



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DÖNEN VE SICAKLIK ETKİSİNDEKİ TERMOPLASTİK
MATRİSLİ KOMPOZİT BİR DİSKTEKİ ISIL GERİLMELERİN
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aytaç ÜÇKARDAŞ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

OCAK 2012

AKSARAY

Her hakkı saklıdır



T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DÖNEN VE SICAKLIK ETKİSİNDEKİ TERMOPLASTİK MATRİSLİ
KOMPOZİT BİR DİSKTEKİ ISIL GERİLMELERİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aytaç ÜÇKARDAŞ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

OCAK 2012

AKSARAY

Her hakkı saklıdır

ÖNSÖZ

Son yıllarda, kompozit malzemeler üzerindeki araştırma ve geliştirmelerde ciddi bir artış meydana gelmiştir. Ancak kompozit malzemelerin ortaya çıkmasıyla birlikte yeni problemlerde doğmuş ve bu problemlerin çözümü için kompozit malzemeler üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan birisi de termoplastik matrisli kompozitlerin ısıl gerilme davranışlarıdır.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan “Dönen ve Sıcaklık Etkisindeki Termoplastik Matrisli Kompozit Bir Diskteki Isıl Gerilmelerin Analizi” konulu çalışma ile üç boyutlu kompozit disk üzerinde oluşabilecek gerilmelerin ve elastik şekil değiştirmelerin değerlerinin ve dağılımlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma; Giriş, Kaynak Özetleri, Malzeme ve Yöntem, Bulgular ve Sonuçlar olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır.

TEŞEKKÜR

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, başta tez çalışmam süresince, her zaman desteğini gördüğüm, çalışmalarım boyunca beni yönlendirerek yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü olanağı sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN olmak üzere, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, hayatımdaki tüm süreçlerde bana destek veren aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA NO

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit Malzemeler	3
1.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	4
1.1.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları	4
1.1.1.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	5
1.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	6
1.2.1. Havacılık Sanayi	6
1.2.2. Otomotiv Endüstrisi.....	7
1.2.3. Elektrik-Elektronik	7
1.2.4. İnşaat Sektörü	7
1.2.5. Spor Endüstrisi	7
1.2.6. Deniz Endüstrisinde	7
1.2.7. Ev Aletleri	7
1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	8
1.3.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler	8
1.3.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	8
1.3.1.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler	9
1.3.1.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler	9
1.3.2. Takviye Çeşidine Göre Kompozit Malzemeler	9
1.3.2.1. Fiber Takviyeli Kompozitler	10
1.3.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler	10
1.3.2.3. Tabakalı Kompozitler	10
1.3.2.4. Çok Bileşenli Kompozitler	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	12

3. MALZEME VE YÖNTEM	18
3.1. Problemin Tanımı	18
3.2. Kompozit Malzeme Özellikleri.....	18
3.3. Sonlu Elemanlar ile Çözüm.....	19
4. BULGULAR.....	25
4.1. Giriş.....	25
4.2. Farklı uniform sıcaklıklar ve 10 rad/sn dönme hızında elde edilen bulgular	25
4.3. Farklı uniform sıcaklıklar ve 20 rad/sn dönme hızında elde edilen bulgular	39
4.4. Farklı uniform sıcaklıklar ve 30 rad/sn dönme hızında elde edilen bulgular	52
4.5. Analizlerden elde edilen bulguların birlikte değerlendirilmesi.....	65
5. SONUÇLAR.....	68
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÖNEN VE SICAKLIK ETKİSİNDEKİ TERMOPLASTİK MATRİSLİ KOMPOZİT BİR DİSKTEKİ ISIL GERİLMELERİN ANALİZİ

Aytaç ÜÇKARDAŞ

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

Bu çalışmada, ortasında dairesel delik bulunan bir termoplastik kompozit disk modeli oluşturulmuştur. Kompozit malzeme, termoplastik matrise sahiptir ve takviye elemanı olarak çelik fiberler kullanılmıştır. Problemin çözümü sonlu elemanlar metodu (FEM) ile yapılmıştır. Bu nedenle, modelleme ve analizler için ANSYS programı kullanılmıştır. Bu çalışmada, kompozit disk modeli önceki çalışmalardan farklı olarak, üç boyutlu yapılmıştır. Model üzerine sınır şartları, uniform sıcaklıklar ve açıl dönmler uygulanmıştır. Uniform sıcaklık ve açıl hızlar nedeniyle oluşan, ısıl gerilmeler ve elastik şekil değiştirmeler ve model üzerindeki dağılımları bulunmuştur. Uygulanan farklı uniform sıcaklıklar ve açıl dönmlere göre hesaplanan sonuçlar, birbiriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, üç boyutlu kompozit diskte meydana gelen gerilmeler ve şekil değiştirmelerin değerleri ve dağılımlarının, uniform sıcaklık ve açıl hız değişimine bağlıdır.

2012, 74 Sayfa

Anahtar kelimeler; Kompozit Disk, Metal-Matris Kompozit, Isıl Gerilme, Dönen Disk, FEM, ANSYS

Bilim Kodu: 914

ABSTRACT

Master of Science Thesis

ANALYSIS OF THERMAL STRESSES IN A TERMOPLASTİC MATRIS COMPOSITE ROTATING DISC EFFECTED THERMAL LOADING

Aytaç ÜÇKARDAŞ

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Faruk ŞEN

In this work, a composite disc model having a centered circular hole was created. The composite material had termoplastic matrix and steel fibers was used for reinforcement materiaal. The solution of the problem was done with finite element method (FEM). For this reason, the ANSYS code was used for both modeling and analysis procedures. In this study, composite disc model was cretaed as three dimensional as a difference according to previous works. Boundary conditions, uniform temperatures and angular velocities were carried out on model. Both thermal stresses and elastic strains caused from uniform temperatures and angular velocities and their distributions on model were determined. The calculated results which were obtained related to different uniform temperatures and angular velocities were compared with together. According to obtained results, the magnitudes and distributions of both stresses and strains on the three dimensional composite disc were changed by changing of uniform temperature and angular velocity.

2012, 74 Pages

Key Words : Rotating Disc, Composite Disc, Thermal Stress, Termoplastic Composite, FEM, ANSYS.

Science Code: 914

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tarih boyunca malzemelerdeki gelişmelerin birbirine göre önemi	1
Şekil 1.2.	Kompozit malzeme de kullanılan fiber ve reçine	3
Şekil 1.3.	Uçak malzemelerin kullanım oranlarının yıllara göre değişimi	6
Şekil 1.4.	Matris fazının çeşidine göre kompozit malzemeler	8
Şekil 1.5.	Takviye çeşidine göre kompozit malzemeler.....	9
Şekil 1.6.	Tabakalı kompozit malzeme	11
Şekil 3.1.	Kompozit diskin 2D şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.2.	Kompozit diskin oluşturulan katı modeli.....	21
Şekil 3.3.	Kompozit disk modeline sınır şartlarının uygulanması.....	21
Şekil 3.4.	SOLID45 eleman tipi (ANSYS).....	22
Şekil 3.5.	Kompozit diskin oluşturulan sonlu elemanlar ağ yapısı.....	24
Şekil 4.1.	10 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler.....	28
Şekil 4.2.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında radyal yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_r).....	29
Şekil 4.3.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında teğetsel yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_θ).....	30
Şekil 4.4.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında z yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_z).....	31
Şekil 4.5.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmeleri ($\tau_{r\theta}$).....	33
Şekil 4.6.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{rz}).....	34
Şekil 4.7.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmeleri ($\tau_{\theta z}$).....	35
Şekil 4.8.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_r).....	36
Şekil 4.9.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_θ).....	37
Şekil 4.10.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_z).....	38

Şekil 4.11.	20 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler.....	41
Şekil 4.12.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında radyal yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_r).....	43
Şekil 4.13.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında teğetsel yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_θ).....	44
Şekil 4.14.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında z yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_z).....	45
Şekil 4.15.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi ($\tau_{r\theta}$).....	46
Şekil 4.16.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi (τ_{rz}).....	47
Şekil 4.17.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi ($\tau_{\theta z}$).....	48
Şekil 4.18.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_r).....	49
Şekil 4.19.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_θ).....	50
Şekil 4.20.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_z).....	51
Şekil 4.21.	30 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler.....	54
Şekil 4.22.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında oluşan radyal yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_r).....	56
Şekil 4.23.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında teğetsel yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_θ).....	57
Şekil 4.24.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında z yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_z).....	58
Şekil 4.25.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi ($\tau_{r\theta}$).....	59
Şekil 4.26.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi (τ_{rz}).....	60
Şekil 4.27.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi ($\tau_{\theta z}$).....	61

Şekil 4.28. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_r).....	62
Şekil 4.29. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_θ).....	63
Şekil 4.30. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_z).....	64
Şekil 4.31. Termoplastik kompozit diskin iç yüzeyinde meydana gelen normal gerilmeler	66
Şekil 4.32. Termoplastik kompozit diskin dış yüzeyinde meydana gelen normal gerilmeler	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Kompozit malzemenin özellikleri.....	19
Çizelge 4.1.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 10 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z).....	26
Çizelge 4.2.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 20 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z).....	39
Çizelge 4.3.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 30 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z).....	52

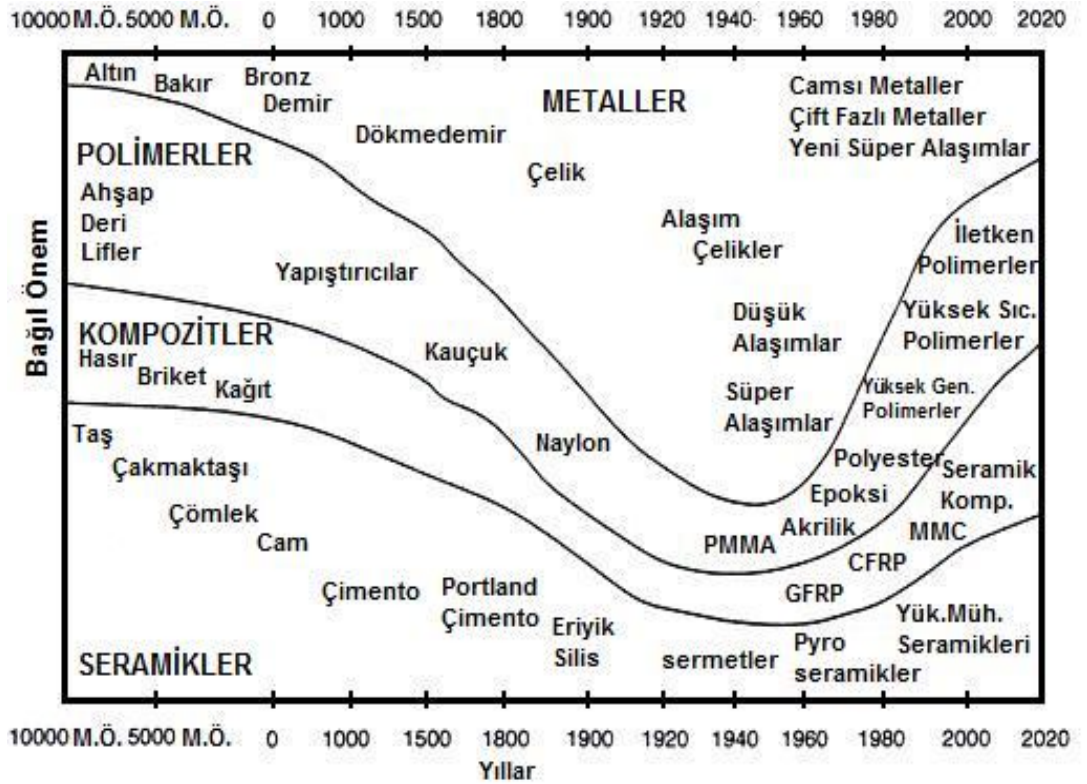
SİMGELER DİZİNİ

E	Elastisite modülü
ν	Poisson oranı
α	Isıl genleşme katsayısı ($1/^\circ\text{C}$)
σ_r	Radyal doğrultudaki normal gerilme
σ_θ	Teğetsel doğrultudaki normal gerilme
σ_z	z doğrultusundaki normal gerilme
$\tau_{r\theta}$	xy düzlemindeki kayma gerilmesi
$\tau_{\theta z}$	yz düzlemindeki kayma gerilmesi
τ_{rz}	xz düzlemindeki kayma gerilmesi
ε_r	Radyal doğrultudaki elastik şekil değiştirme
ε_θ	Teğetsel doğrultudaki elastik şekil değiştirme
ε_z	z doğrultusundaki elastik şekil değiştirme

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yapı elemanları, metaller, polimerler, kompozitler ve seramikler olmak üzere dört gruptadır. Bu malzemeler çok eski çağlardan beri kullanılmaktadır. İ.Ö. 10000 yıllarından 2020 yılına kadar bu malzemelerin kullanımındaki dağılım ve birbirlerine göre tarihe bağlı değişen önemleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Staab, 1999).



Şekil 1.1. Tarih boyunca malzemelerdeki gelişmelerin birbirine göre önemi (Staab,1999).

Gemi yapımından bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın bir kullanımı bulunan kompozit malzemenin üretimi son birkaç yüz yıla mal edilmiş gibi görülsede ilk örnekleri çok eskilere dayanmaktadır. Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması ancak 1940'lı yılların başında gerçekleşmiştir (URL-1).

Çok bileşenli malzemenin ilk örnekleri, doğada bulunan malzemeye yapılan müdahalelerle onun kullanılabilir hale getirilmeye başlandığı aşamadır. İlk çağlardan beri insanlar kırılabilir malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak bu kırılabilirlik özelliğinin giderilmesine çalışmışlardır. Bu konularda en iyi örneklerden biri kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler, malzemenin gerek üretim, gerek kullanım sırasındaki dayanımını arttırmaktadır (URL-1).

Öte yandan, günümüzde kompozit malzemenin donatılmasında yaygın olarak kullanılan liflerle ilgili uygulamanın da çok yeni olmadığı eldeki bulgulardan anlaşılmaktadır. Örneğin cam liflerinin üretimi, eski Mısır'a kadar tarihlendirilmektedir. Daha M.Ö 1600 yıllarında Mısır'da ince cam liflerinin yapımının bilindiği, XVIII. Hanedan devrinden kalan, çeşitli karanlık ve renkte cam lifleriyle bezenmiş amforaların mevcudiyetinden anlaşılmaktadır. Cam liflerinin sanayide kullanımıyla ilgili ilk kayıt, 1877 tarihlidir. Hidrolik bağlayıcılar ve elyaf malzeme kullanılarak yapay taş plakaların üretilmesi yöntemi hakkında bu yüz yılın başında alınmış patentlere rastlanmaktadır. Günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulmuş olan liflerle donatılmış kompozit malzemelerden ikisi, asbest lifleriyle donatılı kompozit malzemeler ve cam lifleriyle donatılı polyester kompozitlerdir. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllar boyu önemini koruyarak bu gün hala kullanılan bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir (URL-1).

Öte yandan, liflerle donatılı sentetik reçineler 1950'li yılların ortalarından itibaren endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemenin en tanınmış grubunu "cam lifli donatılı polyester reçinesi kompoziti" oluşturmaktadır. Ülkemizde "fiberglas" diye tanınan bu malzeme 1960'lı yılların başından itibaren Türkiye'de sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan "Anadol"un kaportası bu malzemeden üretilmiştir (URL-1).

