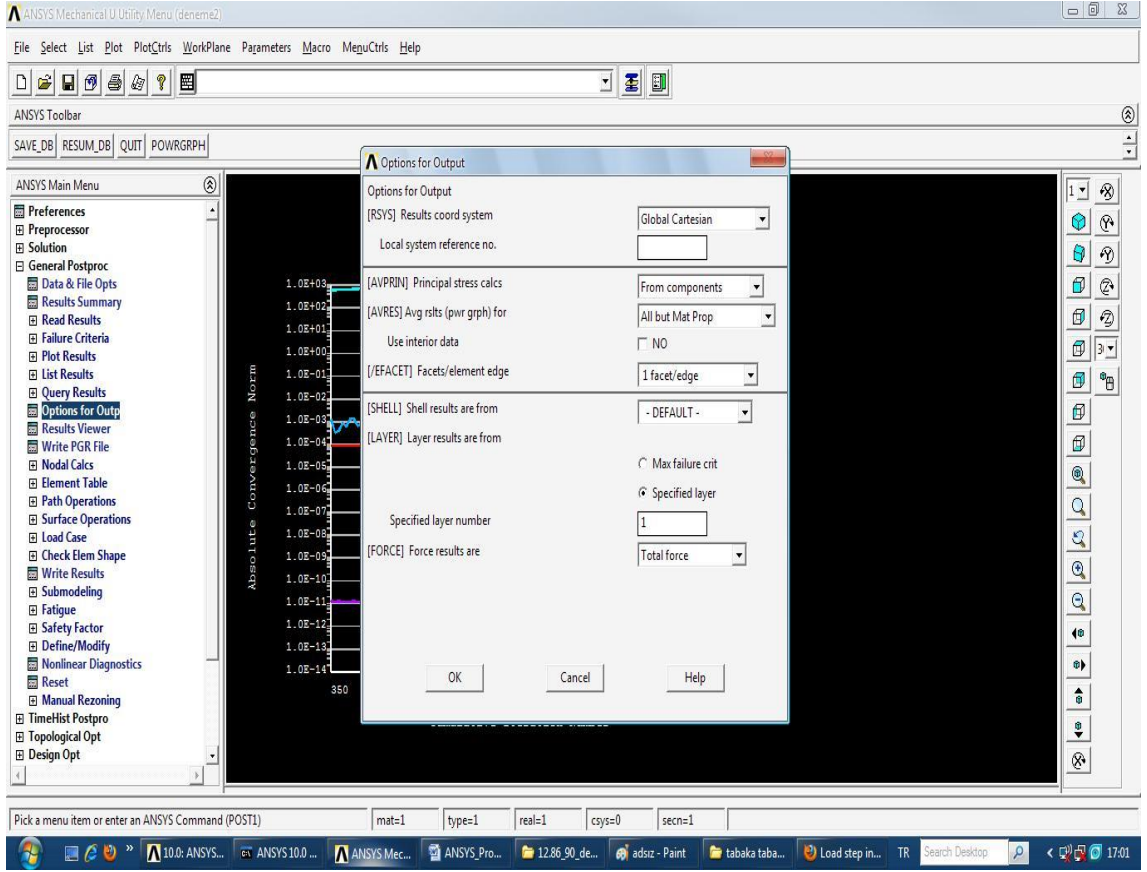
Şekil 3.10.1.22: İterasyon sayısının belirlenmesi



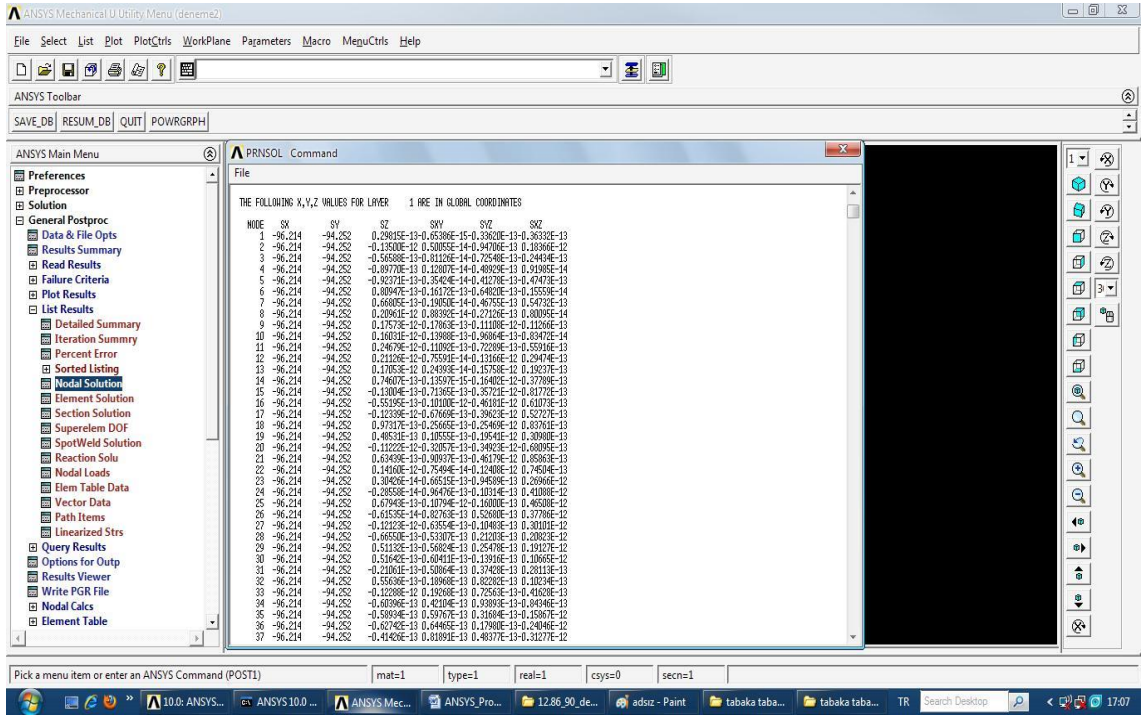
Şekil 3.10.1.23: Çözümlemenin yapılması



Şekil 3.10.1.24: Çözümün hatasız olarak sonuçlanması



Şekil 3.10.1.25: $[0/90]_s$ dizimli plakanın birinci tabakada plastik gerilmelerin seçimi



Şekil 3.10.1.26: $[0/90]_s$ dizimli plakanın 45.02°C 'de plastik gerilmelerin sonuçları

3.10.2. $[0/90]_s$ Dizilimli Plakanın $22.51\text{ }^\circ\text{C}$ 'de $Z = 2\text{ mm}$ 'de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.10.1'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.10.3. $[0/90]_s$ Dizilimli Plakanın $15.01\text{ }^\circ\text{C}$ 'de $Z = 3\text{ mm}$ 'de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.10.2'de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.11. 30°/ -30°/ -30°/ 30° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmeleri

3.11.1. [30/-30]_s Dizilimli Plakanın 90.05 °C’de Z = 0,5 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.10.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.11.2. [30/-30]_s Dizilimli Plakanın 45.05 °C’de Z = 1 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.11.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.11.3. [30/-30]_s Dizilimli Plakanın 22.51 °C’de Z = 2 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.11.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.11.4. [30/-30]_s Dizilimli Plakanın 15.01 °C’de Z = 3 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.11.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.12. 45°/ -45°/ -45°/ 45° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmeleri

3.12.1. [45/-45]_s Dizilimli Plakanın 90.05 °C’de Z = 0,5 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.11.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.12.2. [45/-45]_s Dizilimli Plakanın 45.02 °C’de Z = 1 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.12.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.12.3. [45/-45]_s Dizilimli Plakanın 22.51 °C’de Z = 2 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.12.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.12.4. [45/-45]_s Dizilimli Plakanın 15.01 °C’de Z = 3 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.12.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.13. 60°/ -60°/ -60°/ 60° Oryantasyon Açısındaki Kompozitin Plastik Gerilmeleri

3.13.1. [60/-60]_s Dizilimli Plakanın 90.05 °C’de Z = 0,5 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.12.7’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.13.2. [60/-60]_s Dizilimli Plakanın 45.02 °C’de Z = 1 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.13.1’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.13.3. [60/-60]_s Dizilimli Plakanın 22.51 °C’de Z = 2 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.13.2’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

3.13.4. [60/-60]_s Dizilimli Plakanın 15.01 °C’de Z = 3 mm’de Plastik Gerilmesi

Bir önceki 3.13.3’de anlatılan adımlar takip edilerek tekrarlanarak hesaplanır.

4. TABAKALI KOMPOZİTLERİN ANALİTİK VE NÜMERİK DEĞERLERİ

Tablo 4.1 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen elastik gerilme değerleri

KOMPOZİT PLAKA ORYANTASYONU	T (°C)	σ_{x_e} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{x_e} (MPa) (NÜMERİK)	σ_{y_e} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{y_e} (MPa) (NÜMERİK)
[0/90] _s	11.26	-24.90	-26.710	-23.99	-24.317
[30/-30] _s	11.26	-24.67	-24.361	-24.22	-23.923
[45/-45] _s	11.26	-24.45	-24.142	-24.45	-24.142
[60/-60] _s	11.26	-24.22	-23.923	-24.67	-24.361
[0/90] _s	12.86	-27.40	-25.671	-23.99	-24.227
[0/90] _s	15.01	-30.74	-30.615	-23.99	-24.373
[0/90] _s	18.01	-35.39	-35.282	-23.97	-24.422
[0/90] _s	22.51	-42.33	-42.248	-23.93	-24.476
[0/90] _s	30.02	-53.81	-53.784	-23.81	-24.523
[0/90] _s	45.02	-76.44	-76.478	-23.39	-24.445
[0/90] _s	90.05	-141.35	-141.41	-20.71	-22.788
[30/-30] _s	12.86	-26.55	-26.522	-24.85	-25.053
[30/-30] _s	15.01	-29.05	-29.055	-25.67	-25.933
[30/-30] _s	18.01	-32.53	-32.567	-26.82	-27.137
[30/-30] _s	22.51	-37.73	-37.805	-28.53	-28.919
[30/-30] _s	30.02	-46.31	-46.468	-31.31	-31.838
[30/-30] _s	45.02	-63.18	-63.470	-36.65	-37.453
[30/-30] _s	90.05	-111.19	-111.75	-50.87	-52.443
[45/-45] _s	12.86	-25.70	-25.788	-25.70	-25.788
[45/-45] _s	15.01	-27.36	-27.494	-27.36	-27.494
[45/-45] _s	18.01	-29.68	-29.852	-29.68	-29.852
[45/-45] _s	22.51	-33.13	-33.362	-33.13	-33.362
[45/-45] _s	30.02	-38.81	-39.153	-38.81	-39.153
[45/-45] _s	45.02	-49.91	-50.461	-49.91	-50.461
[45/-45] _s	90.05	-81.03	-82.079	-81.03	-82.079
[60/-60] _s	12.86	-24.85	-25.053	-26.55	-26.522
[60/-60] _s	15.01	-25.67	-25.933	-29.05	-29.055
[60/-60] _s	18.01	-26.82	-27.137	-32.53	-32.567
[60/-60] _s	22.51	-28.53	-28.919	-37.73	-37.805
[60/-60] _s	30.02	-31.31	-31.838	-46.31	-46.468
[60/-60] _s	45.02	-36.65	-37.453	-63.18	-63.470
[60/-60] _s	90.05	-50.87	-52.443	-111.19	-111.75

Tablo 4.2 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen plastik gerilme değerleri

KOMPOZİT PLAKA ORYANTASYONU	T (°C)	σ_{x_p} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{x_p} (MPa) (NÜMERİK)	σ_{y_p} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{y_p} (MPa) (NÜMERİK)
[0/90] _s	11.26	-27,4	-25,671	-23,99	-24,227
[0/90] _s	11.26	-30,74	-30,615	-23,99	-24,373
[0/90] _s	11.26	-35,39	-35,282	-23,97	-24,422
[0/90] _s	11.26	-42,33	-42,248	-23,93	-24,476
[0/90] _s	12.86	-53,81	-53,784	-23,81	-24,523
[0/90] _s	15.01	-76,44	-76,478	-23,39	-24,445
[0/90] _s	18.01	-141,35	-141,41	-20,71	-22,788
[30/-30] _s	22.51	-26,55	-26,522	-24,85	-25,053
[30/-30] _s	30.02	-29,05	-29,055	-25,67	-25,933
[30/-30] _s	45.02	-32,53	-32,567	-26,82	-27,137
[30/-30] _s	90.05	-37,73	-37,805	-28,53	-28,919
[30/-30] _s	12.86	-46,31	-46,468	-31,31	-31,838
[30/-30] _s	15.01	-63,18	-63,47	-36,65	-37,453
[30/-30] _s	18.01	-111,19	-111,75	-50,87	-52,443
[45/-45] _s	22.51	-25,7	-25,788	-25,7	-25,788
[45/-45] _s	30.02	-27,36	-27,494	-27,36	-27,494
[45/-45] _s	45.02	-29,68	-29,852	-29,68	-29,852
[45/-45] _s	90.05	-33,13	-33,362	-33,13	-33,362
[45/-45] _s	12.86	-38,81	-39,153	-38,81	-39,153
[45/-45] _s	15.01	-49,91	-50,461	-49,91	-50,461
[45/-45] _s	18.01	-81,03	-82,079	-81,03	-82,079
[60/-60] _s	22.51	-24,85	-25,053	-26,55	-26,522
[60/-60] _s	30.02	-25,67	-25,933	-29,05	-29,055
[60/-60] _s	45.02	-26,82	-27,137	-32,53	-32,567
[60/-60] _s	90.05	-28,53	-28,919	-37,73	-37,805
[60/-60] _s	12.86	-31,31	-31,838	-46,31	-46,468
[60/-60] _s	15.01	-36,65	-37,453	-63,18	-63,47
[60/-60] _s	18.01	-50,87	-52,443	-111,19	-111,75

Tablo 4.3 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen artık gerilme değerleri

KOMPOZİT PLAKA ORYANTASYONU	T (°C)	σ_{x_r} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{x_r} (MPa) (NÜMERİK)	σ_{y_r} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{y_r} (MPa) (NÜMERİK)
[0/90] _s	12.86	0,91	1,0568	2,97	3,5522
[0/90] _s	15.01	1,82	3,3193	5,95	7,1684
[0/90] _s	18.01	2,74	4,2196	8,96	10,1155
[0/90] _s	22.51	3,67	4,2908	12,01	12,5203
[0/90] _s	30.02	3,90	5,4680	15,90	16,8506
[0/90] _s	45.02	4,49	5,4367	22,85	23,9012
[0/90] _s	90.05	10,52	11,2451	42,31	41,7120
[30/-30] _s	12.86	1,42	1,8936	2,45	3,3633
[30/-30] _s	15.01	2,85	3,4445	4,90	5,1187
[30/-30] _s	18.01	4,29	5,2174	7,37	9,0953
[30/-30] _s	22.51	5,76	6,1457	9,85	10,7032
[30/-30] _s	30.02	7,28	8,4339	12,37	13,1443
[30/-30] _s	45.02	9,01	10,2300	15,05	15,6057
[30/-30] _s	90.05	12,34	13,1321	18,84	20,1346
[45/-45] _s	12.86	1,94	3,1299	1,94	3,1299
[45/-45] _s	15.01	3,88	4,8582	3,88	4,8582
[45/-45] _s	18.01	5,83	5,9679	5,83	5,9679
[45/-45] _s	22.51	7,80	9,0569	7,80	9,0569
[45/-45] _s	30.02	9,83	10,8001	9,83	10,8001
[45/-45] _s	45.02	12,03	13,0325	12,03	13,0325
[45/-45] _s	90.05	15,59	16,7709	15,59	16,7709
[60/-60] _s	12.86	1,42	2,7579	-0,75	-0,1371
[60/-60] _s	15.01	2,85	3,3145	-1,14	-0,1214
[60/-60] _s	18.01	4,29	5,7560	-0,97	-0,2746
[60/-60] _s	22.51	5,76	6,5445	0,19	-6,1574
[60/-60] _s	30.02	7,28	8,0204	1,99	3,3038
[60/-60] _s	45.02	9,01	10,0535	3,80	4,7050
[60/-60] _s	90.05	12,34	13,4287	5,64	5,7933

Tablo 4.4 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen elastik gerilme değerleri

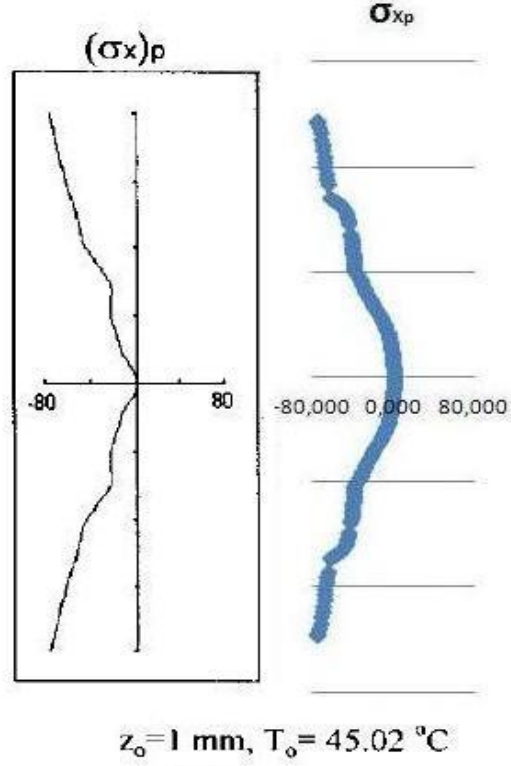
KOMPOZİT PLAKA ORYANTASYONU	T (°C)	σ_{x_e} (MPa) (NÜMERİK)	σ_{y_e} (MPa) (NÜMERİK)
[0/90] _s	27,05	-14,5880	-4,6158
[30/-30] _s	27,05	-12,8970	-6,9474
[45/-45] _s	27,05	-9,0687	-9,0687
[60/-60] _s	27,05	-6,9474	-12,8970
[0/90] _s	30,25	-16,6400	-4,1648
[0/90] _s	35,05	-17,9200	-4,4852
[0/90] _s	40,25	-18,2610	-4,5706
[0/90] _s	45,05	-18,7730	-4,6988
[0/90] _s	50,25	-19,2000	-4,8056
[30/-30] _s	32,25	-12,1260	-7,0781
[30/-30] _s	37,05	-12,3690	-7,2354
[30/-30] _s	42,25	-12,7320	-7,4321
[30/-30] _s	47,05	-13,0690	-7,6287
[45/-45] _s	32,25	-9,6022	-9,6022
[45/-45] _s	37,05	-9,8155	-9,8155
[45/-45] _s	42,25	-10,1360	-10,1360
[45/-45] _s	47,05	-10,3490	-10,3490
[60/-60] _s	32,25	-6,8727	-12,7580
[60/-60] _s	37,05	-7,2462	-13,4520
[60/-60] _s	42,25	-7,6197	-14,1450
[60/-60] _s	47,05	-7,9933	-14,8390

Tablo 4.5 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen plastik gerilme değerleri