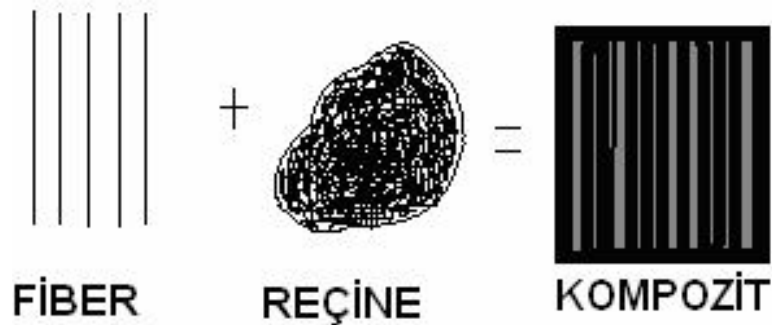
Cam lifleriyle donatılı sentetik reçine matrisli malzemeler için dilimizde "Cam Takviyeli Plastik (CTP)" adı yerleşmiştir. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, en çok kullanılan malzeme olan polyeşterin yanı sıra, günümüzde, diğer termoset ve termoplastik reçinelerde kullanılmaktadır (URL-1).

1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler oluşturmak için bir araya getirilmiş farklı tür malzemelerden yada fazlardan oluşan malzeme sistemine denir. Bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Kompozit malzemeye, “Çok Bileşenli Malzeme”, “Çok Fazlı Malzeme”, “Donatılı Malzeme” ve “Pekiştirilmiş Malzeme” gibi adlar da verilmektedir (Ersoy, 2001).

Kompozit malzemeler genellikle matriks adı verilen ana faz ile fiber olarak adlandırılan ikincil fazların istenilen oranda ve tertipte fiziki karışımı ile üretilirler. Bu iki malzeme grubundan çekirdek olarak kullanılan fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matriks malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Ayrıca matriks olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylelikle fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olmaktadır (Tanır, 1997).

Kompozit malzemelerdeki matris ve takviye malzemesi Şekil 1.2’de görüldüğü gibidir. Genellikle takviye (fiber) malzemesi; karbon, cam veya aramid olurken matris malzemesi ise epoksi reçineden oluşmaktadır (Mazumdar, 2002).



Şekil 1.2. Kompozit malzeme de kullanılan fiber ve reçine (Yıldızhan, 2008)

Takviyeli fiberler veya dokumalar kompozit malzemeyi güçlü, dayanıklı kılar. Buna karşılık matrisler kompozit malzemeye katılık verir ve malzemeyi çevresel etkilere karşı dirençli kılar.

Uygulamada kompozit malzeme üretiminde, aşağıdaki özelliklerin bir veya bir kaçının geliştirilmesi hedeflenmektedir (Kılıç, 2006).

- Mekanik dayanımı
- Yorulma dayanımını
- Aşınma dayanımını
- Korozyon dayanımı
- Kırılma tokluğunu
- Yüksek sıcaklıktaki özellikler
- Isıl iletkenlik
- Elektrik iletkenliğini
- Akustik özellik
- Rijitlik
- Ağırlık azalması
- Estetik

Kuşkusuz bu özelliklerin hepsinin tek bir malzeme de toplanması mümkün değildir.

1.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliği metallerinkine göre farklılık göstermektedir bundan dolayı büyük önem kazanmışlardır. Kompozit malzemelerin özgül ağırlığının düşük olması çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Hafifliğinin yanı sıra korozyona direnci, ısı, ses, elektrik izolasyonu sağlamaları da büyük bir avantajdır. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır (Vatangül, 2008).

1.1.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları;

- ❖ Kompozit malzemelerin korozyon ve çoğu kimyasal maddelere direnci çok yüksektir. Bunun sebebi dış yüzeyinin polimerle kaplı olmasıdır. Kompozitlerin kimyasallara ve korozyona dayanımının çok yüksek olması endüstride büyük bir yer kazanmasını sağlamıştır.

- ❖ Kompozitler yüksek mukavemet özelliklerine sahip malzemelerdir. Öyle ki çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir.
- ❖ Kompozit malzemeler ısıya dayanıklı malzemelerdir. Bazı özel katkılarla kompozitlerin ısıya dayanımı arttırılabilir.
- ❖ Uygun malzemeler kullanılarak kompozit malzemelerde çok üstün elektiriksel özellikler ortaya çıkarılabilir. Günümüzde kompozit malzemeler hem çok iyi bir iletken hem de çok iyi bir yalıtkan malzeme olarak kullanılmaktadır.
- ❖ Kompozit malzemelerin şekillendirilmesi ve tasarımı çok kolaydır. Bu özelliği ile işçilikten büyük kazanç sağlanır.
- ❖ Kompozit malzemeler hafif malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı uzay araçları ve uçak yapımında kullanılırlar ve hafiflikleri sayesinde yakıttan tasarruf sağlarlar.
- ❖ Kompozit malzemelerde gürültü ve titreşimi yutabilme özelliği mevcuttur. Bu özellikleri bakımından metallere öndedirler.
- ❖ Kompozit malzemeye, kalıplama sırasında reçineye ilave edilen pigmentlerle istenen renk verilebilir. Buda işçilikten ve ek bir masraftan kazanç sağlar (Vatangül, 2008).

1.1.1.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları;

Kompozit malzemeyi oluşturan matrisin kötü bir özelliği varsa bu direk olarak kompozit malzemeyi de olumsuz etkiler. Örneğin, matris yüksek sıcaklıklara uygun değilse matrisin oluşturduğu kompozit malzemede bu olumsuzluktan etkilenir ve yüksek sıcaklıkta çalışmaya uygun değildir (Delibalta, 2005).

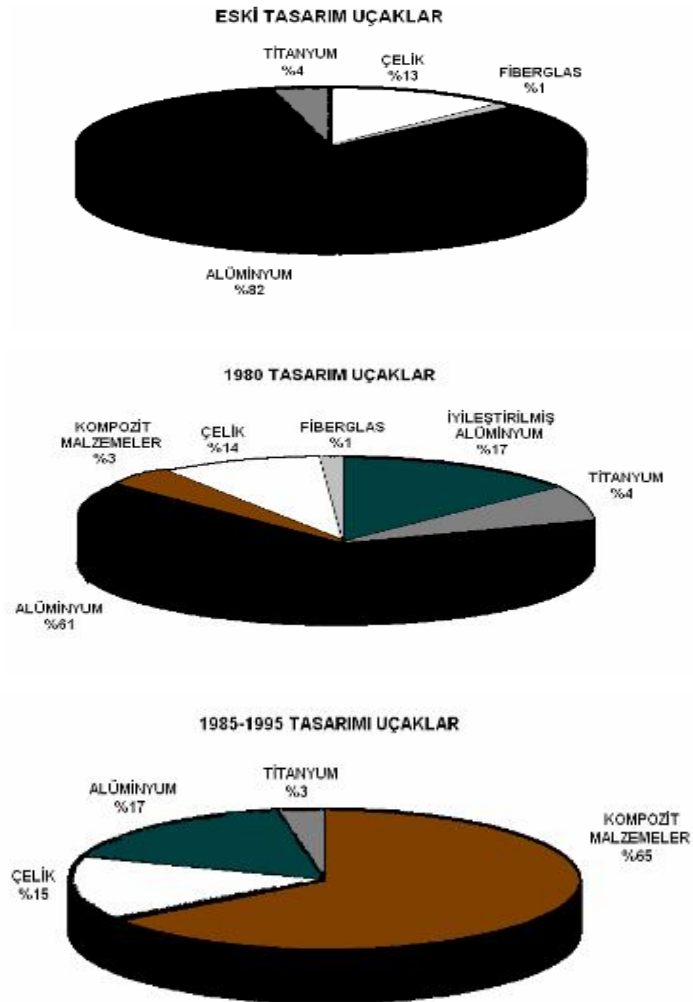
- ❖ Kompozit malzemenin içindeki hava zerrecikleri , malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkiler (Delibalta, 2005).
- ❖ Kompozit malzemelerin üretimi zor ve üretim maliyeti yüksektir.
- ❖ Kompozit malzemelerin dirençleri matrislere bağlıdır ve bu matrisler polimerlerdir. Polimer malzemelerin bazılarının kimyasal dirençleri düşüktür.
- ❖ Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik özellikler gösterirler.
- ❖ Kompozitler geri dönüşümü olmayan malzemelerdir.
- ❖ Aynı kompozit malzeme için farklı mukavemet değerleri ortaya çıkabilir.
- ❖ Kompozit malzemelerde çekme, basma, kesme türü işlemler lifler arasında açılmaya neden olacağından hassas imalattan söz edilemez (Delibalta, 2005).

1.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin günümüzde kullanım alanları çok geniştir. Kompozit malzemeler hemen hemen endüstrinin tüm alanlarında geniş bir kullanıma sahiptir. Genellikle fazla ağırlık istenmeyen fakat fazla mukavim olması gereken yerlerde metallerin yerine kullanılmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemeler en geniş kullanım alanını ulaşım endüstrisinde bulmuştur.

1.2.1. Havacılık Sanayi

Kompozit malzemeler havacılık sanayisinde gün geçtikçe daha geniş uygulama alanı bulmaktadır. Düşük yoğunluğa sahip kompozit yapıların uçak tasarımında kullanılması ile metal yapıya oranla ağırlık kazancı sağlanmıştır. Şekil 1.3'te gelişen teknoloji ile birlikte, uçak tasarımında kompozit malzeme kullanımındaki artış verilmektedir (Margolis, 1986).



Şekil 1.3. Uçak malzemeleri kullanım oranlarının yıllara göre değişimi (Margolis,1986)

1.2.2. Otomotiv Endüstrisi

Otomobil firması müşterilerinin ihtiyaçlarına karşılık vermek için çevresel şartların baskısı altında, daha hafif otomobiller üretmektedirler. Hafif otomobiller; daha çabuk hızlanabilen, daha çabuk durabilen ilerlemek için daha küçük bir motora ve daha az benzine ihtiyaç duyan araç anlamına gelmektedir. Bu alanda kullanılan başlıca ürünler, otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar, dikiz aynası, otomobil gösterge paneli, pedallar, far gövdesi ve lastiklerdir.

1.2.3. Elektrik-Elektronik

Kompozit malzemeler elektiriksel izolasyonu sayesinde elektrik sanayisinde üretim malzemesi olarak elektronik aletlerin yapımında kullanılırlar (Yağcı, 2007).

1.2.4. İnşaat Sektörü

Bu sektörde de kompozit malzemeler önemli bir kullanım payına sahiptir. Lavabo, küvet, bina kaplama panelleri, kapı, balkon korkulukları, sokak lambaları, yer karoları, yürüme yolları, soğuk hava depoları birer kompozit malzeme örneğidir.

1.2.5. Spor Endüstrisi

Spor endüstrisinde de kompozit malzeme kullanımı fazladır. Kompozit malzemeler diğer malzemelere göre hafif, mukavemeti iyi, titreşim özellikleri iyi olmasından dolayı tercih edilirler. Kompozit malzemeler gol sopaları, yarış botları, tenis raketleri, kayak, balık oltaları, bisiklet vb. ürünlerin üretiminde kullanılırlar (Mazumdar, 2002).

1.2.6. Deniz Endüstrisinde

Kompozit malzemeler, korozyon direncinin iyi olması, hafifliği, yakıt tasarrufu sağlaması, daha hızlı hareket olanağı sağlaması ve daha konforlu olmasından dolayı deniz endüstrisi uygulamalarında çok çeşitli uygulama alanları vardır. Kompozit malzemeler, yat ve tekne arkası platformlarda, basamaklarda, yelkenli gövdesinde, yelken direği vb. ürünlerin üretiminde kullanılırlar. Deniz endüstrisinde kullanılan kompozit malzemeler genellikle cam takviyeli plastik kompozitlerdir (Mazumdar, 2002).

1.2.7. Ev Aletleri

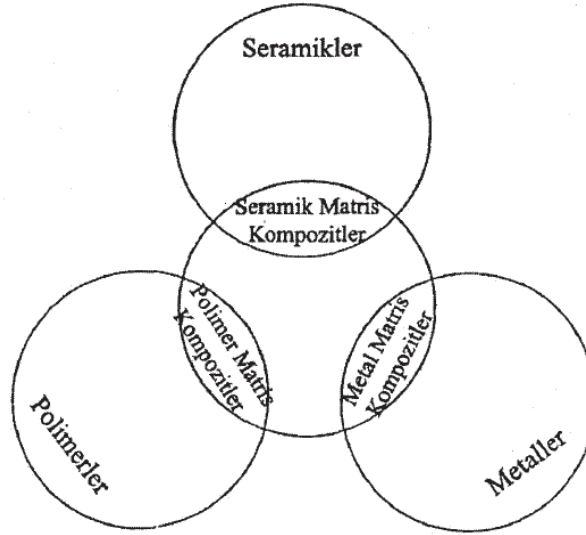
Dolap, masa, sandalye, süs eşyaları, çerçeve, televizyon dolabı gibi çok sık kullanılan ev aletlerinde kompozit malzemeler kullanılır.

1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, matris malzemesine ve takviye çeşidine göre iki şekilde sınıflandırılabilir.

1.3.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler

Matris malzemesine göre kompozit malzemeler metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli kompozit malzemeler olmak üzere üç grupta toplanabilir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Matris fazının çeşidine göre kompozit malzemeler (Chawla, 1995)

1.3.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMK'lar elde edilirler. MMK'lar daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskobu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır (URL-2).

Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. MMK malzemelerde matris malzemesi olarak, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve bir çok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Metal matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanları ise Al_2O_3 , SiC, bor, TiC ve karbondur (Hiçyılmaz vd., 1999).

1.3.1.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Seramik matrisli kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan malzemeler olan seramik malzemeler, çok düşük kopma uzaması gösterirler, düşük tokluğa sahiptirler ve termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Buna karşılık çok yüksek elastiklik modülüne, düşük yoğunluğa ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler. Seramik matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C yaygın olarak kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak genellikle Al_2O_3 ve SiC seramik malzemeler fiber formuna getirilerek kullanılmaktadır (Smith, 2001).

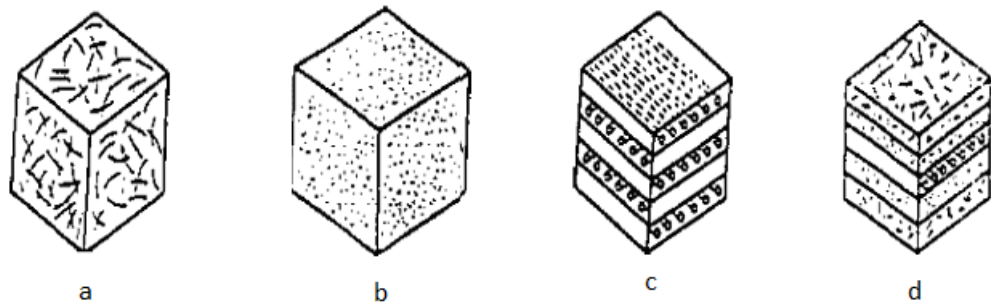
1.3.1.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Liflerle pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon kevlar ve boron lifleri kullanılır. Polimer matrisli kompozit malzemeler üretim yöntemlerinin diğer kompozit malzemelere göre daha ucuz ve basit olması sebebiyle yaygın kullanım alanı bulmuşlardır. Polimer matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak; epoksi ve polyester gibi termoset plastikler ile termoplastik polyester, poliamid (PA), politetrafloretillen (PTFA), polietilen (PE) gibi termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak ise cam, aramid, karbon, polietilen, bor, Al_2O_3 ve SiC kullanılmaktadır (Sınmazçelik, 2003; Şahin, 2004).

1.3.2. Takviye Çeşidine Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler takviye çeşidine göre temel olarak dört grupta toplanabilir (Şekil 1.5);

- Fiber takviyeli kompozitler
- Parçacık takviyeli kompozitler
- Tabakalı kompozitler
- Çok bileşenli kompozitler



Şekil 1.5. Takviye çeşidine göre kompozit malzemeler (URL-2)

1.3.2.1. Fiber Takviyeli Kompozitler

Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafaların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyafaların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir (URL-2).