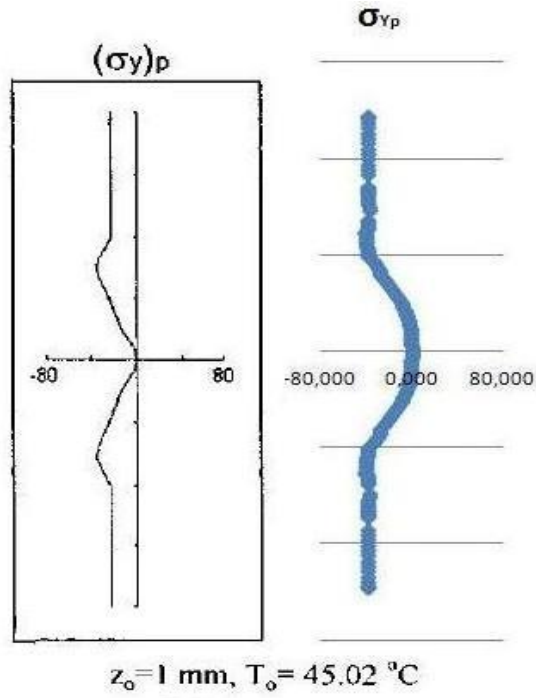
KOMPOZİT PLAKA ORYANTASYONU	T (°C)	σ_{X_p} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{x_p} (MPa) (NÜMERİK)	σ_{y_p} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{y_p} (MPa) (NÜMERİK)
[0/90] _s	27,05	-14,54	-14,5880	-4,73	-4,6158
[30/-30] _s	27,05	-12,09	-12,8970	-7,19	-6,9474
[45/-45] _s	27,05	-9,64	-9,0687	-9,64	-9,0687
[60/-60] _s	27,05	-7,19	-6,9474	-12,09	-12,8970
[0/90] _s	30,25	-15,33	-16,2130	-4,69	-4,0580
[0/90] _s	35,05	-16,60	-17,0670	-4,62	-4,2716
[0/90] _s	40,25	-17,44	-17,4930	-4,57	-4,3784
[0/90] _s	45,05	-18,19	-17,9200	-4,52	-4,4852
[0/90] _s	50,25	-18,84	-18,2610	-4,48	-4,5706
[30/-30] _s	32,25	-12,11	-11,8750	-7,19	-6,6645
[30/-30] _s	37,05	-12,12	-12,2140	-7,19	-6,9453
[30/-30] _s	42,25	-12,14	-12,5540	-7,20	-7,2276
[30/-30] _s	47,05	-12,15	-12,8930	-7,20	-7,5111
[45/-45] _s	32,25	-9,65	-9,5798	-9,65	-9,5798
[45/-45] _s	37,05	-9,66	-9,7662	-9,66	-9,7662
[45/-45] _s	42,25	-9,67	-10,0150	-9,67	-10,0150
[45/-45] _s	47,05	-9,69	-10,2020	-9,69	-10,2020
[60/-60] _s	32,25	-7,19	-6,7233	-12,11	-12,4810
[60/-60] _s	37,05	-7,20	-7,0968	-12,13	-13,1740
[60/-60] _s	42,25	-7,21	-7,4703	-12,15	-13,8680
[60/-60] _s	47,05	-7,21	-7,7318	-12,17	-14,3530

Tablo 4.6 Tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen artık gerilme değerleri

KOMPOZİT PLAKA ORYANTASYONU	T (°C)	σ_{x_r} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{x_r} (MPa) (NÜMERİK)	σ_{y_r} (MPa) (ANALİTİK)	σ_{y_r} (MPa) (NÜMERİK)
[0/90] _s	27,05	0,00	0,000	0,00	0,000
[30/-30] _s	27,05	0,00	0,000	0,00	0,000
[45/-45] _s	27,05	0,00	0,000	0,00	0,000
[60/-60] _s	27,05	0,00	0,000	0,00	0,000
[0/90] _s	30,25	-0,31	-0,4270	0,31	-0,1068
[0/90] _s	35,05	-0,59	-0,8530	0,59	-0,2136
[0/90] _s	40,25	-0,83	-0,7680	0,83	-0,1922
[0/90] _s	45,05	-1,05	-0,8530	1,05	-0,2136
[0/90] _s	50,25	-1,24	-0,9390	1,24	-0,2350
[30/-30] _s	32,25	0,00	-0,2510	0,00	-0,4136
[30/-30] _s	37,05	0,00	-0,1550	0,00	-0,2901
[30/-30] _s	42,25	0,00	-0,1780	0,00	-0,2045
[30/-30] _s	47,05	0,00	-0,1760	0,00	-0,1176
[45/-45] _s	32,25	0,00	-0,0224	0,00	-0,0224
[45/-45] _s	37,05	0,00	-0,0493	0,00	-0,0493
[45/-45] _s	42,25	0,00	-0,1210	0,00	-0,1210
[45/-45] _s	47,05	0,00	-0,1470	0,00	-0,1470
[60/-60] _s	32,25	0,00	-0,1494	0,00	-0,2770
[60/-60] _s	37,05	0,00	-0,1494	0,00	-0,2780
[60/-60] _s	42,25	0,00	-0,1494	0,00	-0,2770
[60/-60] _s	47,05	0,00	-0,2615	0,00	-0,4860

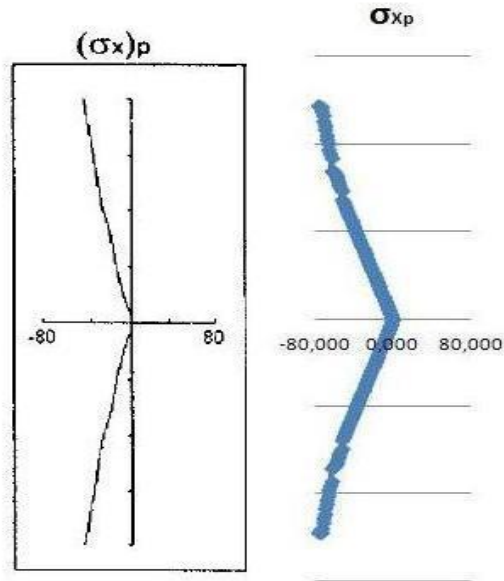


(a)



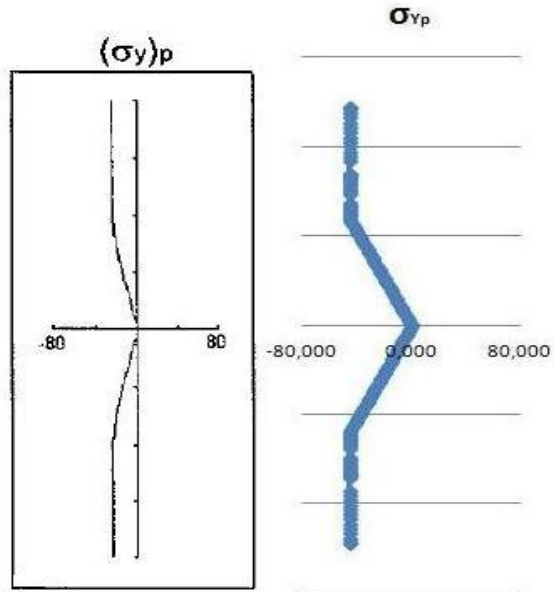
(b)

Şekil 4.1: $[0/90]_s$ diziliimli plakanın $Z=1 \text{ mm}$ ve 45.02° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları



$z_0=2 \text{ mm}, T_0= 22.51 \text{ } ^\circ\text{C}$

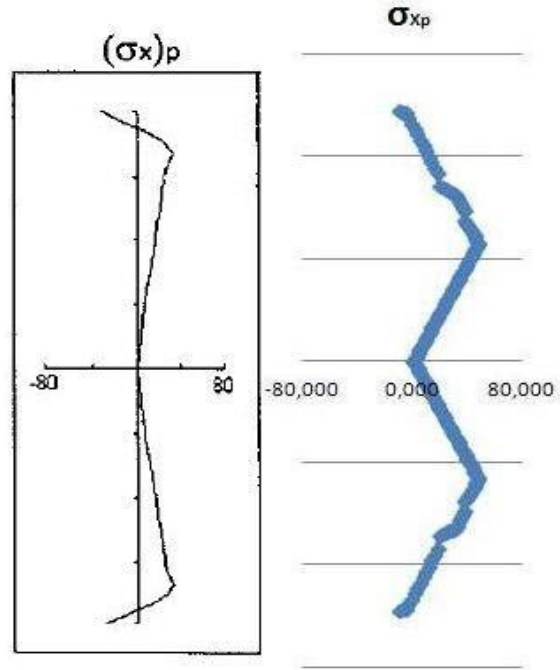
(a)



$z_0=2 \text{ mm}, T_0= 22.51 \text{ } ^\circ\text{C}$

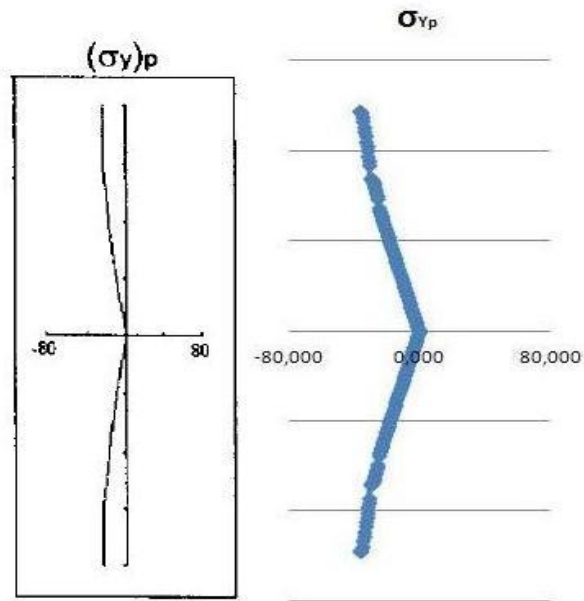
(b)

Şekil 4.2: $[0/90]_s$ dizimli plakanın $Z=2 \text{ mm}$ ve $22.51 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

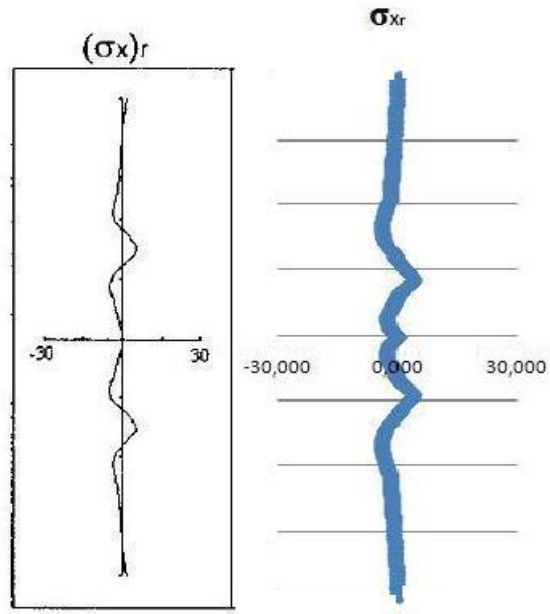
(a)



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

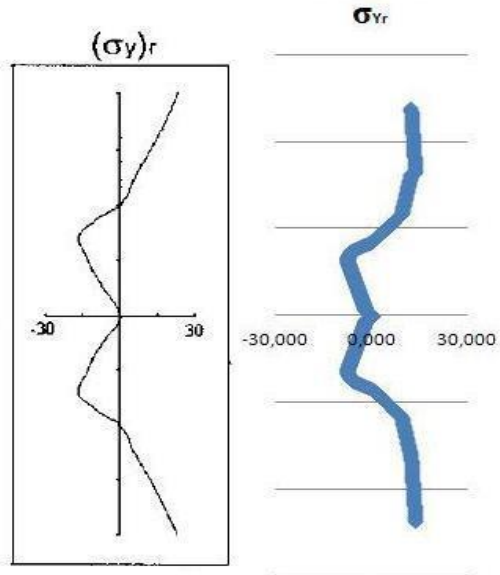
(b)

Şekil 4.3: $[0/90]_s$ dizimli plakanın $Z=3 \text{ mm}$ ve $15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin plastik gerilmelerin sonuçları



$z_0=1 \text{ mm}, T_0= 45.02 \text{ }^\circ\text{C}$

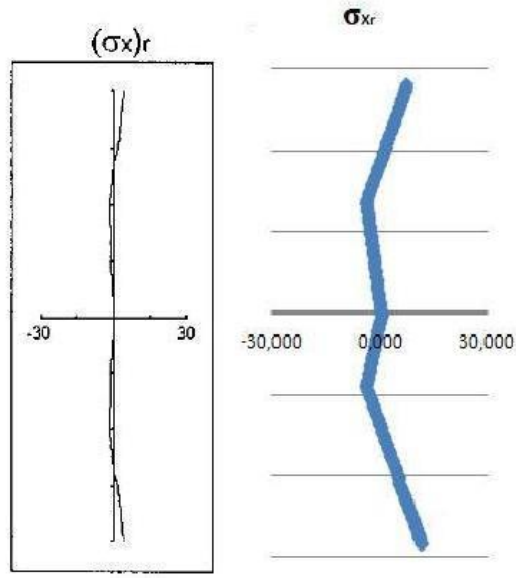
(a)



$z_0=1 \text{ mm}, T_0= 45.02 \text{ }^\circ\text{C}$

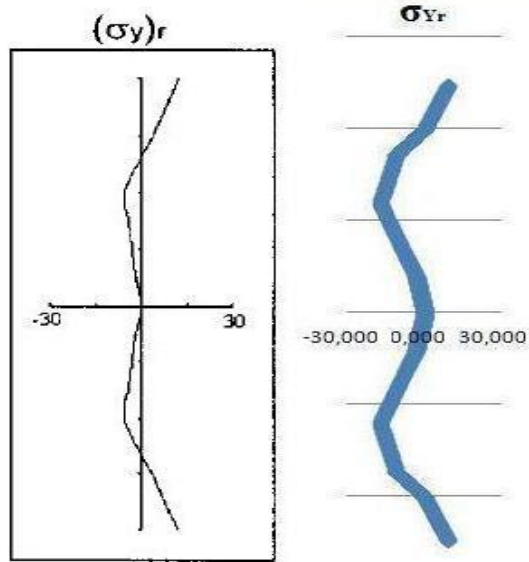
(b)

Şekil 4.4: $[0/90]_s$ dizilimli plakanın $Z=1 \text{ mm}$ ve $45.02 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=2 \text{ mm}, T_0= 22.51 \text{ }^\circ\text{C}$

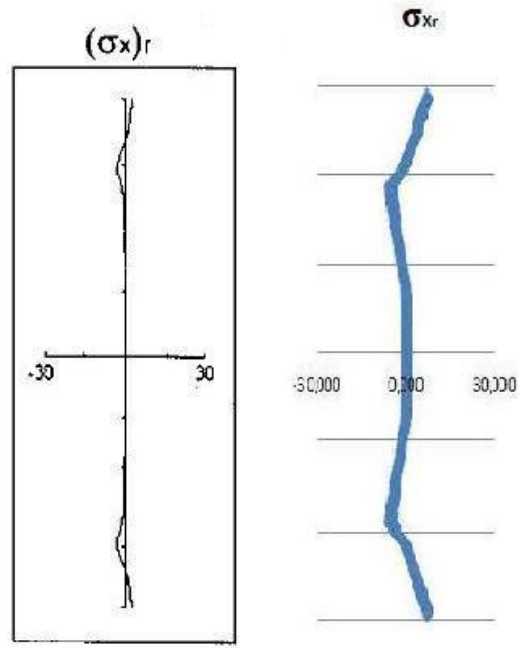
(a)



$z_0=2 \text{ mm}, T_0= 22.51 \text{ }^\circ\text{C}$

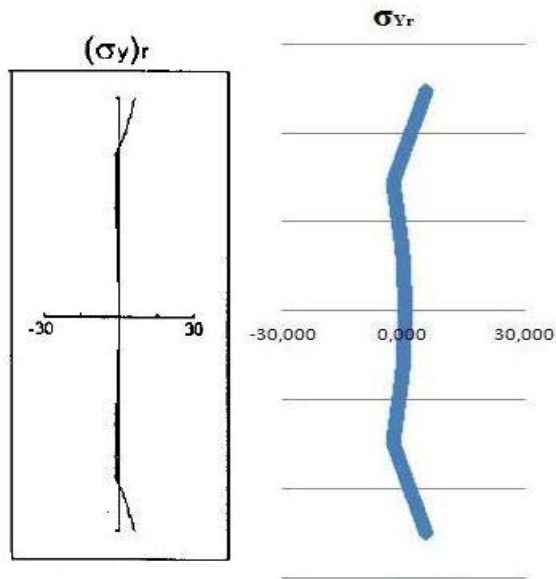
(b)

Şekil 4.5: $[0/90]_s$ dizilimli plakanın $Z=2 \text{ mm}$ ve 22.51° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

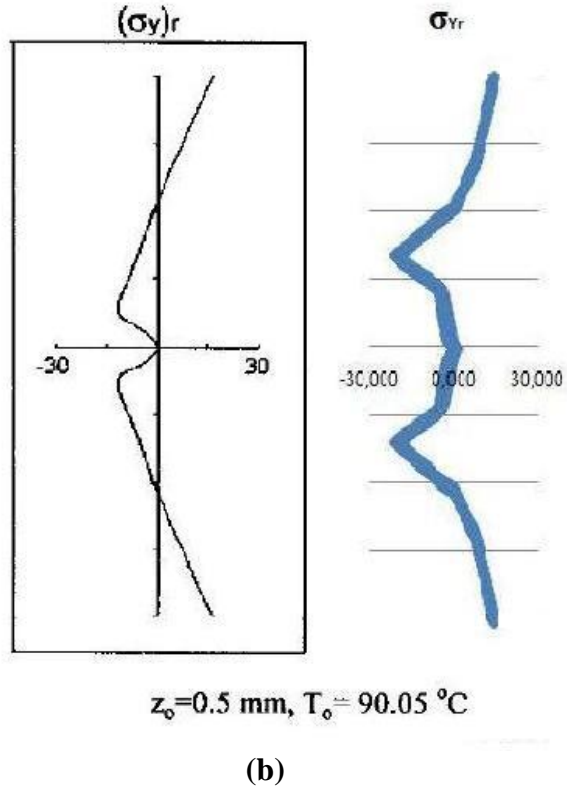
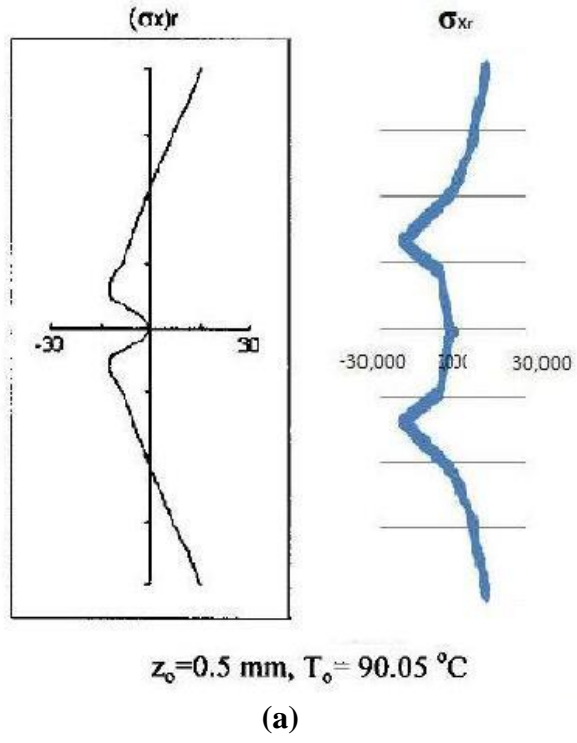
(a)



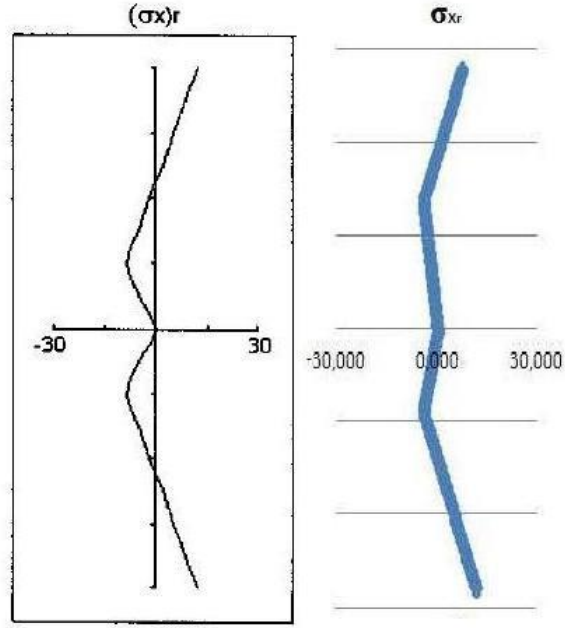
$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

(b)

Şekil 4.6: $[0/90]_s$ dizimli plakanın $Z=3 \text{ mm}$ ve $15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları

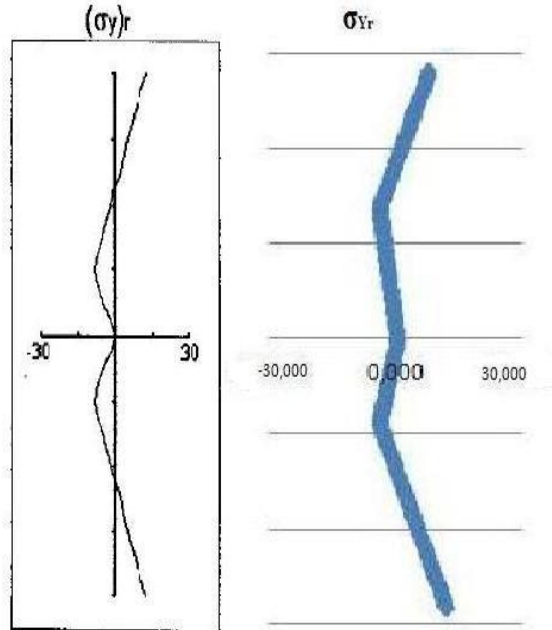


Şekil 4.7: $[30/-30]_s$ dizimli plakannın $Z=0,5 \text{ mm}$ ve 90.05° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=1 \text{ mm}, T_0= 45.02 \text{ } ^\circ\text{C}$