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir (URL-2).

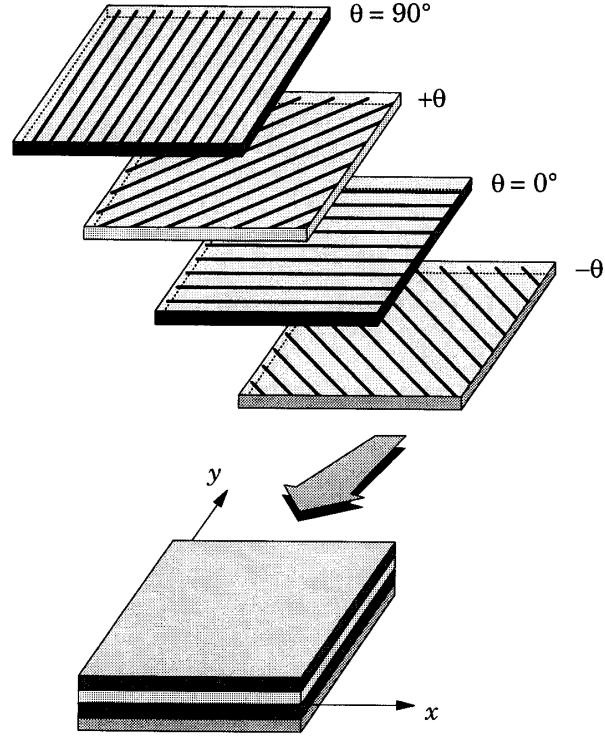
1.3.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler

Genellikle, plastik, sermet ve metallerin takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozitlerdir. Bu parçacıklar matris içinde rastgele dağıldığından kompozit izotropik özellik gösterir. Parçacık takviyeli kompozitler sermetler ve dispersiyon ile sertleştirilmiş alaşımlar şeklinde iki grup içinde toplanabilir. Sermetler metalik matris içinde sert seramik parçacık karışımından oluşur. Seramikler genel olarak yüksek ergime sıcaklıkları ısı kararlılıkları ve elastik davranışları ile karakterize edilirler. Metaller ise genelde sünek malzemelerdir. Sermet kompozitleri oksit veya karbür esaslı olabilir. Dispersiyonla kuvvetlendirmede prensip sert ve oldukça küçük boyutlu parçacıkların sünek bir yapı içinde homojen bir şekilde dağıtmaktır. Bunlara örnek olarak ThO₂ dispersiyonu ile kuvvetlendirilmiş nikel Al₂O₃ dispersiyonu ile kuvvetlendirilmiş alüminyum alaşımı verilebilir (Kaw, 2006).

1.3.2.3. Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozitler (Şekil 1.6) farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur. Çok değişik kombinasyonlarla 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 yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Vatangül, 2008).



şekil 1.6. Tabakalı kompozit malzeme (Reddy, 1997)

1.3.2.4. Çok Bileşenli Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki yada daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrit kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, keklar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de keklar elyaflı kompozitten daha yüksek olmaktadır (URL-3).

BÖLÜM II

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İlk bölümde genel olarak kompozit malzemelerden ve çeşitlerinden bahsedilmişti. Fiber takviyeli polimer (FRP) kompozitler özellikle ikinci dünya savaşından sonra yaygın mühendislik malzemeleri olarak birçok uygulamada yeni ve çekici malzemeler olarak ortaya çıkmıştır. Termoplastik kompozitler, matriks olarak kullanılan plastik malzemenin, fiber olarak kullanılan çeşitli metal ve cam lifi gibi malzemelerle takviye edilmesiyle imal edilmektedirler. Termoplastik kompozitler, yüksek mukavemet, rijitlik, arttırılmış darbe dayanımı ve geliştirilmiş darbe toklukları gibi çeşitli avantajlara sahip malzemelerdir. Termoplastik kompozitlerin önemli bir avantajı da yeniden ergitilerek yeni bir şekle getirilebilmeleridir. Ayrıca, kolaylıkla tamir edilebilirler. Örneğin bölgesel olarak meydana gelmiş tabaka ayrılmaları ve çatlaklar ergitmek suretiyle ortadan kaldırılabilmektedirler. Bunun yanı sıra, maliyetlerinin düşük olması nedeniyle özellikle otomotiv, tasarım ve mobilya endüstrilerinde yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı kompozit malzemeler üzerinde birçok çalışmalar yapılmıştır. Wood ve Lewis (1974) Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak iki boyutlu geçişli ısı iletimi için kritik zaman aralığının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır.

Güven ve Altay (1998), sabit sıcaklıkta katı bir kompozit diskte meydana gelen ısı gerilmeleri incelemiştir. You ve arkadaşları (2000), değişik kalınlık ve yoğunluktaki döner disklerde oluşan gerilmelerin nümerik yolla çözümünü ele almışlardır.

Arslan ve arkadaşları (2000) tarafından sonlu elemanlar metodu kullanılarak çelik fiberler ile kuvvetlendirilmiş termoplastik matriksli plakta, elastik ve elasto-plastik gerilme analizi yapılmıştır. Shabana ve arkadaşları (2001), sonlu elemanlar tekniği ile kompozitlerde, termo elasto-plastik gerilmeleri tespit etmiştir.

Şen (2001) yaptığı çalışmada, epoksi türü bir yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış çok ince metal plakaların, laser nokta kaynağı esnasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve delik şeklinin oluşumu incelenmiştir. Bu amaçla, silindirik koordinatlarda iki boyutlu ısı transferi modeli oluşturulmuş ve sonlu farklar metodu kullanılarak, Fortran'da program yazılmıştır. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum, titanyum ve çelik plakalarda sıcaklık dağılımları tespit edilmiştir. Daha sonra, laser nokta kaynağı yapılmış olan bu bindirme bağlantısının gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılmıştır. Bu aşamada,

bu tür problemlerin çözümünde etkili bir metot olan sonlu eleman metodu kullanılmıştır. Bütün analizler genel amaçlı sonlu eleman yazılımı olan ANSYS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler alüminyum, titanyum ve çeliğin, deneysel gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) neticelerine dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Laser tarafından neden olunan delik etrafında ortaya çıkan elastik, plastik, ısıl gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) dağılımları incelenmiştir.

Apalak ve arkadaşları tarafından (2001) yapılan çalışmada, epoksi türü bir yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış çok ince metal plakaların, laser nokta kaynağı esnasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve delik şeklinin oluşumu incelenmiştir. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum, titanyum ve çelik plakalarda sıcaklık dağılımları tespit edilmiştir.

Sayman ve arkadaşları (2002) ısıl elastik-plastik gerilme analizini, çelik tellerle takviye edilmiş yüksek yoğunluklu polietilen matrikse sahip kompozit bir kiriş için yapmışlardır. Analiz, analitik olarak ve geliştirilen bir yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları çalışmada, kirişin üst ve alt yüzeyi arasında lineer sıcaklık dağılımı etkisiyle oluşan artık gerilmeler ve sıcaklık etkisiyle meydana gelen plastik şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Mackin (2002) ani frenleme sırasında disk frenlerde oluşan ısıl gerilmelere bağlı kırılma veya çatlak oluşumu üzerine çalışmıştır.

Yapıcı ve arkadaşları (2003), fiber takviyeli tabakalı termoplastik kompozit levhalarda delik-kenar arasında oluşan elasto-plastik gerilmeleri incelemiştir. Bu çalışmada, fiber takviyeli termoplastik delikli kompozit bir levhanın tek yönlü çekmeye maruz kalması durumunda delik çapına bağlı olarak levhalarda delikten kenara kadar meydana gelen artık gerilmeler incelenmiştir.

Özer ve arkadaşları (2004) düzlemsel yüklenmiş ortasında dairesel delik bulunan kompozit plakta oluşan elastik gerilmelerin analizini yapmıştır. Bu çalışmada, elastik gerilme analizlerini incelemiş ve çalışmayı sonlu elemanlar yöntemi kullanarak bilgisayar programı tarafından yapmıştır.

Kaynak ve Şen yaptıkları çalışmada (2005), kompozit malzemenin yapısına ve ortotropik malzeme özelliklerine bağlı olarak, iki boyutlu sonlu elemanlar metodu (FEM) ile malzemenin düzgün dağılımlı sıcaklık altındaki ısıl etkilerini incelemişlerdir.

Kompozit malzeme, enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Kompozit, polimer matrise sahiptir ve parçacık şeklindeki cam fiberlerle takviye edilmiştir. Kompozit malzemenin özellikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Modelleme ve analizler ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çallıoğlu ve arkadaşları (2005) kompozit dönen bir diskteki mekanik ve ısıl gerilmeleri hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmada, dönen kompozit disk içten ve dıştan basınç etkisi ve değişen parabolik bir sıcaklık etkisi altındadır. Elde ettikleri sonuçlara göre, teğetsel gerilmelerin, radyal gerilmelerden daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmıştır.

Şen ve arkadaşları (2005), yapmış oldukları çalışmada, $[30^{\circ}/-30^{\circ}]_s$, $[45^{\circ}/-45^{\circ}]_s$ ve $[60^{\circ}/-60^{\circ}]_s$ fiber oryantasyonlarına sahip ortasında dairesel delik bulunan termoplastik kompozit levhada ısıl gerilme analizini gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklık yükü olarak, üniform sıcaklık uygulanmıştır. Üniform sıcaklık tesiriyle oluşan, ısıl gerilmeler incelenmiştir. Problemin modellenmesinde, sonlu elemanlar çözümünde etkin bir paket program olan ANSYS paket programından yararlanılmıştır.

Şen ve Palancıoğlu (2005) yaptıkları çalışmada, $[45^{\circ}/-45^{\circ}]_2$ açılı oryantasyona sahip, basit mesnetli, çelik fiberlerle takviye edilmiş, tabakalı ve dairesel delikli termoplastik kompozitlerde, üniform sıcaklık etkisiyle meydana gelen ısıl gerilmeleri hesaplamışlardır. Oryantasyon açısı olarak simetrik ve antisimetrik düzenleme seçilmiştir. Analizde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu amaçla, çözüm ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Üniform sıcaklık yükü olarak 40 ve 80 °C arasındaki çeşitli değerler seçilmiştir.

Kedward ve arkadaşları (2005) uzay uygulamaları için yapıştırılmış kompozit parçaların tasarımlarını ele almıştır. Sonlu elemanlar tekniği kullanarak, mekanik ve termal yükler altında kayma ve soyma gerilmelerini incelemiştir.

Çallıoğlu ve arkadaşları (2006) kompozit dönen bir disk için elastik-plastik gerilme analizini analitik olarak gerçekleştirmişlerdir. Plastik bölgenin dağılımını görmek için bir kaç farklı açısal hız dikkate alınmıştır. Çalışmada, ayrıca artık gerilmelerde hesaplanmıştır. Hem elastik gerilmeler hem de plastik gerilme analizi sonuçlarına göre diskin iç yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin, diskin dış yüzeyinde meydana gelen gerilmelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kompozit diskin iç

yüzeyinde meydana gelen artık gerilmelerin değerlerinin, diskin dış yüzeyinde meydana gelen artık gerilmelerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Öndürücü ve Topçu yaptıkları çalışmada (2006), basit mesnetli, termoplastik kompozit plaklarda kalınlık boyunca parabolik olarak değişen sıcaklık etkisiyle meydana gelen ısı gerilmeleri ve ısı artık gerilmeleri, elastik-plastik çözüm yöntemi kullanarak bulmuşlardır.

Sayman (2006) çelik fiberlerle takviye edilmiş termoplastik kompozit bir diskteki gerilmeleri elastik-plastik olarak hesaplamıştır. Radyal ve teğetsel gerilmeler uniform sıcaklık dağılımı altında hesaplanmıştır. Kompozit diskin, radyal ve teğetsel doğrultulardaki farklı ısı genleşme katsayılarından dolayı, uniform sıcaklık dağılımı uygulandığında, ısı gerilmeler meydana gelmiştir. Teğetsel gerilmeler, radyal gerilmelerden daha büyük değerlerde hesaplanmıştır. Teğetsel gerilmelerin diskin iç yüzeyinde bası, diskin dış yüzeyinde ise çekme formunda olduğu görülmüştür. Çalışma hem analitik olarak hem de nümerik olarak yapılmış ve her iki çözümde elde değerler benzer olarak elde edilmiştir. Nümerik çözüm için ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

Şen (2006-a) tarafından yapılan çalışmada, simetrik olarak çapraz takviye edilmiş, [0/90]_s ve açılı olarak takviye edilmiş tabakalı kompozit levhalardaki ısı gerilmeler elastik-plastik gerilme analizi ile bulunmuştur. Kompozit plakalara uniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Kompozit malzeme olarak termoplastik matrisin çelik tellerle takviye edilmiş malzeme özellikleri kullanılmıştır. Isı gerilme analizi ANSYS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan uniform sıcaklık artışına ve tabaka dizilişinde bağlı olarak, kompozit malzemelerdeki ısı gerilmelerin değerlerinde artışlar meydana gelmiştir.

Şen (2006-b) tarafından yapılan çalışmada, tek yönlü olarak takviye edilmiş ve çelik tellerle takviye edilmiş termoplastik kompozit bir diskte meydana gelen ısı gerilmeler elde edilmiştir. Modelleme ve çözüm ANSYS programı yardımıyla yapılmıştır. Sıcaklık uniform olarak etki ettirilmiştir ve 80 ile 120 °C arasında farklı sıcaklıkların ısı gerilmeler üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre radyal yöndeki ısı gerilmelerin, teğetsel yöndeki ısı gerilmelerden daha düşük değerlerde olduğu

anlaşlmıştır. Bununla birlikte, ısı gerilmelerin uniform sıcaklık yükünün değişimine bağlı olarak değiştii görülmüştür.

Şen ve Palancıoğlu (2006) yaptıkları çalışmada, çapraz takviye edilmiş kare delikli termoplastik levhalarda ısı gerilme analizini gerçekleştirmişlerdir. Oryantasyon açısı olarak simetrik ve antisimetrik düzenleme yapılmıştır. Analizde, sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu amaçla, çözüm ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Üniform sıcaklık yükü olarak 40 ve 80 °C arasındaki çeşitli sıcaklık değerleri seçilmiştir.

Çallıoğlu (2007), uniform ve lineer gibi azalan veya artan sıcaklıklar etkisindeki dönen kompozit bir diskteki ısı gerilmeleri hesaplamıştır. Döner disk içerisindeki teğetsel ve radyal gerilmeler üç farklı sıcaklık profili için hesaplanmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre, düşük sıcaklıklarda tüm disk için, teğetsel gerilmelerin, radyal gerilmelerden daha büyük değerlerde olduğu fakat sıcaklık arttırıldığında diskin iç yüzeyinde azalma gösterdiği anlaşlmıştır. Yapılan çalışmada, ayrıca radyal şekil değiştirmeler analitik olarak hesaplanmıştır ve tüm sıcaklık yükleri altında diskin dış yüzeyinde daha büyük, iç yüzeyinde daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür.

Şen (2007) tarafından sonlu elemanlar metodu ve ANSYS programı kullanılarak yapılan çalışmada, üzerinde çok sayıda delik bulunan bir kompozit diskin ısı gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, elastik-plastik ve artık gerilmeler hesaplanmıştır. Isı gerilmeler uygulanan uniform sıcaklık yükü tesiriyle oluşturulmuştur. Kompozit malzemenin radyal ve teğetsel doğrultulardaki farklı ısı genleşme katsayıları nedeniyle ısı gerilmelerin meydana geldiği görülmüştür. Isı gerilmelerin ve artık gerilmelerinin değerlerinin uygulanan uniform sıcaklık yüklemelerine bağlı olarak değişim gösterdiği gözlenmiştir.