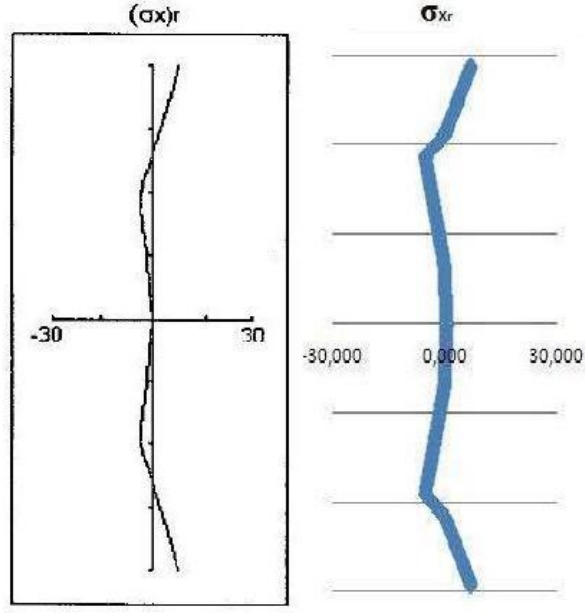
(a)



$z_0=1 \text{ mm}, T_0= 45.02 \text{ } ^\circ\text{C}$

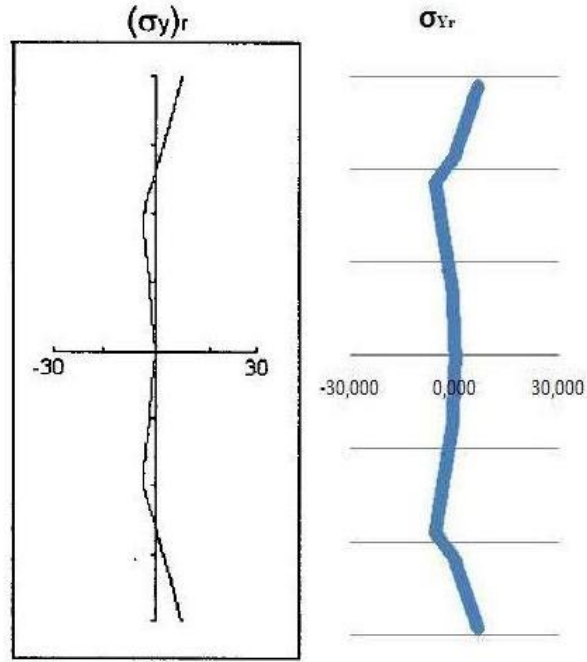
(b)

Şekil 4.8: $[30/-30]_s$ dizimli plakanın $Z=1 \text{ mm}$ ve 45.02° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=2 \text{ mm}, T_0= 22.51 \text{ } ^\circ\text{C}$

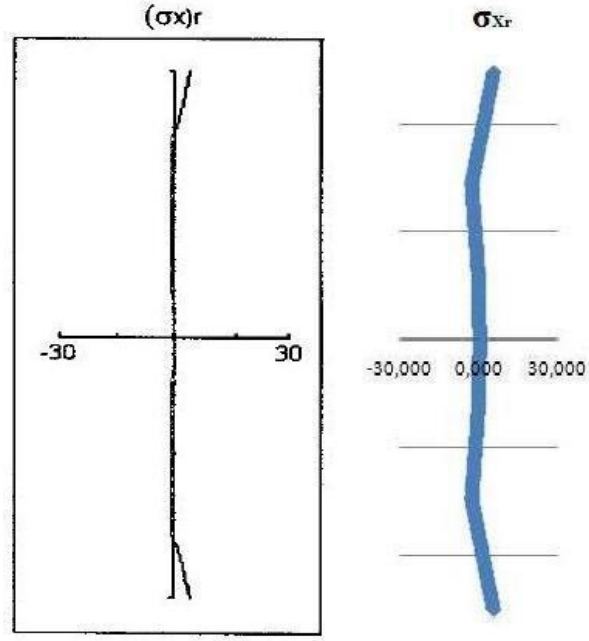
(a)



$z_0=2 \text{ mm}, T_0= 22.51 \text{ } ^\circ\text{C}$

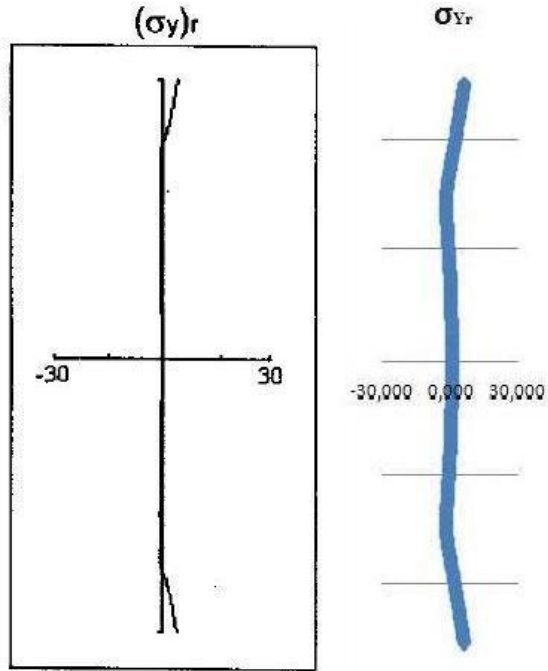
(b)

Şekil 4.9: $[30/-30]_s$ dizimli plakannın $Z=2 \text{ mm}$ ve 22.51° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

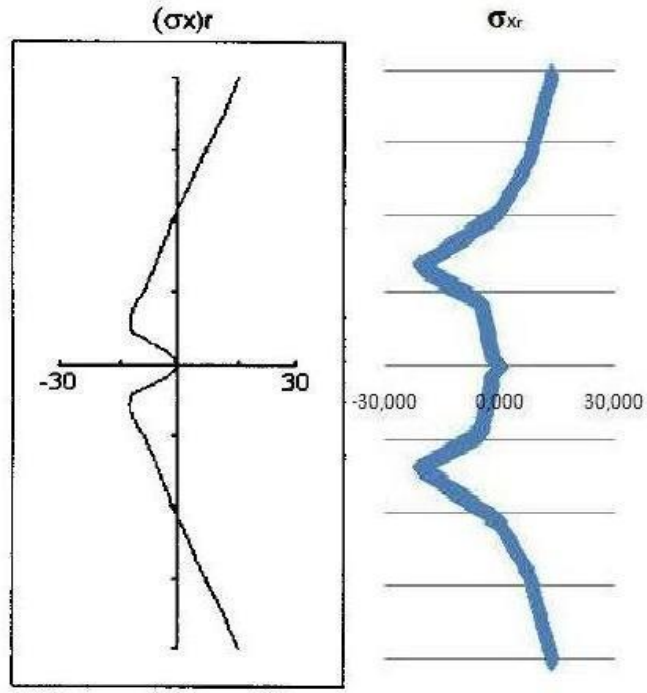
(a)



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

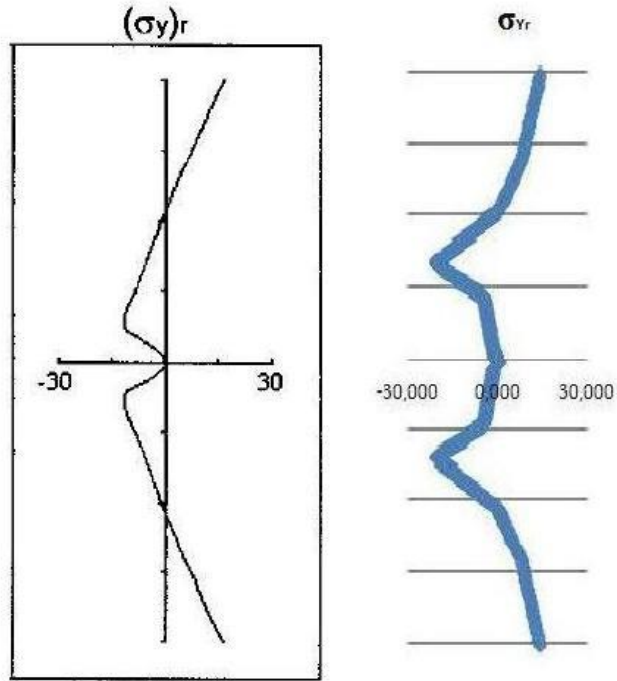
(b)

Şekil 4.10: $[30/-30]_s$ dizimli plakanın $Z=3 \text{ mm}$ ve 15.01°C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=0.5 \text{ mm}, T_0=90.05 \text{ }^\circ\text{C}$

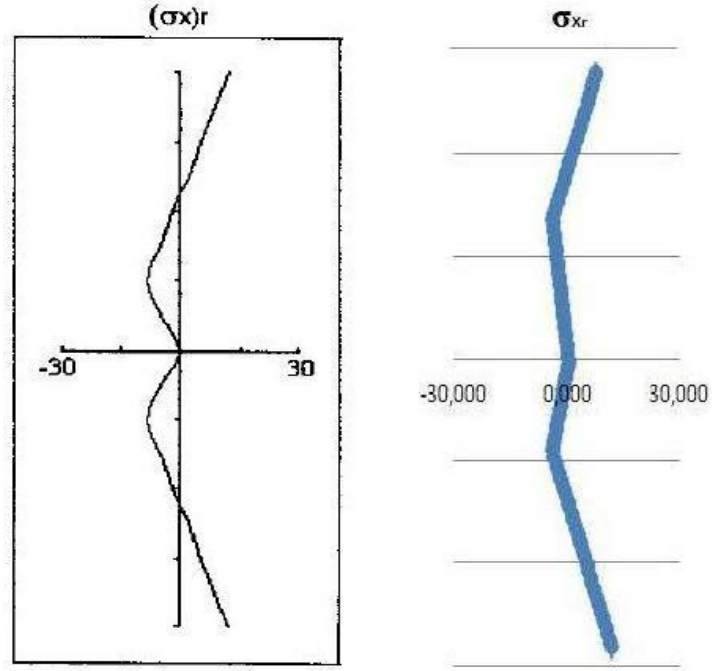
(a)



$z_0=0.5 \text{ mm}, T_0=90.05 \text{ }^\circ\text{C}$

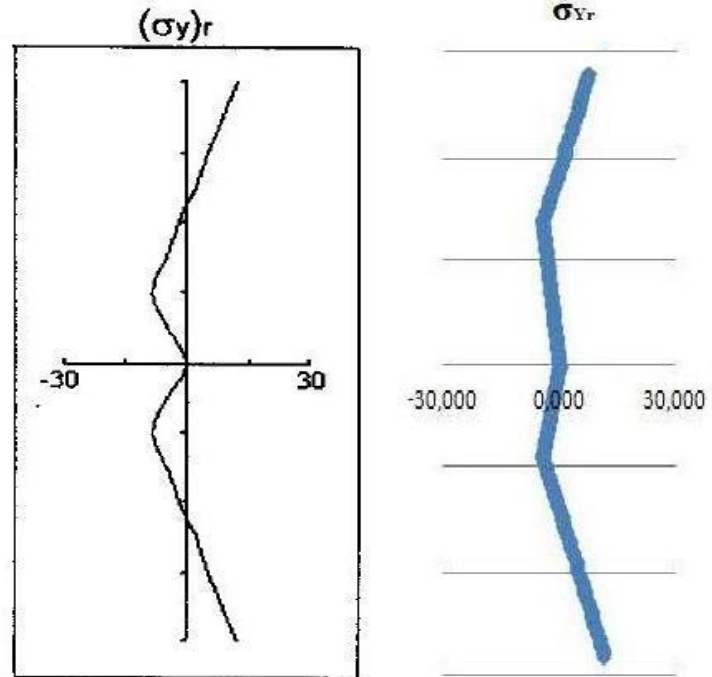
(b)

Şekil 4.11: $[45/-45]_s$ dizimli plakanın $Z=0,5 \text{ mm}$ ve 90.05° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=1 \text{ mm}, T_0=45.02 \text{ }^\circ\text{C}$

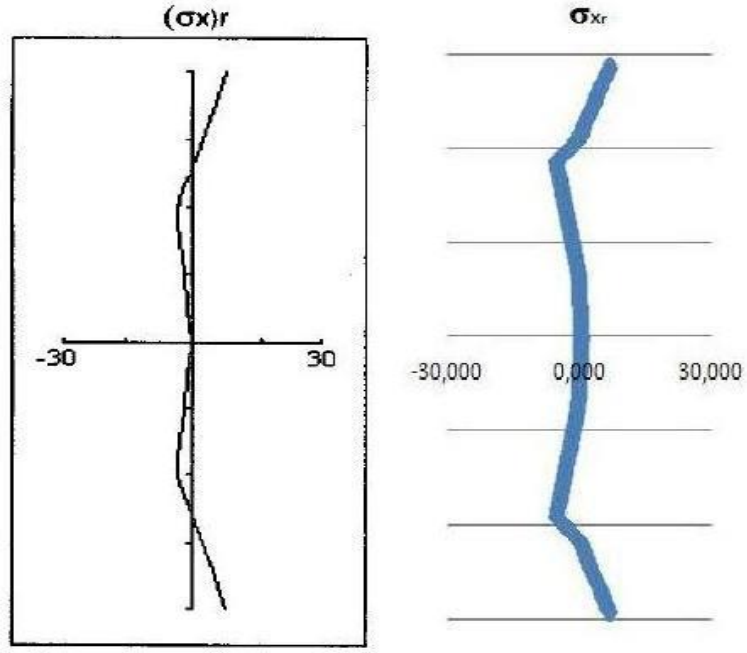
(a)



$z_0=1 \text{ mm}, T_0=45.02 \text{ }^\circ\text{C}$

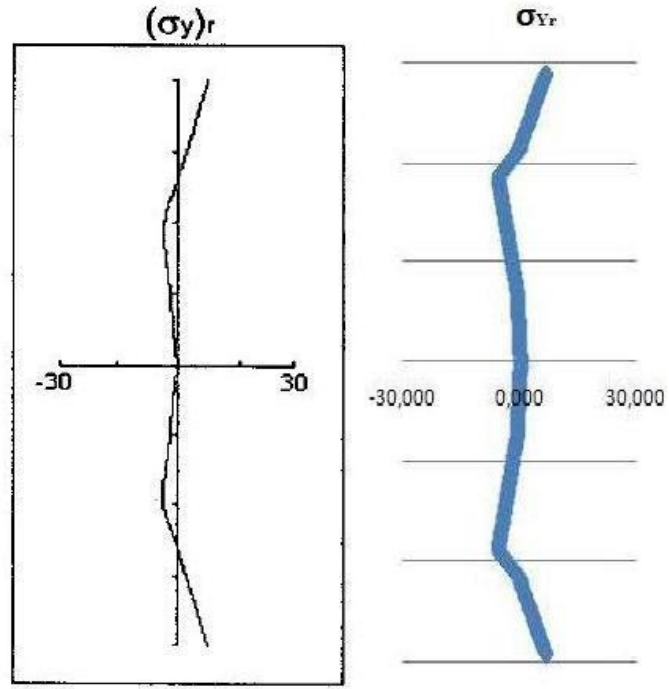
(b)

Şekil 4.12: $[45/-45]_s$ dizimli plakannın $Z=1 \text{ mm}$ ve 45.02° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=2 \text{ mm}, T_0= 22.51 \text{ }^\circ\text{C}$

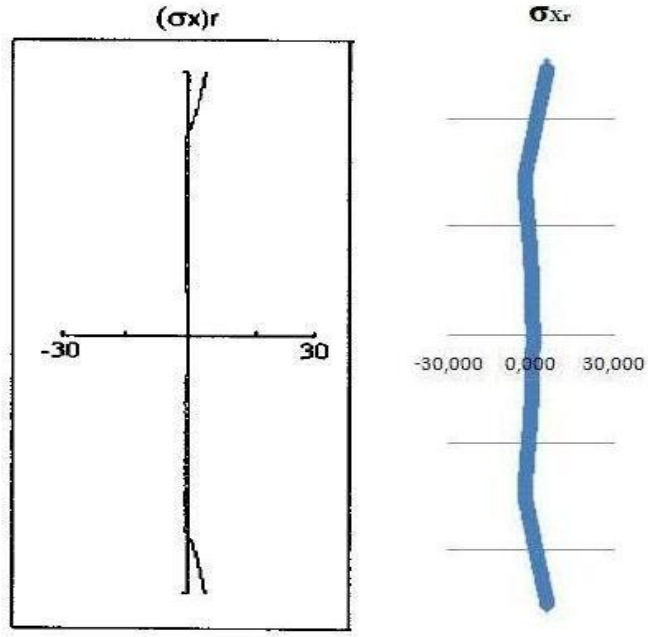
(a)



$z_0=2 \text{ mm}, T_0= 22.51 \text{ }^\circ\text{C}$

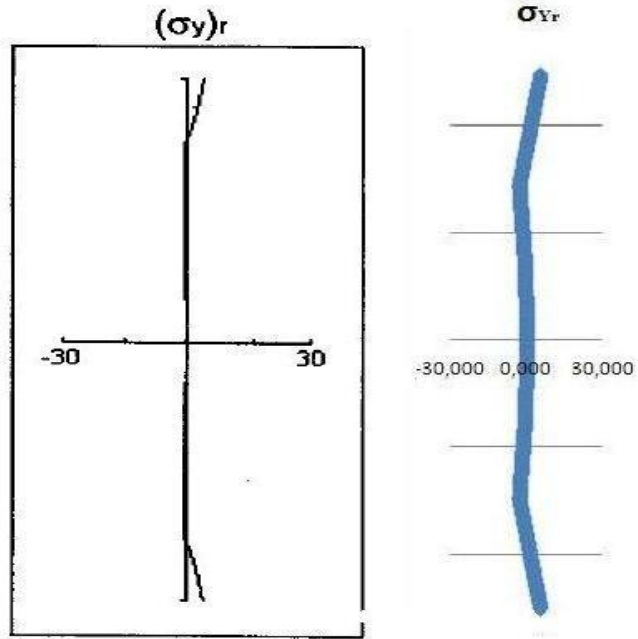
(b)

Şekil 4.13: $[45/-45]_s$ dizimli plakann $Z=2 \text{ mm}$ ve 22.51° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

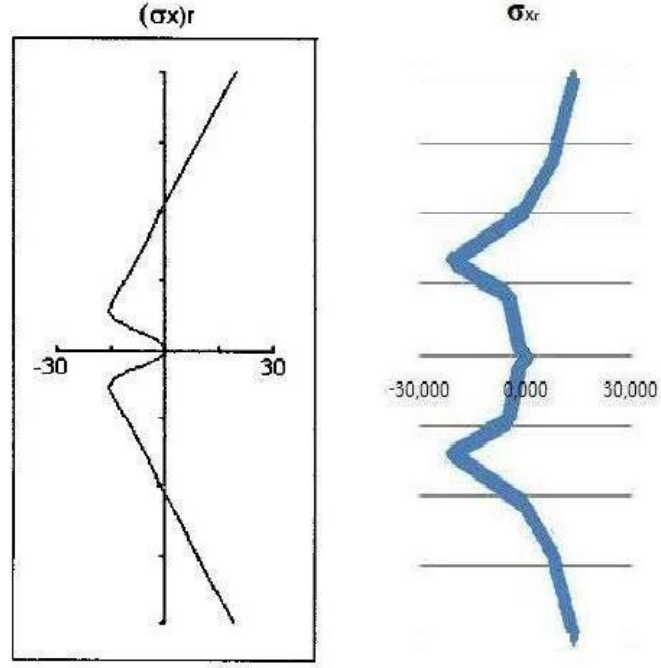
(a)