Kompozit malzemelerde; mekanik etki ile oluşan artık gerilmeler, döner disk üzerinde oluşan gerilmeler, iç ve dış kısımlardan uygulanan kuvvetlerin oluşturduğu gerilmelerin incelenmesi, fiber-matris arasındaki tutunmanın etkileri gibi mekanik bazlı geniş çalışmalar demeti olmasına rağmen ısı davranışlar hakkında yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar, farklı bileşenlerden oluşan kompozitlerin ısı özelliklerinin belirlenmesi, ısı yük altında farklı kaplamaların elastik özelliklere etkisinin incelenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır (Üçsular, 2007).

Şen (2007) tarafından yapılan çalışmada, çelik tellerle farklı oryantasyonlarda takviye edilmiş alüminyum metal-matriksli kompozit plaklarda meydana gelen ısı gerilmeler üzerine, bir kare deliğin etkisi incelenmiştir. Isıl yük olarak farklı değerlerde üniform sıcaklık dağılımları seçilmiştir. Tabakalı kompozit plakalar, dört farklı tabakacığın birleştirilmesi ile meydana getirilmiştir. Tabakaların dizilişi, $[15^{\circ}/-15^{\circ}]_s$, $[30^{\circ}/-30^{\circ}]_s$, ve $[60^{\circ}/-60^{\circ}]_s$ simetrik oryantasyon şeklinde düzenlenmiştir. Modelleme ve çözümde sonlu elemanlar ile analizde etkin bir program olan ANSYS yazılımından yararlanılmıştır. Tabakalı kompozit plağın genişliğinin, kare deliğin boyutlarına oranı olan a/b , 5 olarak seçilmiştir.

Şen (2008) tarafından kompozit disklerle ilgili yapılan bir başka çalışmada, ısı gerilmeler üzerine parabolik sıcaklık değişiminin etkisi incelenmiştir. Çözüm, sonlu elemanlar metodu ve sonlu elemanlar metodu ile çözüm gerçekleştiren ANSYS programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Isıl gerilmelerin parabolik sıcaklık değişimine bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

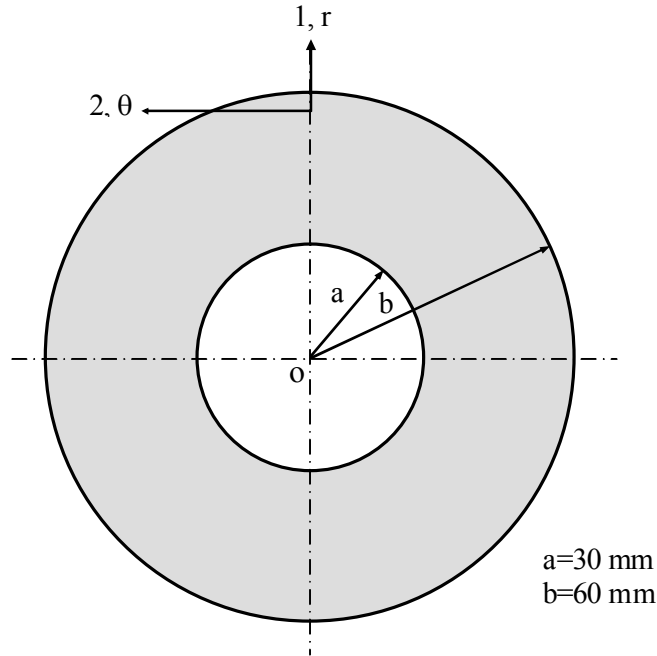
Altan ve Topcu (2010) yaptıkları çalışmada, alüminyum matrise sahip çelik tellerle takviye edilmiş metal-matris bir kompozit diskin elastik gerilme analizini gerçekleştirmişlerdir. Oluşturmuş oldukları modele lineer sıcaklık dağılımı uygulamışlardır. Çözümde numerik ve analitik olmak üzere iki metot uygulamışlardır. Analitik çalışma için bir program geliştirmişler, bununla birlikte nümerik çalışma için Abaqus 6.8 paket programını kullanmışlardır. Yaptıkları analizlerin sonuçlarına göre nümerik ve analitik metotlar oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir.

BÖLÜM III

3. MALZEME ve YÖNTEM

3.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada, ortasında dairesel bir delik olan ve Şekil 3.1’de gösterilen iç çapı $a=30$ mm ve dış çapı $b=60$ mm olan bir kompozit disk modellenmiştir. Kompozit disklerle ilgili daha önce yapılan ve bir kısmı Bölüm 2’de bahsedilen çalışmalarda modelleme ve çözümlerin iki boyutlu olarak yapılmış olduğu görülmektedir. Fakat, bu yeni çalışmada bir yenilik olarak kompozit disk üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modelleme aşamasında kompozit diskin kalınlığı $t=4$ mm olarak varsayılmıştır. Özetle, kompozit diskin modellemesi ve analizler üç boyutlu bir çalışma olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Kompozit diskin 2D şematik gösterimi

3.2. Kompozit Malzeme Özellikleri

Kompozit diskin malzeme özellikleri için literatürden yararlanılmıştır. Bölüm 1’de kompozit malzemelerin çeşitlerinden ve kullanımlarından bahsedilmiştir. Bu bölümden anlaşıldığı üzere, çeşitli takviye elemanları (cam fiber, çelik teller, karbon fiber vb.) ile takviye edilen termoplastik matrise sahip, termoplastik kompozitler oldukça önemli bir kullanım alanına sahiptir. Dolayısıyla, bu çalışmada kompozit malzeme olarak, termoplastik bir kompozit malzeme tercih edilmiştir. Bu nedenle, Çallıoğlu (2007) tarafından yapılan bir çalışmada üretilen malzeme özellikleri kullanılmıştır. Çallıoğlu

(2007), kompozit malzemenin, termoplastik (Nylon 6) matrisin içerisine %40 oranında konulan kısa cam fiberler ile enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretildiğini ifade etmektedir. Ürettiği bu kompozit malzemenin mekanik özelliklerini, deneysel olarak bulmuştur. Tercih edilen kompozit malzeme özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir (Çallıoğlu, 2007). Kompozit malzemenin yoğunluğu $\rho=1.6 \text{ g/cm}^3$ ve ergime derecesi $280 \text{ }^\circ\text{C}$ ’dir (Çallıoğlu, 2007).

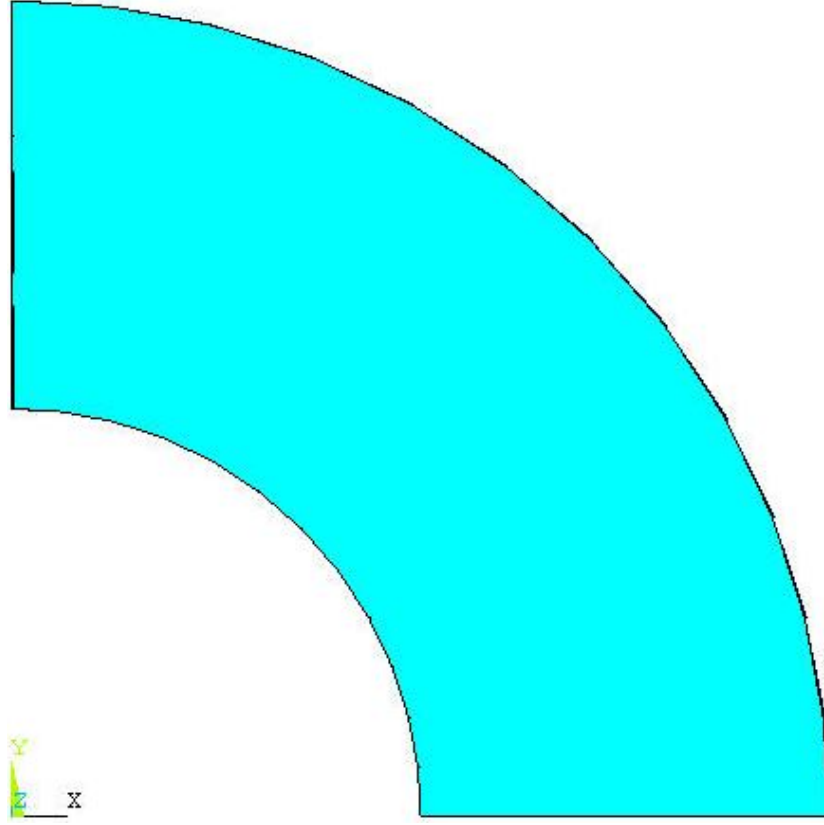
Çizelge 3.1 Kompozit malzemenin özellikleri (Çallıoğlu 2007)

E_1 (MPa)	E_2 (MPa)	G_{12} (MPa)	ν_{12}	X (MPa)	α_1 ($1/^\circ\text{C}$)	α_2 ($1/^\circ\text{C}$)
20000	12000	8000	0.35	235	9×10^{-6}	114×10^{-6}

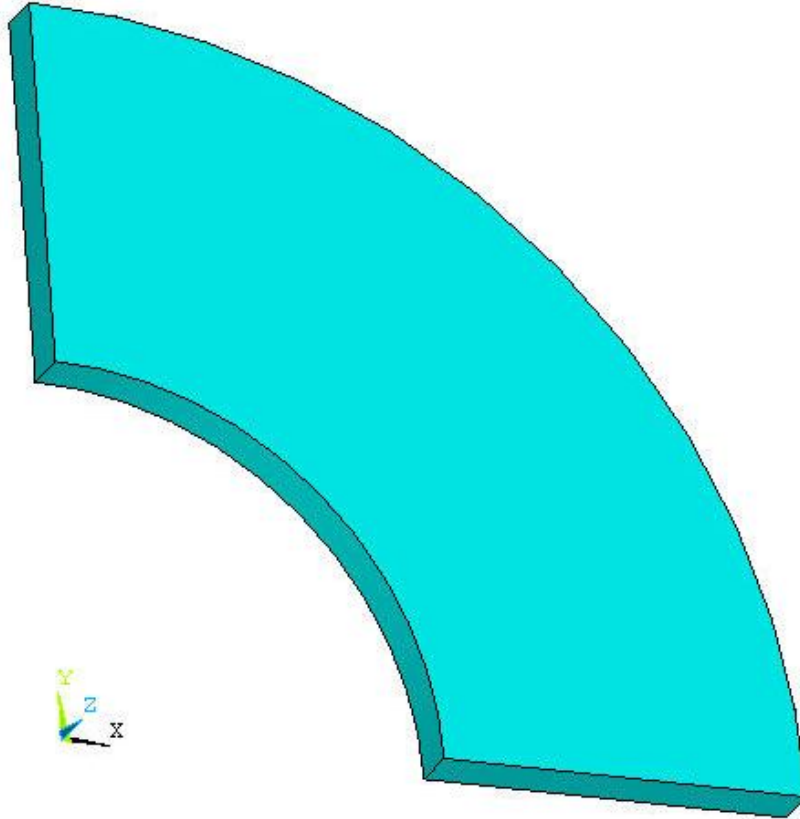
3.3. Sonlu Elemanlar ile Çözüm

Bu çalışmada son yıllarda birçok farklı alanda ve mühendislik problemlerinin çözümünde tercih edilen sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu nedenle, bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS yazılımından yararlanılmıştır. ANSYS programının tercih edilmesinin nedeni hem çeşitli alanlardaki bilimsel çalışmalarda hem çeşitli sektörlerde oldukça fazla kullanıma sahip olmasıdır. Özetlemek gerekirse, bu çalışma için termoplastik matrisli cam fiberlerle takviye edilmiş termoplastik kompozit diskin hem modellenmesi hem de çözümü ANSYS yazılımı marifetiyle gerçekleştirilmiştir.

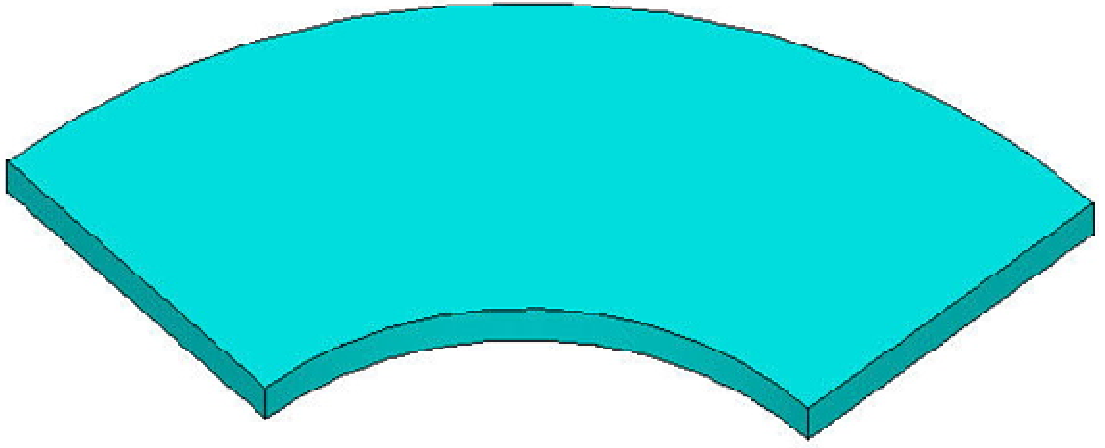
İlk olarak, kompozit diskin üç boyutlu katı modeli yapılmıştır. Oluşturulan üç boyutlu katı disk modeli Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Simetri koşullarından dolayı kompozit diskin sadece $\frac{1}{4}$ kısmı modellenmiştir. Bu işlemle, katı model üzerindeki eleman sayısı ve düğüm noktasının daha az sayıda olması amaçlanmıştır. Eleman sayısı ve düğüm noktası sayısının azaltılması ile çözüm süresinin kısaltılması ve sonuç dosyalarının boyutlarının daha küçük olması amaçlanmıştır. Bu şekilde herhangi bir diskin tamamı yerine sadece bir kısmının modellenerek analizlerinin yapılabilmesi, sonlu elemanlar metodunun ve dolayısıyla ANSYS programının sağladığı önemli bir avantajdır.



a) Disk modelin önden görünüşü

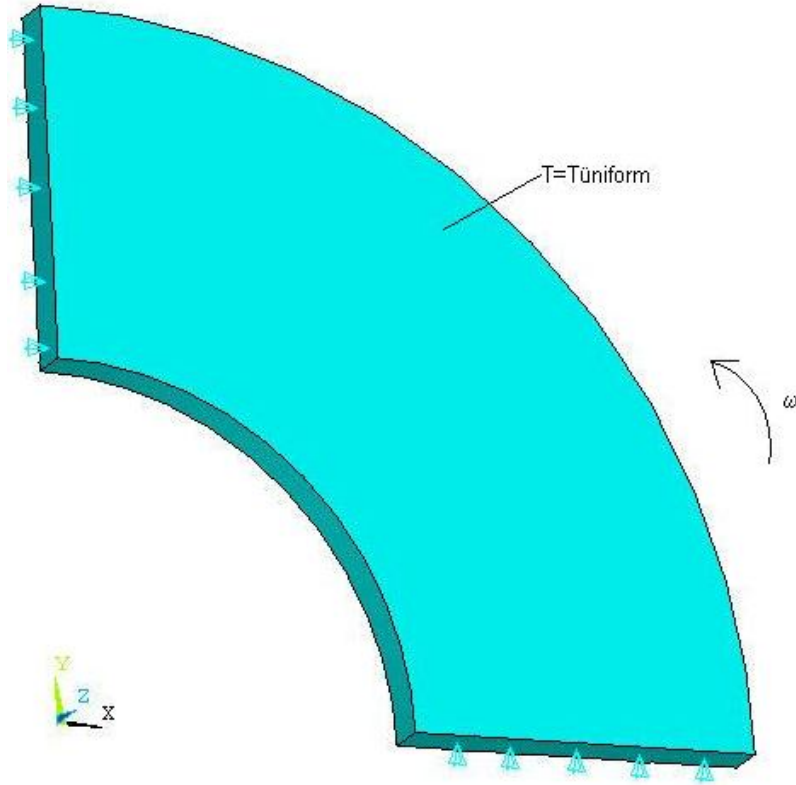


b) Disk modelin üç boyutlu görüntüsü



c) Disk modelin farklı bir yönden üç boyutlu görünüşü

Şekil 3.2 Kompozit diskin oluşturulan katı modeli

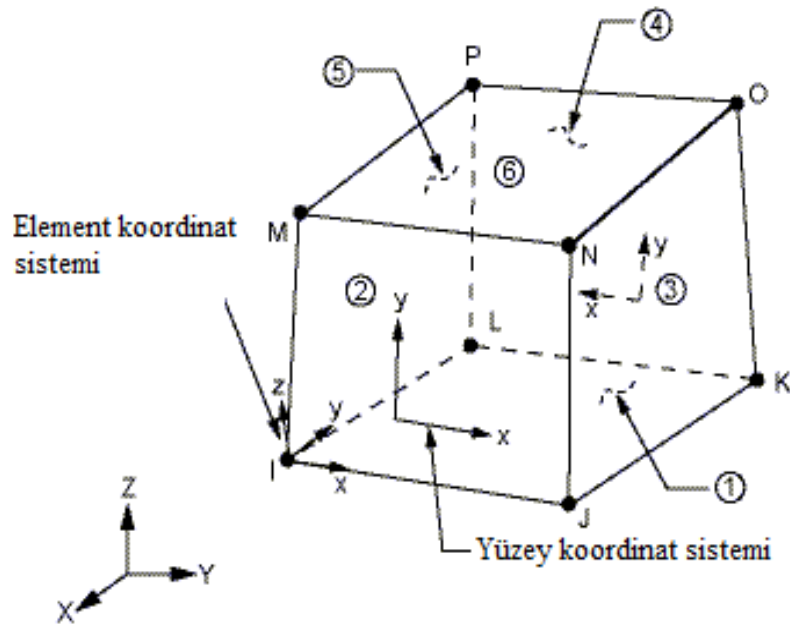


Şekil 3.3 Kompozit disk modeline sınır şartlarının uygulanması

Oluşturulan kompozit disk modeline sınır şartlarının uygulanması Şekil 3.3'te gösterildiği şekilde sınır şartları uygulanmıştır. Bu şekilden görüldüğü gibi diskin $\frac{1}{4}$ 'üne uygun olarak yapısal sınır şartları etki ettirilmiştir. Daha sonra, kompozit disk üzerine

ısı yük olarak üniform sıcaklık yükü etki ettirilmiştir. Gerçek uygulamalarda tek yük yerine genellikle iki ve daha fazla yükün kompozit diskleri etki ettiği bilinmektedir. Problemin çözümünün gerçek şartlara daha uygun olması amaçlandığından dolayı, uygulanan üniform sıcaklık yüküne ilave olarak kompozit diskin bir dönme hareketine sahip olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle, sırasıyla belirli üniform sıcaklıklar etkisindeki kompozit diske, ikinci yük olarak çeşitli değerlerde açısal hızlar (ω) etki ettirilmiştir.

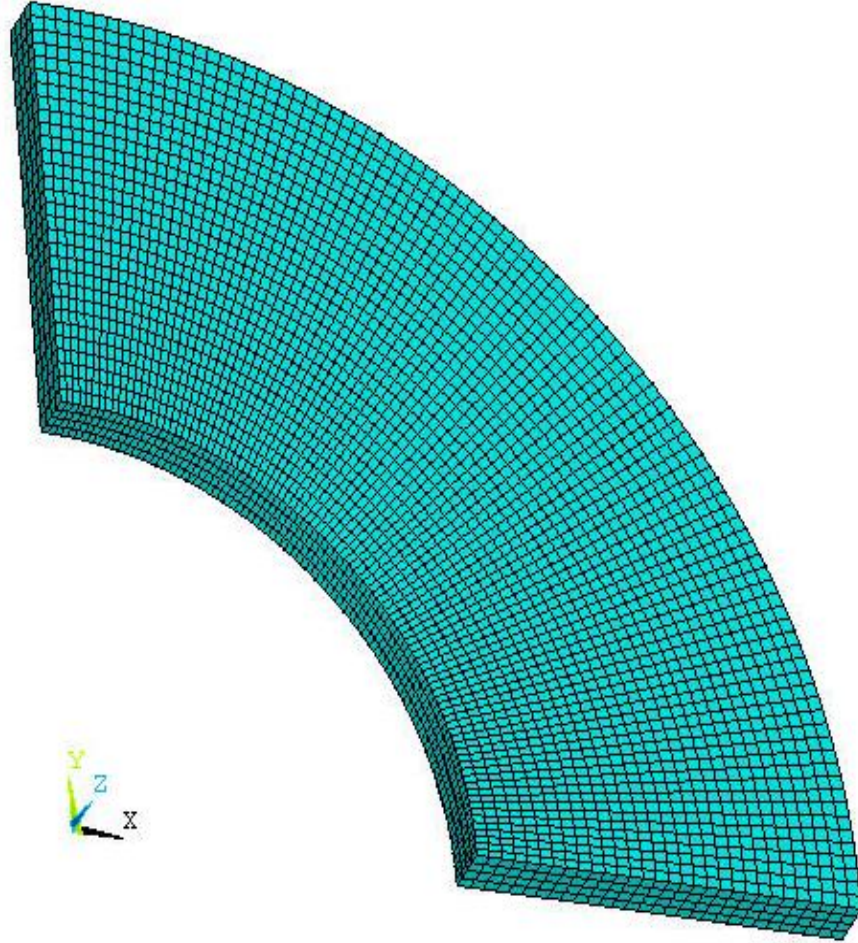
Katı modelin oluşturulması ve sınır şartlarının modele uygulanmasından sonra, sonlu elemanlarla çözüm yönteminin en önemli safhası olan sonlu elemanlar ağ yapısının elde edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak Şekil 3.4'te görülen SOLID45 eleman tipi seçilmiştir. Bu eleman tipi, üç boyutlu modele uygun olarak, üç boyutlu ağ yapısının oluşturulmasına imkan verecek olan bir eleman tipidir.



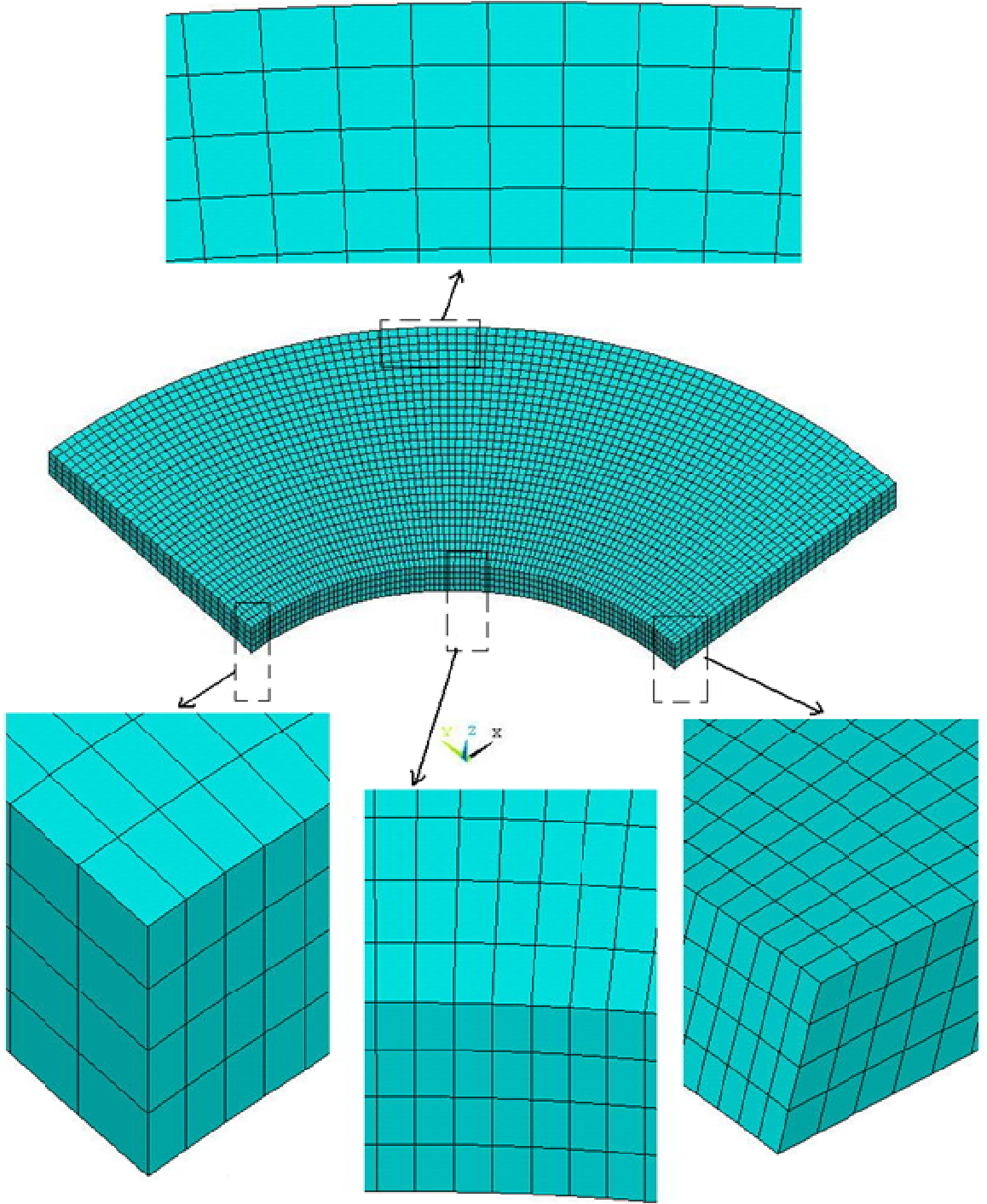
Şekil 3.4 SOLID45 eleman tipi (ANSYS)

Uygun eleman tipinin seçilmesinden sonra, kompozit diskin sonlu elemanlara bölme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmüş hali Şekil 3.5-a'da gösterilmiştir. Şekil 3.5-b'de ise model üzerindeki bazı kısımlar büyütülmüş olarak gösterilmiştir. Şeklin bu şekilde detaylandırılması ile disk üzerinde oluşturulan sonlu elemanlar ağ yapısının daha iyi görülebilmesi ve anlaşılabilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 3.5' ten açıkça görüldüğü üzere dörtgen elemanlardan oluşturulmuş düzgün bir ağ yapısı model üzerinde elde edilmiştir. Burada bilinmesi gereken önemli bir husus, kompozit diskin dairesel yapısı ve iç kısmında oluşturulan dairesel deliğin varlığı nedeniyle düzgün dörtgen elemanlardan oluşan düzgün bir ağ yapısı elde etmek oldukça güçtür. Fakat bu çalışmada, ANSYS programının sağladığı bazı özel avantajlardan yararlanmak suretiyle, bu şekilde düzgün bir ağ yapısının elde edilmesi mümkün olmuştur. Kompozit disk modelin sonlu elemanlara bölme işlemi sonucunda, $\frac{1}{4}$ kompozit disk modeli üzerinde, 11400 eleman ve 14480 düğüm noktası üretilmiştir.



a) Modelin sonlu elemanlara bölünmüş hali



b) Sonlu elemanlara bölünmüş modelin büyütülmüş görüntüleri

Şekil 3.5 Kompozit diskin oluşturulan sonlu elemanlar ağ yapısı

BÖLÜM IV

4. BULGULAR

4.1 Giriş

Daha önceki bölümlerde; kompozit malzemeler, literatürdeki kompozit disklerle ilgili çalışmalar, üç boyutlu kompozit diskin modellenmesi ve model üzerinde üç boyutlu ağ yapısının oluşturulması aşamalarından bahsedildi. Bu bölümde ise ısı etkisinde bir dönmeye sahip olan termoplastik kompozit ve üç boyutlu bir diskin gerilme analizi sonucunda elde edilen bulgulardan bahsedilecektir. Tekrar ifade etmek gerekirse bu bulgular, bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS yazılımı kullanılarak, üç boyutlu modellemeler ve analizler yapılarak elde edilmiştir.

Üç boyutlu kompozit diske, üç farklı açısal hız değeri uygulanmıştır. Böylece diskin her bir analizde, bir dönmeye sahip olduğu varsayılmıştır. Bu açısal hızların değerleri 10, 20 ve 30 rad/sn olarak seçilmiştir. Her bir açısal hız değeri verilmiş olan kompozit diske, farklı değerlerde uniform sıcaklıkların etki ettiği varsayılmıştır. Bu uniform sıcaklıklar belirli oranlarda arttırılarak uygulanmıştır. Sıcaklık yükü olarak, üç boyutlu kompozit disk üzerine sırasıyla 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105 ve 115 °C uniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Birlikte uygulanan her bir açısal hız ve uniform sıcaklıklar tesiriyle üç boyutlu kompozit disk üzerinde oluşan ısıl gerilmeler ve ısıl şekil değiştirmelerin değerleri ve dağılımları elde edilmiştir.

4.2 Farklı uniform sıcaklıklar ve 10 rad/sn dönme hızında elde edilen bulgular

İlk olarak, 10 rad/sn açısal hıza sahip farklı uniform sıcaklıklar etkisindeki kompozit disk için hesaplanan normal gerilmelerin değerleri Çizelge 4.1’de listelenmiştir. Kompozit diskin iç ve dış yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin, basma ve çekme şeklinde değişiklikler gösterdiği gözlenmiştir. Bu nedenle, bu çizelgede analizlerden elde edilen değerler listelenirken, gerilme ve şekil değiştirme bileşenlerinin, iç yüzey ve dış yüzey değerlerinin verilmesi uygun görülmüştür. Çizelgede eksili değerler gerilmenin basma formunda meydana geldiğini ifade etmektedir.

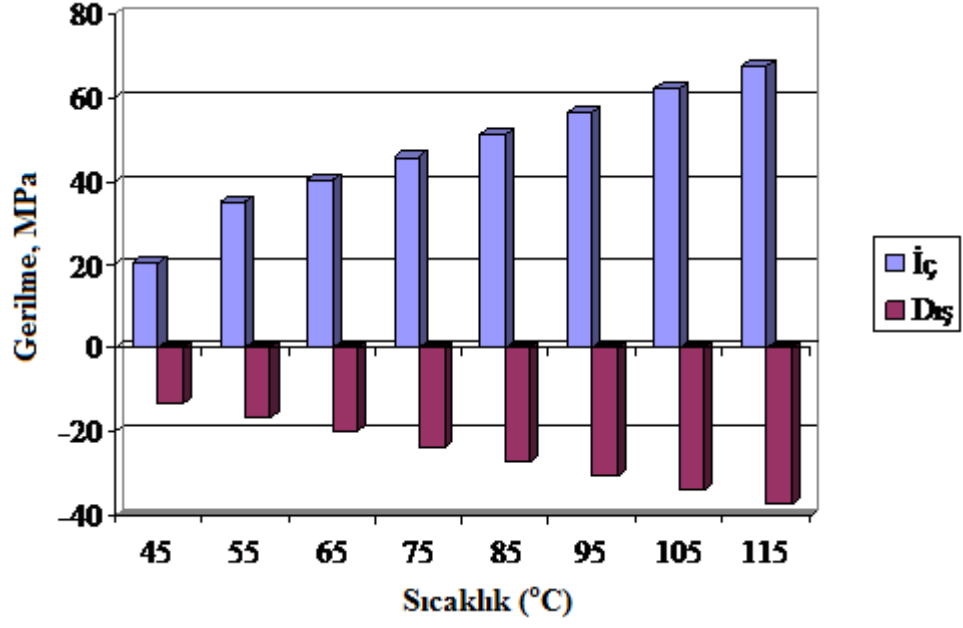
Bu çizelgeden görüldüğü gibi ısıl gerilmelerin mutlak değer olarak değerleri, uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, modellenen kompozit disk için en düşük gerilmeler uygulanan 45 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerlikli gerilmeler 115 °C uniform sıcaklık etkisinde iken hesaplanmıştır. Sonuç

olarak, 115 °C üniform sıcaklık yükü için çekme ve basma şeklindeki en yüksek ısıl gerilme değerleri sırasıyla 67,71 MPa ve -37,22 MPa olarak hesaplanmıştır.