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

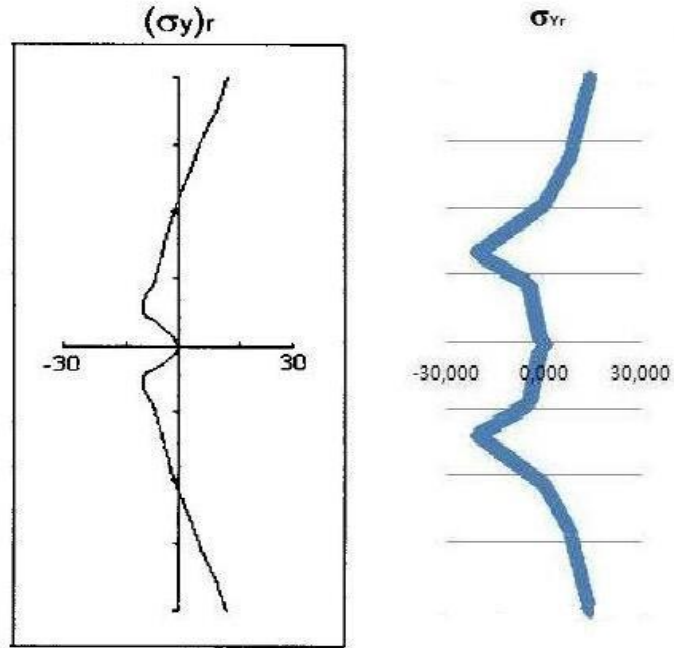
(b)

Şekil 4.14: $[45/-45]_s$ dizimli plakannın $Z=3 \text{ mm}$ ve 15.01° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=0.5 \text{ mm}, T_0=90.05 \text{ }^\circ\text{C}$

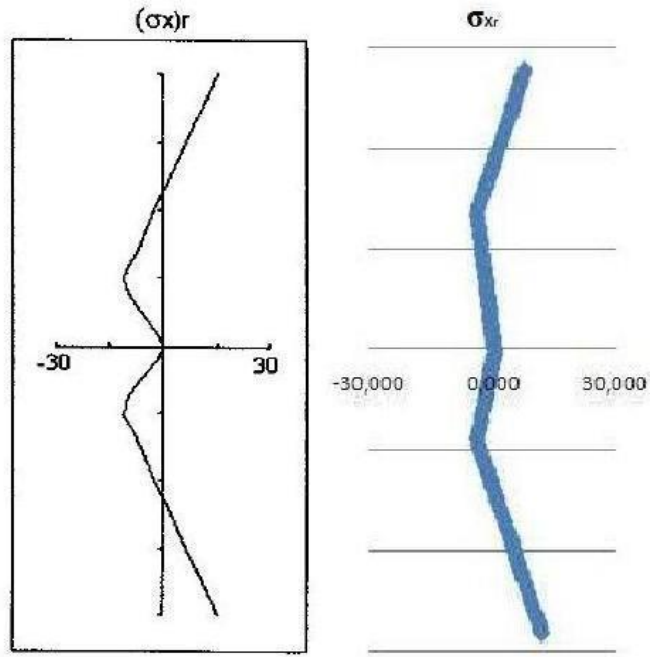
(a)



$z_0=0.5 \text{ mm}, T_0=90.05 \text{ }^\circ\text{C}$

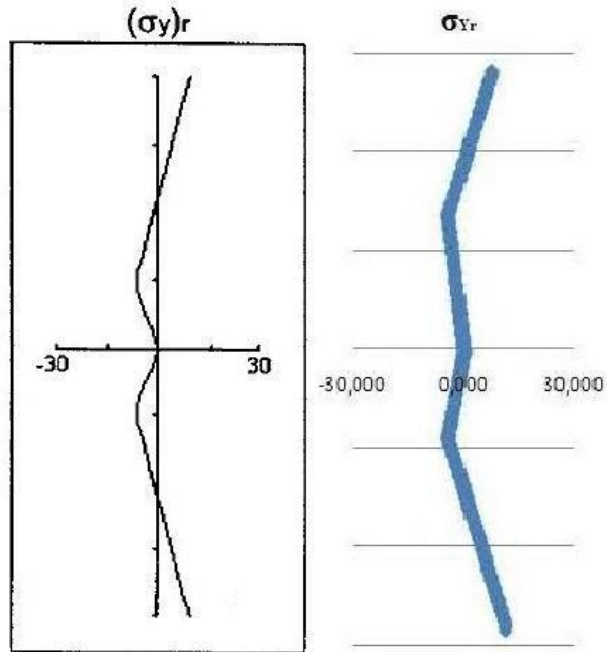
(b)

Şekil 4.15: $[60/-60]_s$ dizimli plakannın $Z=0,5 \text{ mm}$ ve 90.05° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=1 \text{ mm}, T_0= 45.02 \text{ } ^\circ\text{C}$

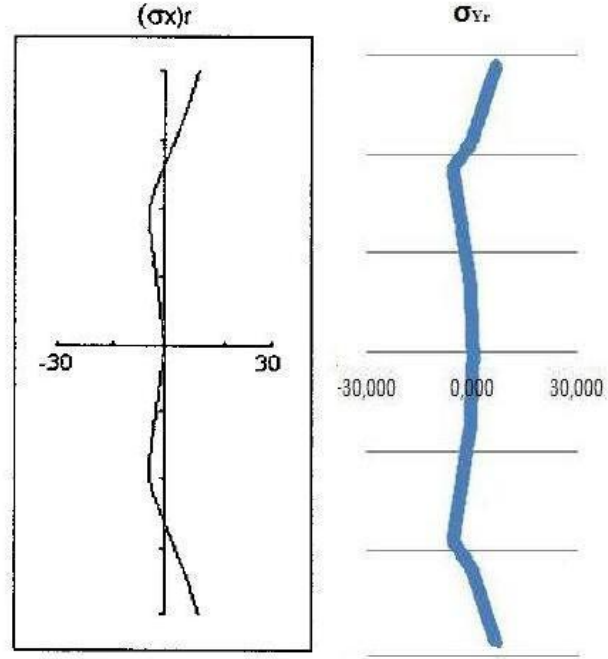
(a)



$z_0=1 \text{ mm}, T_0= 45.02 \text{ } ^\circ\text{C}$

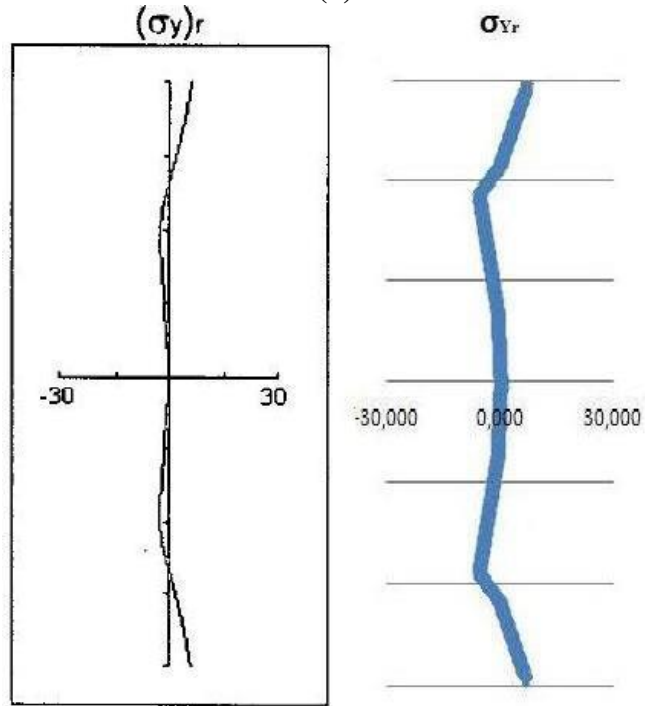
(b)

Şekil 4.16: $[60/-60]_s$ dizimli plakanın $Z=1 \text{ mm}$ ve 45.02° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=2 \text{ mm}, T_0=22.51 \text{ }^\circ\text{C}$

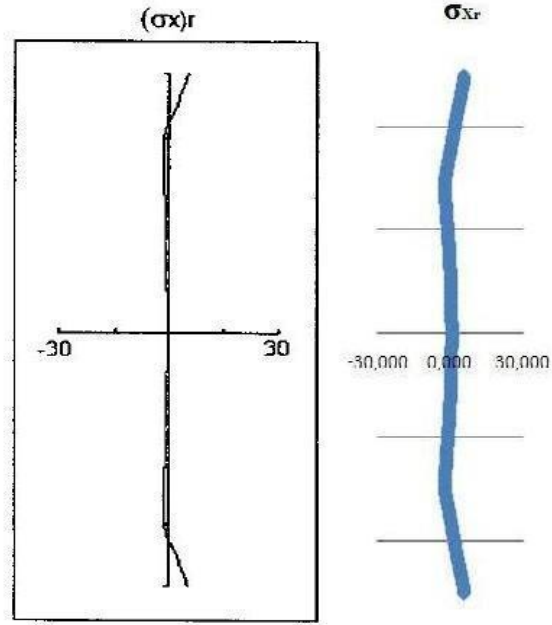
(a)



$z_0=2 \text{ mm}, T_0=22.51 \text{ }^\circ\text{C}$

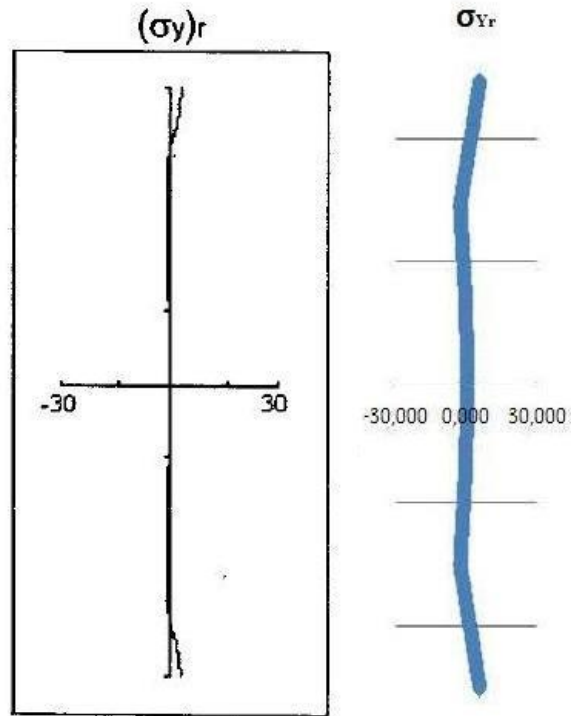
(b)