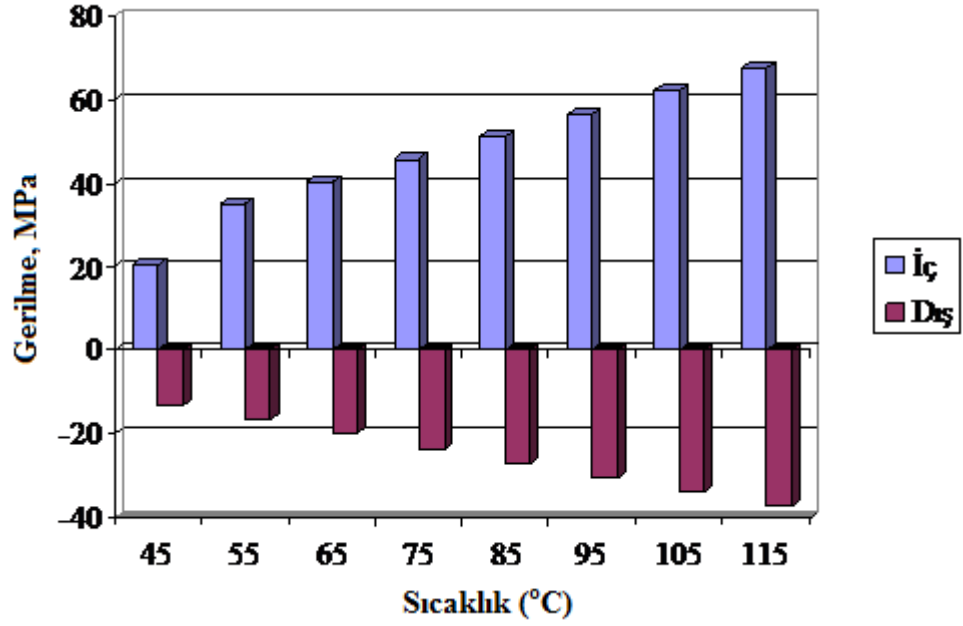
Çizelge 4.1. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak 10 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

Açısal hız (rad/s)	Sıcaklık (°C)	Yüzey	Normal Gerilmeler (MPa)		
			σ_r	σ_θ	σ_z
10	45	İç	20,47	20,47	0,1380
		Dış	-13,21	-13,21	0,0374
	55	İç	34,94	34,94	0,1654
		Dış	-16,64	-16,64	0,0368
	65	İç	40,403	40,403	0,1928
		Dış	-20,07	-20,07	0,0426
	75	İç	45,86	45,86	0,2203
		Dış	-23,50	-23,50	0,0484
	85	İç	51,32	51,32	0,2478
		Dış	-26,93	-26,93	0,0542
	95	İç	56,79	56,79	0,2753
		Dış	-30,36	-30,36	0,0599
	105	İç	62,25	62,25	0,3028
		Dış	-33,79	-33,79	0,0657
	115	İç	67,71	67,71	0,3302
		Dış	-37,22	-37,22	0,0715

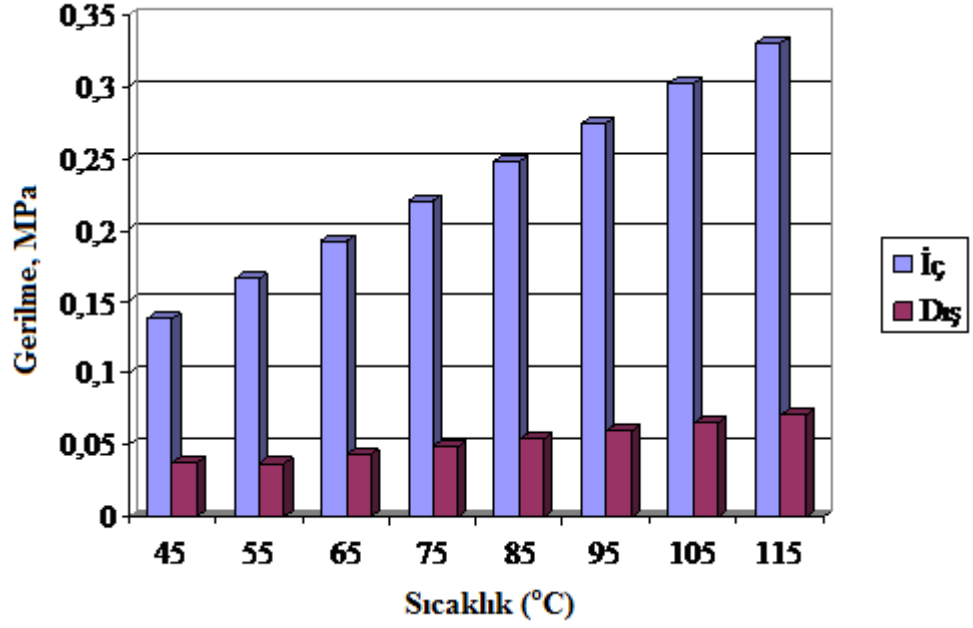
Uygulanan üniform sıcaklıklar ve 10 rad/s açısal hıza bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler; radyal yöndeki (σ_r), teğetsel yöndeki (σ_θ) ve z yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Çizelge 4.1’de listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, üniform sıcaklık yükündeki artışa bağlı olarak, ısıl gerilmelerde meydana gelen artış, açıkça görülebilmektedir. Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin, radyal ve teğetsel yönlerde hesaplanan gerilmelerin değerlerinden çok daha küçük hatta ihmal edilebilecek değerlerde olduğu görülmektedir.



a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)



b) Teğetsel yöndeki normal gerilme (σ_θ)

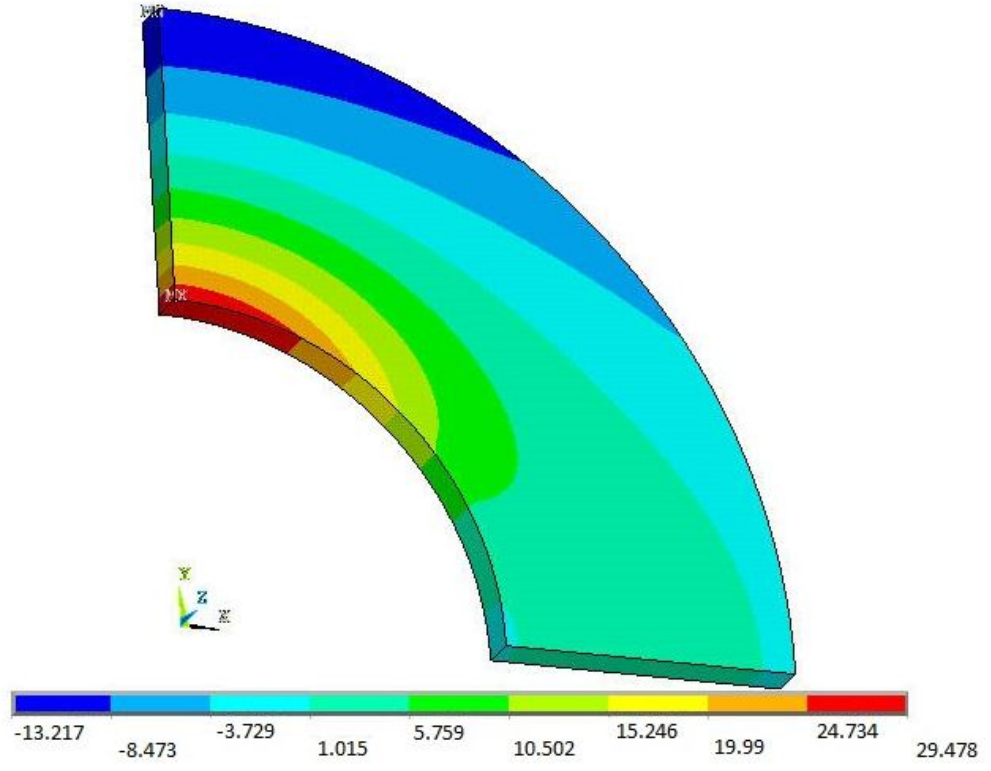


c) z yönündeki normal gerilme (σ_z)

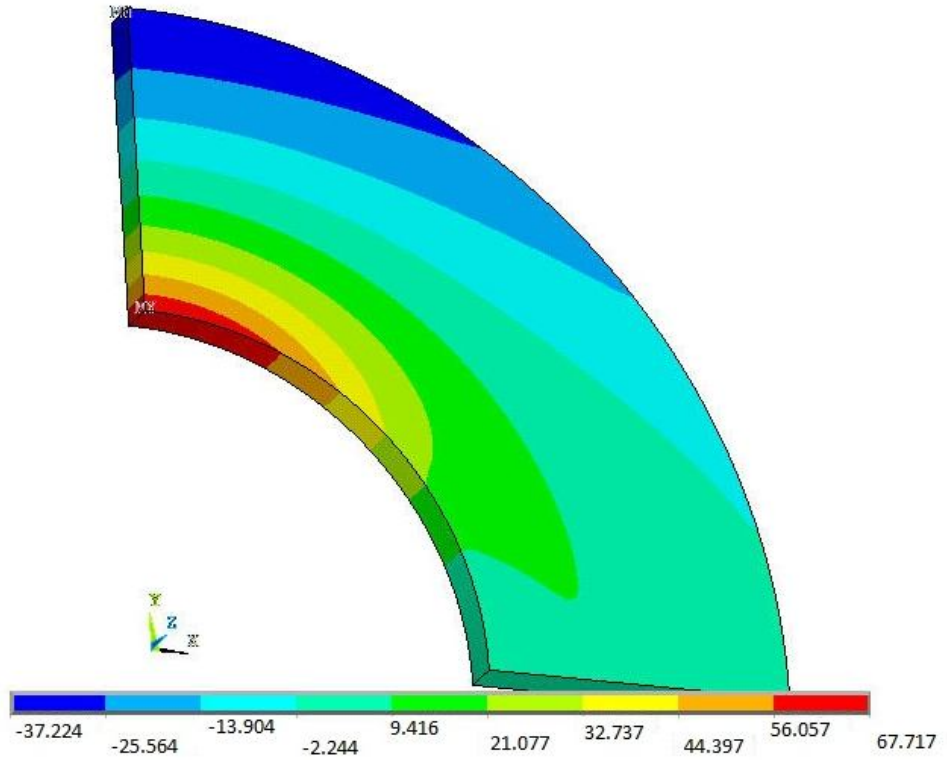
Şekil 4.1. 10 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler

ANSYS sonlu elemanlar yazılımının önemli avantajlarından bir tanesi de kompozit disk üzerinde elde edilen gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin renkli konturlar ile gösterilebilmesine imkan tanınmasıdır. Böylece, kompozit disk üzerinde gerilme yığılmalarının olduğu bölgeler rahatlıkla belirlenebilmektedir. Her bir analiz için renkli kontur ile sonuç verilmesi yerine 10 rad/sn dönme hızında, sadece 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar uygulandığında elde edilen normal gerilme dağılımları sırasıyla radyal, teğetsel ve z-yönleri için Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'ten diskin iç yüzeyinde çekme gerilmeleri dış yüzeyinde ise basma gerilmeleri meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bu şekillerden ayrıca çekme gerilmelerinin değerlerinin mutlak değer olarak basma gerilmelerinden daha büyük değerlerde olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.4'te ise z-yönünde elde edilen gerilmelerin değerlerinin, radyal ve teğetsel doğrultularda elde edilen gerilmelerden daha düşük olduğu ve dağılımının diğer yönler için elde edilen gerilme dağılımlarından çok farklı olduğu görülmektedir.

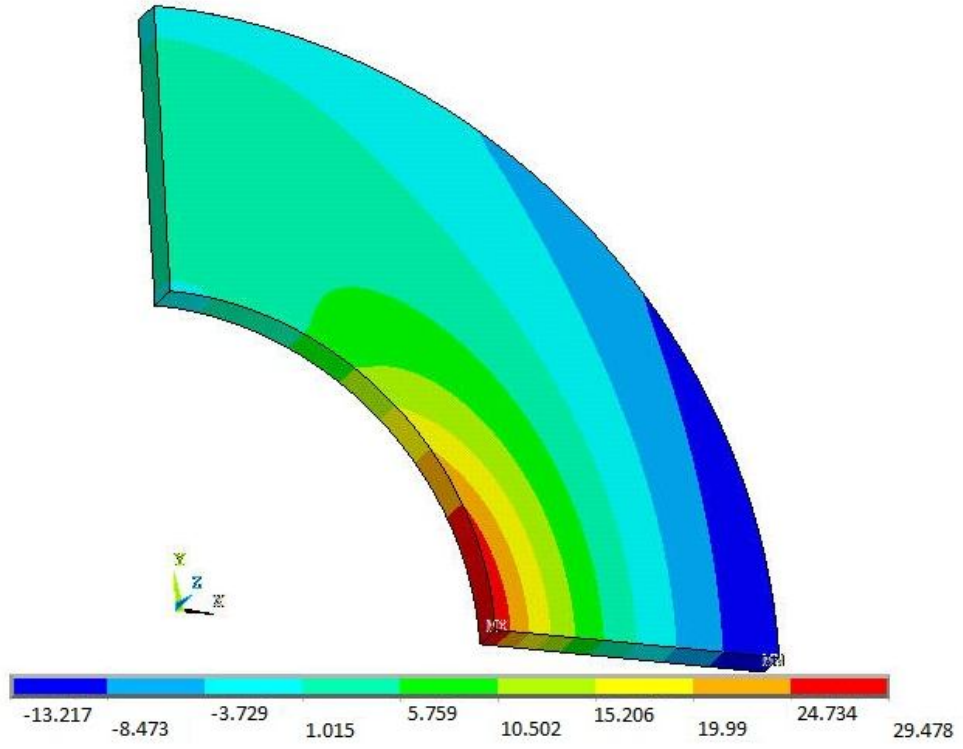


a) 45 °C

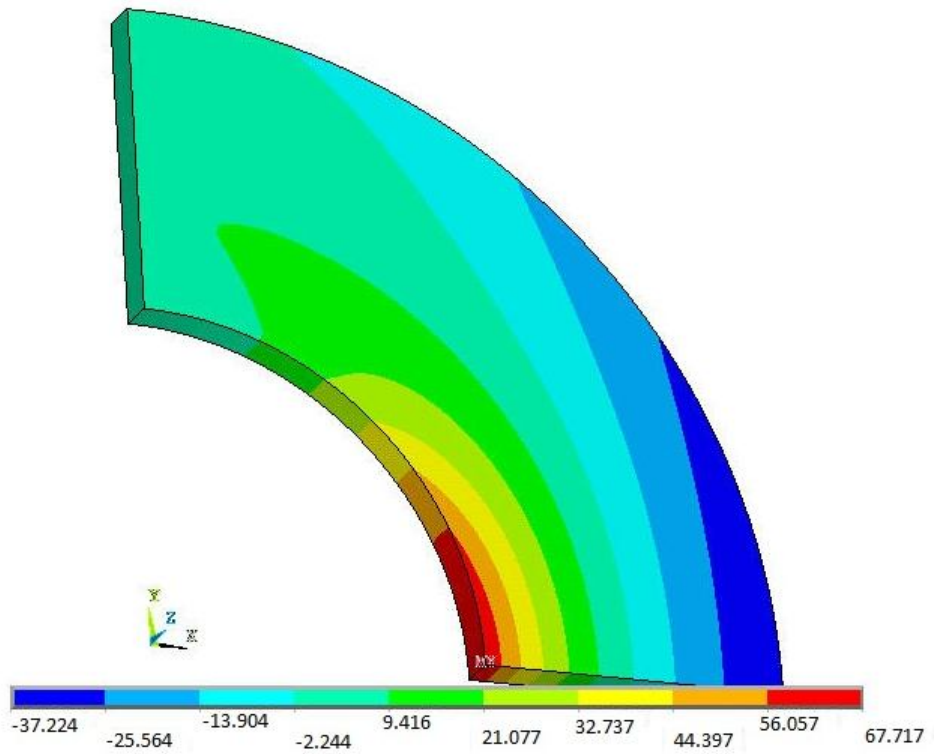


b) 115 °C

Şekil 4.2. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında radyal yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_r)

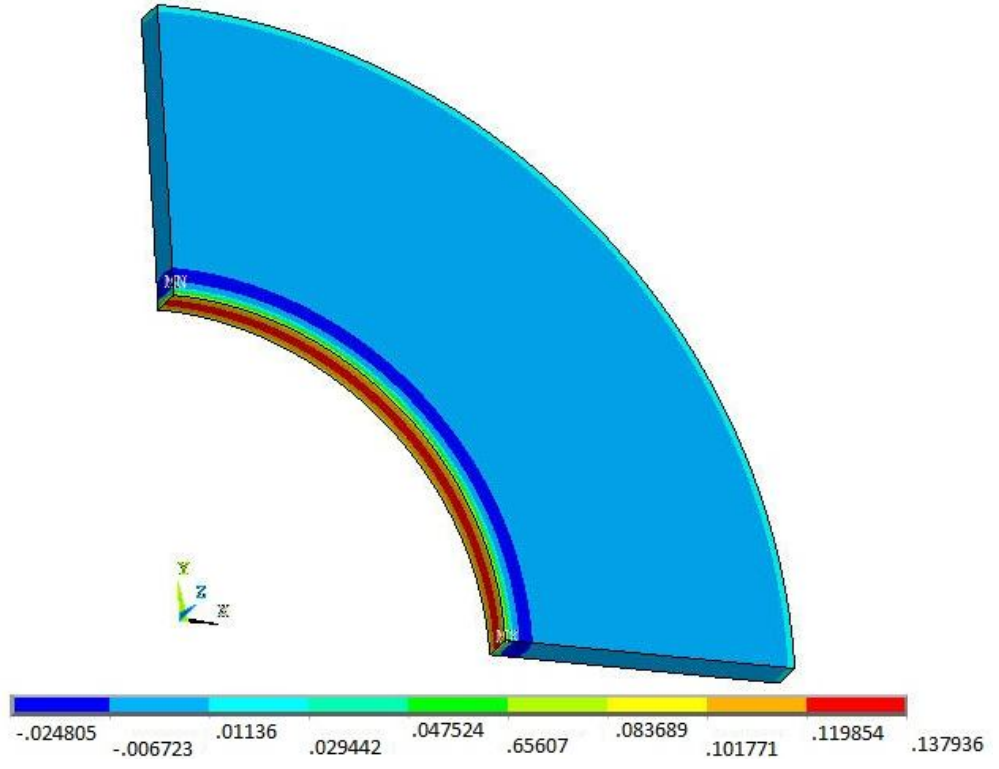


a) 45 °C

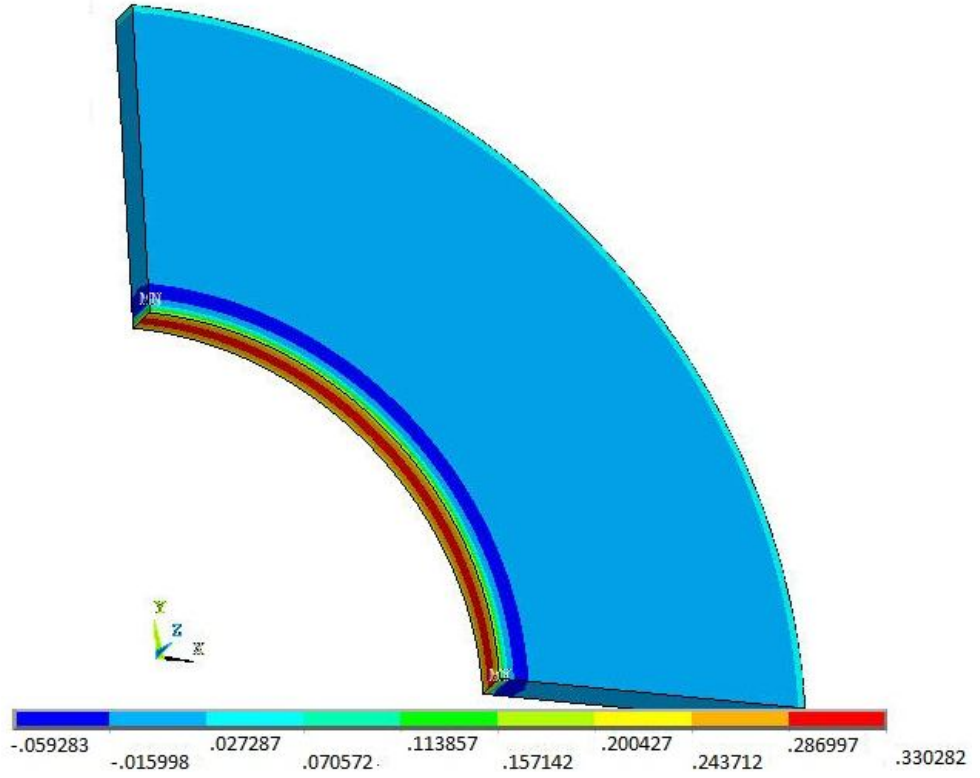


b) 115 °C

Şekil 4.3. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında teğetsel yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_{θ})



a) 45 °C



b) 115 °C

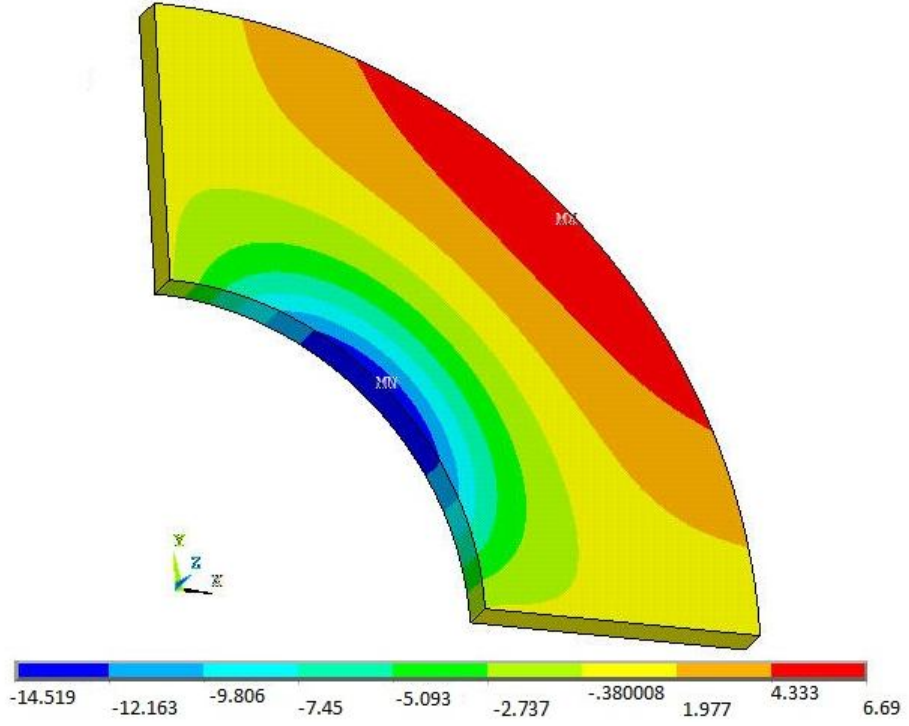
Şekil 4.4. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında z yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_z)

Normal gerilmelerde olduğu gibi, 10 rad/sn dönme hızında 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar uygulandığında elde edilen kayma gerilmeleri $\tau_{r\theta}$, τ_{rz} , ve $\tau_{\theta z}$ 'in üç boyutlu kompozit disk üzerindeki dağılımları sırasıyla, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

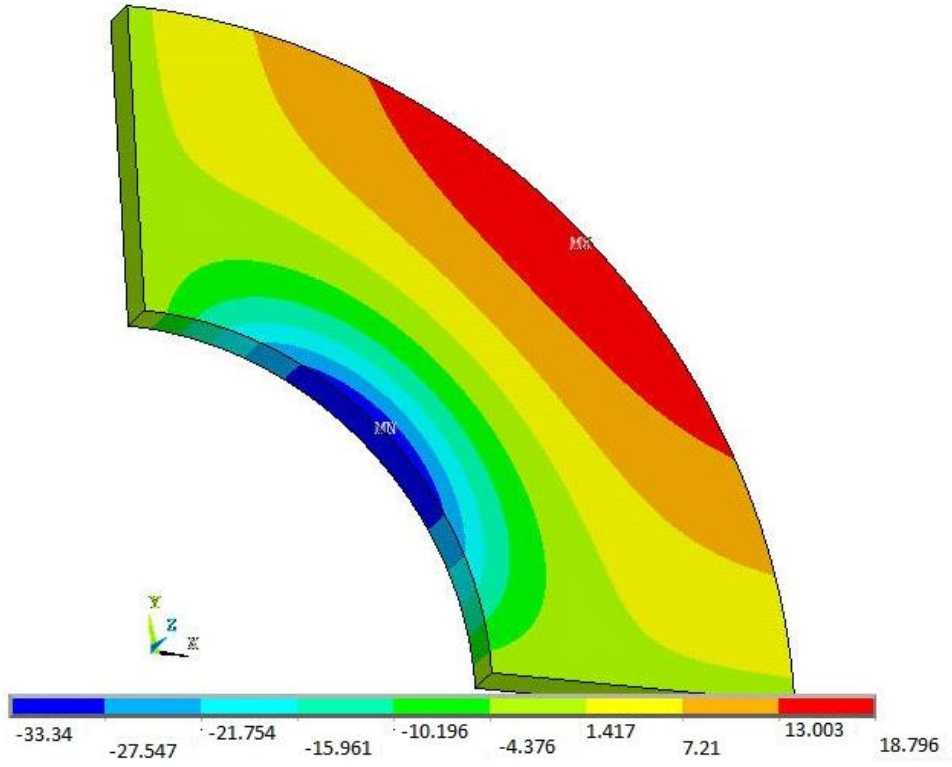
Mutlak değer olarak dikkate alındığında, basma şeklindeki kayma gerilmelerinin değerlerinin, çekme formundaki kayma gerilmelerinden daha yüksek değerlerde olduğu görölmektedir. Kompozit diskin dış yüzeyinde çekme şeklinde kayma gerilmeleri meydana gelirken, iç yüzeyinde ise basma şeklinde kayma gerilmeleri oluşmuştur.

10 rad/sn dönme hızında 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar etkisindeki üç boyutlu kompozit disk üzerinde radyal, teğetsel ve z-yönlerinde meydana gelen elastik şekil değiştirmelerin dağılımları, sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Bu şekillerden, z-yönünde meydana gelen elastik şekil değiştirmelerin (Şekil 4.10) değerlerinin, radyal (Şekil 4.8) ve teğetsel (Şekil 4.9) yönlerde elde edilen elastik şekil değiştirmelerin değerlerinden daha düşük olduğu görölmektedir. Ayrıca, z-yönündeki elastik şekil değiştirmelerin disk üzerindeki dağılımı, radyal ve teğetsel doğrultudaki elastik şekil değiştirme dağılımlarından oldukça farklıdır.

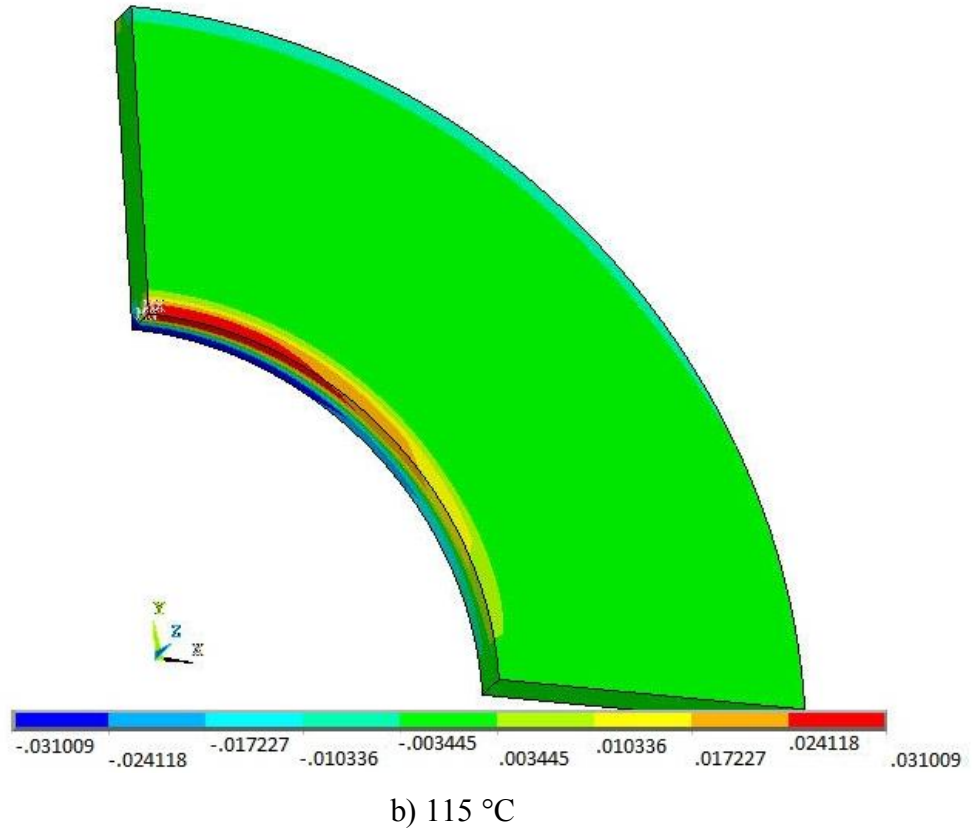
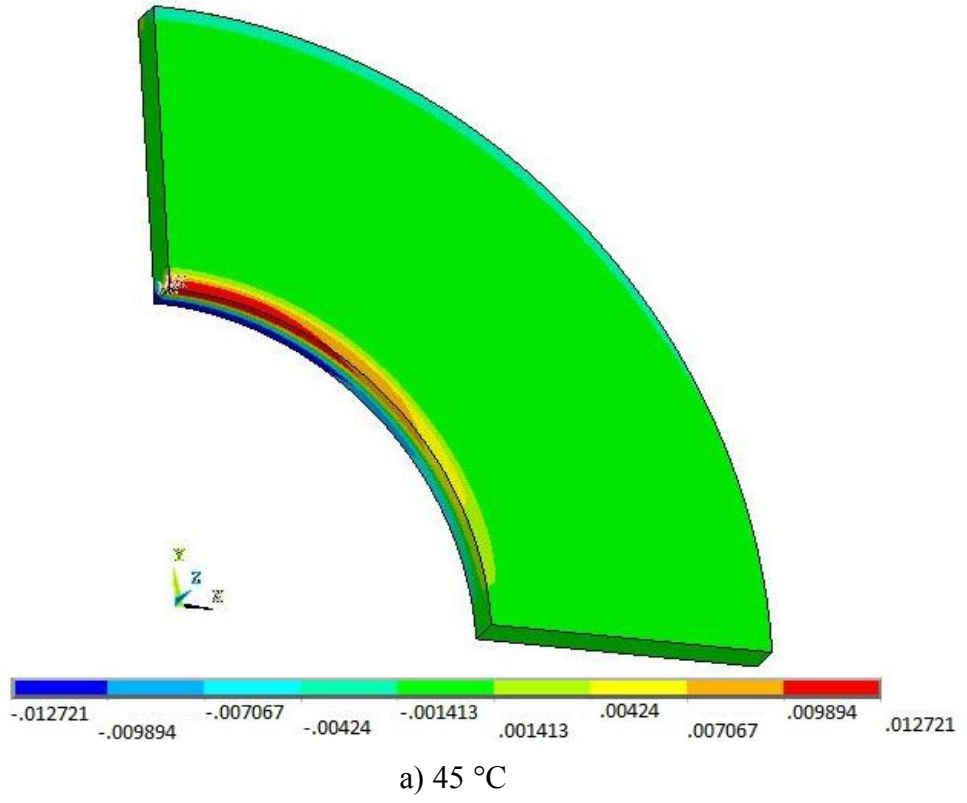