Şekil 4.17: $[60/-60]_s$ dizimli plakannın $Z=2 \text{ mm}$ ve 22.51° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

(a)



$z_0=3 \text{ mm}, T_0= 15.01 \text{ } ^\circ\text{C}$

(b)

Şekil 4.18: $[60/-60]_s$ dizimli plakannın $Z=3 \text{ mm}$ ve 15.01° C 'de analitik ve nümerik olarak elde edilen a) x gerilme bileşenlerinin b) y gerilme bileşenlerinin artık gerilmelerin sonuçları

5. SONUÇ

Bu tezde düzlemsel yüklenmiş alüminyum çelik fiber takviyeli plakalarda ve termoplastik matris olarak yüksek yoğunluklu polietilen ve çelik liflerden oluşan plakaların her ikisi için ayrı ayrı paket program yardımıyla elastik gerilme, plastik gerilme ve artık gerilme analizi yapılmıştır. Gerilme değerleri, simetrik şekilde tabakalı $[0^0/90^0]_s$, $[30^0/-30^0]_s$, $[45^0/-45^0]_s$, $[60^0/-60^0]_s$ takviye açısı durumları için incelenmiştir. Ayrıca her plaka için akma noktaları sıcaklıkları ilk durumda 11.26 °C ikinci durumda 27.05 °C olarak belirlenmiş ve şu sonuçlara varılmıştır:

ANSYS programının sağladığı kolay hesaplama avantajı sayesinde, tablolarla normal ve artık gerilmelerinin plakalar üzerindeki dağılımı gösterilmiştir ve kıyaslama yapılmıştır. En yüksek gerilmelerin meydana geldiği sıcaklıklar ve gerilme dağılımları verilmiştir. Uygulanan sıcaklık değerlerine göre hangi sıcaklıkta kompozit plakalarda hangi tür gerilmenin meydana geldiği ve elastik deformasyonun hangi sıcaklıktaki deformasyonlar olduğu, plastik deformasyonun hangi sıcaklıktaki deformasyonlar olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, gerilmelerin değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak artışı değerlendirilebilmektedir. Termal yüklerin doğrusal değişimleri, üst ve alt yüzeylerde en yüksek elastik -plastik ve artık gerilmeleri üretir. Bu şekle göre kompozit tabakası üzerinde meydana gelen basma ve çekme gerilmeleri sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır. Bundan dolayı kompozit tabakası üzerinde, ilk durumda x doğrultusunda hesaplanan en yüksek basma gerilmelerinin değeri $[0^0/90^0]_s$ takviye açısı durumunda -141.41 MPa olarak 90.05 °C uniform sıcaklık uygulandığında hesaplanmıştır. Bundan dolayı kompozit tabakası üzerinde, y doğrultusunda hesaplanan en yüksek basma gerilmelerinin değeri $[60^0/-60^0]_s$ takviye açısı durumunda -111.75 MPa olarak 90.05 °C uniform sıcaklık uygulandığında hesaplanmıştır.

Uniform sıcaklıklar lineer artırılarak etki ettirildiğinde, kompozit plakalar yanal düzlemde genişleme göstermek istemesine rağmen, ısıl genişleme katsayılarına bağlı olarak verilen genişleme ile yanal olarak genişemediklerinden kompozit plakalar diğer düzlemler doğrultusunda genişlemeye çalıştıklarından, sınır şartlar kompozit plakaların yanal düzlemdeki genişmeleri engellemektedir. Bunun neticesinde de, kompozit tabakasının üzerinde genel olarak basma gerilmeleri meydana gelmektedir. Burada

yüksek sıcaklık değerlerinde meydana gelen yüksek değerlerdeki basma ve çekme gerilmeleri meydana gelir. Yüksek değerdeki bu gerilmeler ise sınır şartından kaynaklanmaktadır. Çünkü yanal doğrultuda basma etkisinde olan kompozit tabakasının, bu doğrultuda hareketine sınır şartları tarafından izin verilmemektedir. Dolayısıyla hareketi sınırlanan kompozit tabakasında da yüksek gerilmeler oluşmaktadır. Eşdeğer plastik gerilme büyüklüğü aynı sıcaklıktaki tüm tabaka sıralarında aynıdır.

Gerilmeler $[0^0/90^0]_s$ takviye açısı durumunda bu açığa ve yükleme tipine bağlı olarak basma türündendir. Tablo 4.1'de görüldüğü gibi takviyelendirme açısı için simetrik durumlardaki σ_x ve σ_y gerilmeleri basma gerilmesi olup tabakalara uygulanan sıcaklık değerleri arttıkça artmaktadır. $[45^0/-45^0]_s$ takviye açılı plakalarda artık gerilmelerin bileşenleri eşit değerlerde ve çekme gerilmesi olarak elde edilmiştir.

Tüm iterasyonlarda ve takviye açılarında gerilme bileşenleri elde edilmiştir. 11.26, 12.86, 15.01, 22.51, 30.02, 45.02 ve 90.05 °C'lik üniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Gerilmelerin değeri, uygulanan üniform sıcaklık değerindeki artış miktarına bağlı olarak artmaktadır.

Gerilmeler, lineer olarak artan ısıl yükleme basamaklarında artış göstermiştir. Örneğin, 100 iterasyonlu yükleme basamağında σ_x artık gerilmesi 90^0 için 11.26 'de sıfır iken 12.86, 15.01, 22.51, 30.02, 45.02 ve 90.05 °C'lik üniform sıcaklıklarda iken aynı iterasyon sayılarında yapılan çözümlerde 0.91, 1.82, 2.74, 3.67, 3.90, 4.49, 10.52 MPa olarak elde edilmiştir.

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak elde edilen analitik sonuçlar ve nümerik sonuçlar bir arada bulunmaktadır. Bu değerler incelendiğinde elde edilen analitik çözüm metoduyla elde edilen sonuç verileri ile nümerik yöntem ile elde edilen çözüm sonuçları kıyaslandığında birbirine çok yakın veriler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Adin H., Düzlemsel Yüklü Tabakalı Kompozit Malzemelerde Elasto-Plastik Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., Makina Müh. Anabilim Dalı*, Ankara, (2001).
- Aktaş, A., Karakuzu, R., “Failure analysis of two-dimensional carbon–epoxy composite plate pinned joint”, *Mech Compos Mater Struct*; 6, 347-361 (1999).
- ANSYS, *Release 10.0 Documentation*, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.
- Arslan, N. and Turgut, A., Elasto-Plastic Finite Element Analysis of Isotropic Plates With U-Notches *The 1996 Asme International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Atlanta, Georgia, 92,45-58 (1996).
- Bektaş, N.B., Elasto-plastic stress analysis in simply supported thermoplastic laminated plates under thermal loads, *Composites Science and Technology*, 61-1695 (2001).
- Bektaş, N.B., Thermal Elastic-Plastic Stress Analysis Of Symmetric Aluminum Metal – Matrix Composite Laminated Plates and Residual Stresses Under Thermal Loads Varying Linearly, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22 -1689 (2003).
- Camanho, P.P., ve Matthews, F.L.,“A Progressive Damage Model for Mechanically Fastened Joints in Composite Laminates”, *Journal of Composite Materials*, 33, 2248-2280 (1999).
- Daniel, I. M., İshai, O., *Engineering Mechanics of Composite Material*, by Oxford University, Press, Inc. (1994).
- Gür, M., Kaman, M.O., Ortasında Dikdörtgen Delik Bulunan Kompozit Levhada Elasto-Plastik Gerilme Analizi. *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 13, 2, 225-236 (2001).
- Jones, Robert M., *Mechanics of Composite Materials*, Mc Graw-Hill, Kogakusha (1975).
- Kaw, A.K., “Mechanics of Composite Materials”, CRC Press LLC, New York, 71-128 (1997).
- Owen,D.R.J., Finite Elements in Plasticity and Elasticity Teory, *International Journal for Numerical Methods in Eng.* ,19, 541-546 (1983).
- Özbay, M., Stress Analysis of Metal Matrix Laminated Plates Under In Plane Loading, *Journal of the Intitute of Science and Technology of Gazi University Ankara* (1999).
- Özer D., Özbay M. Düzlemsel Yüklenmiş Ortasında Dairesel Delik Bulunan Kompozit Plakta Oluşan Elastik Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi *G.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 19,51-57 (2004).

Sayman O. Aksoy, S., *Kompozit Malzemeler*, E.Ü. Makine Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova/İzmir (1980).

Sayman, O., Elastic-Plastic and Residual Stresses in Symmetric Aluminum Metal-Matrix Laminated Plates Under a Linear Thermal Loading, *Journal of Thermal Stresses*, 26, 391-406 (2003).

Tsai, S.W., ve Azzi, V.D., Strengths of Laminated Composite Materials, *AIAA Journal*, 4, 296-301 . (1966).

Vinson, Jack R. , ve Chou, Tsu-Wei, *Composite Materials and Their Use in Structures*, Applied Science Publishers London (1975).

Whitney, J. M., and Pagano N.J., *Shear Deformation in Heterogeneous Anisotropic Plates*, J.Appl.Mech (1970).

Whitney, J.M., The Effect of Transverse Shear Deformation on the Bending of Laminated Plates, *J.Composite Materials* (1969).

Zienkiewicz, O.C., Valliapan, S., I. P. King, *Int. Journal for Numerical Methods in Eng.* 75-100, 1 (1969).

Composite materials.

<http://www.pct.ae/composites.php> (05.10.2010).

Composites: FOOYOH ENTERTAINMENT Corp.

<http://fooyoh.com> (12.01.2013).

Denizcilik uygulamaları.

<http://www.ae2project.com/modern-kompozitler/> (05.05.2013).

Industrial composites products and applications.

www.tencate.com (12.01.2013).

Kompozit fazların gösterilişi.

<http://www.essentialchemicalindustry.org/materials-and-applications/composites.html> (12.01.2012).

Kompozit malzemeler.

<http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index5.html> (05.01.2011).

Material used in the Boeing

<http://www.1001crash.com/index-page-composite-lg-2.html> (15.05.2013).

Matris ve fiber.

www.ruthtrumpold.id.au (12.01.2013).

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Emrah ERDOĞAN

Doğum yeri ve Tarihi :Denizli 04.04.1986

Lisans :Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği 2008

Elektronik posta :makemrah@gmail.com

İletişim Adresi :15 Mayıs mahallesi 786 Sokak No:2/1

Pamukkale/ DENİZLİ