a) 45 °C

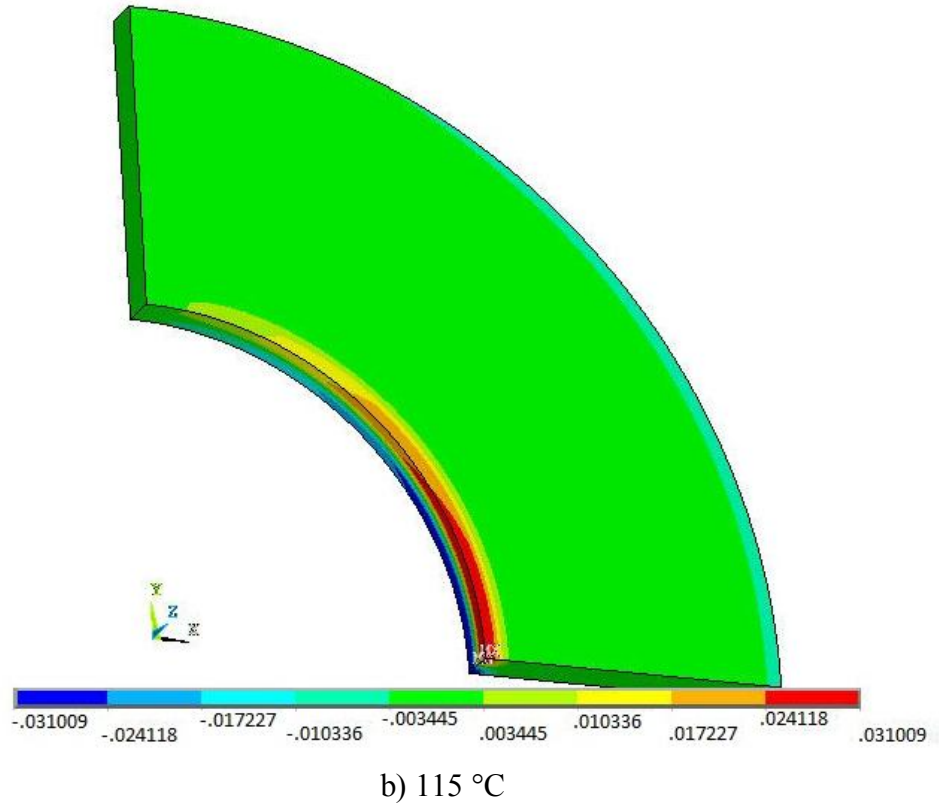
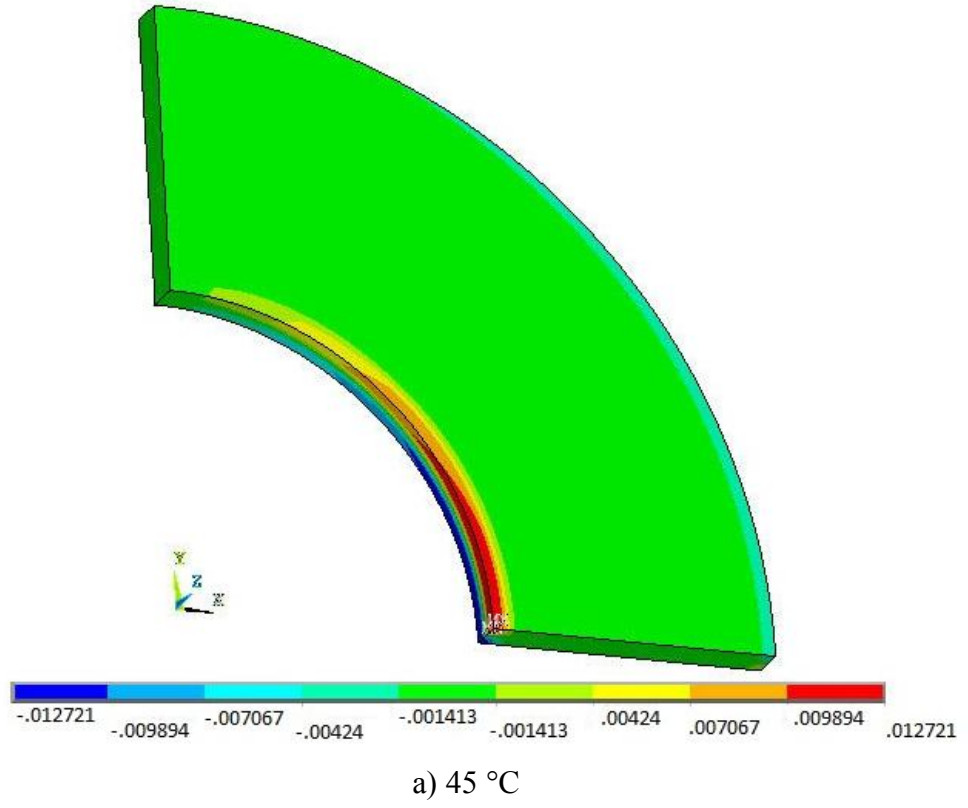


b) 115 °C

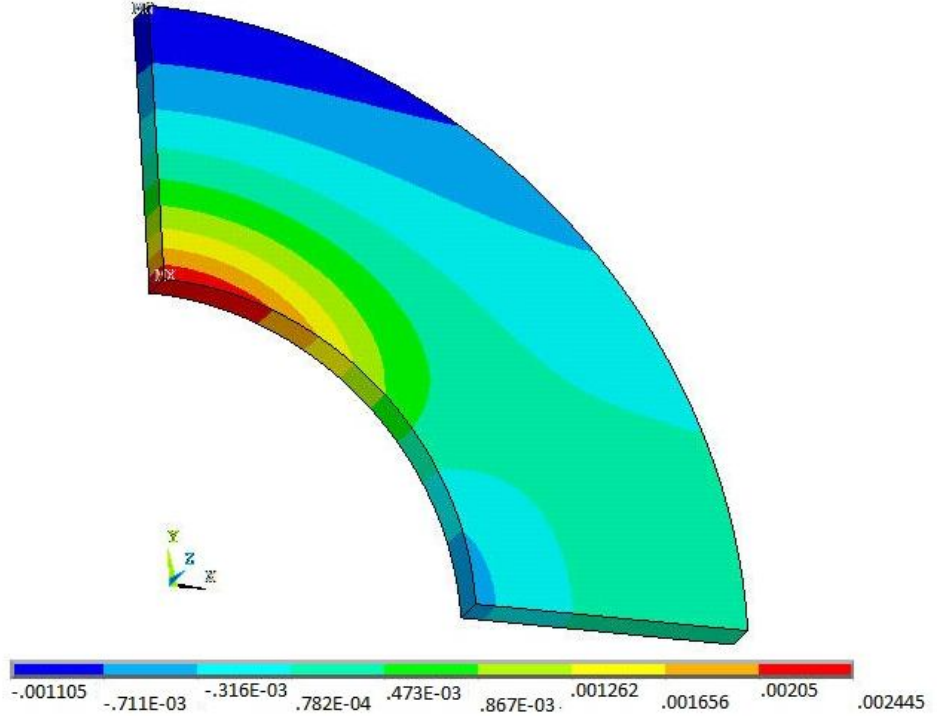
Şekil 4.5. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmeleri ($\tau_{r\theta}$)



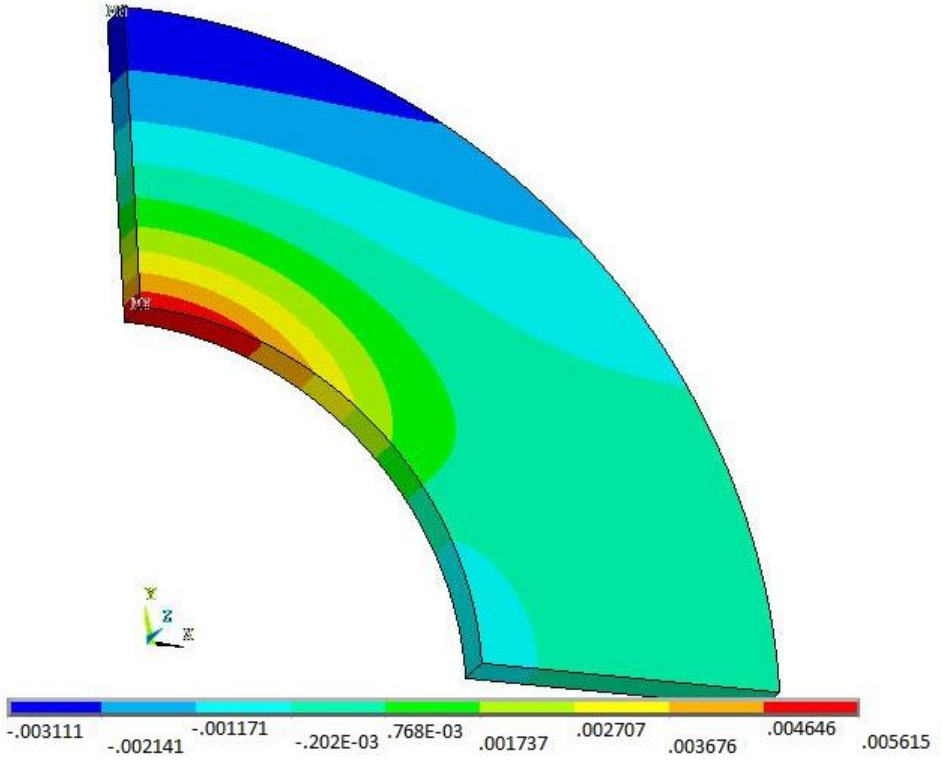
Şekil 4.6. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmeleri (τ_{rz})



Şekil 4.7. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmeleri ($\tau_{\theta z}$)

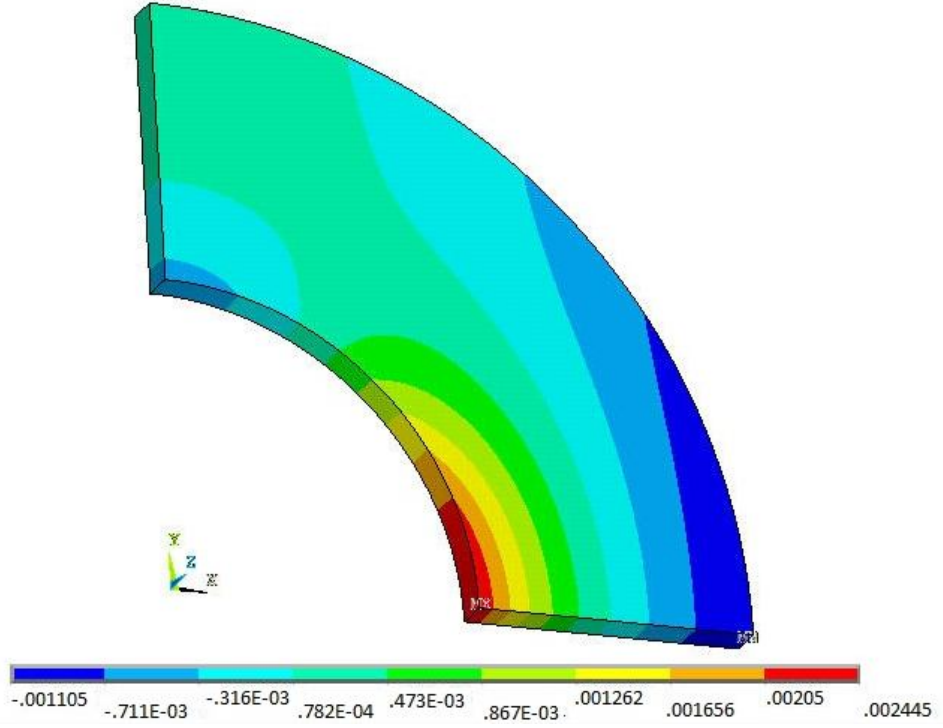


a) 45 °C

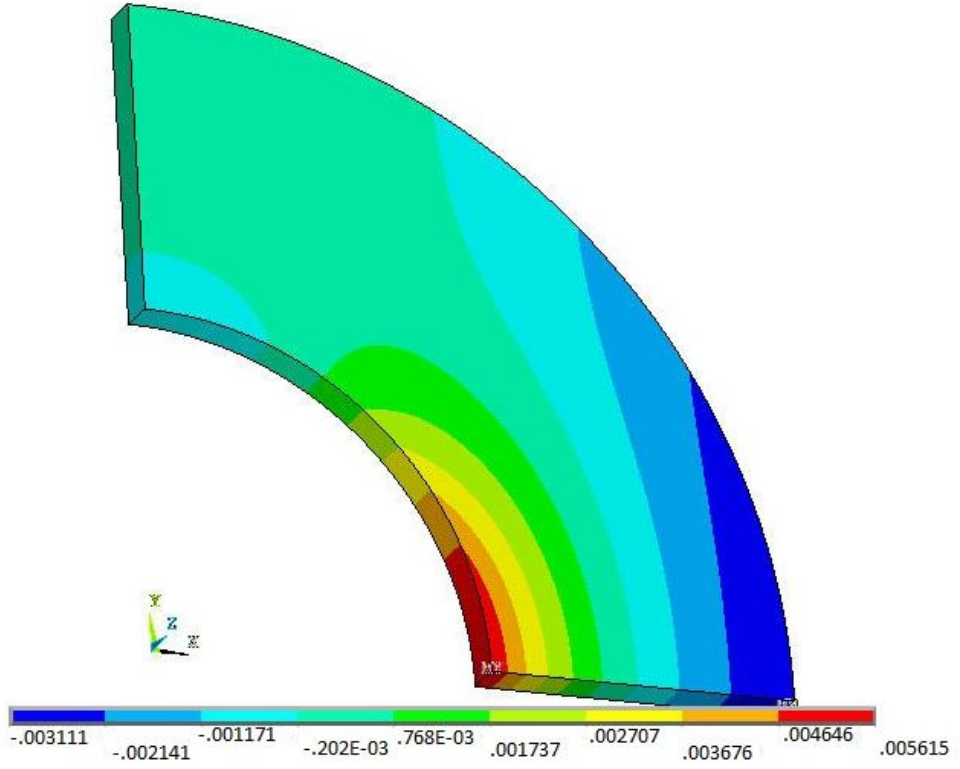


b) 115 °C

Şekil 4.8. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değıştirme (ϵ_r)

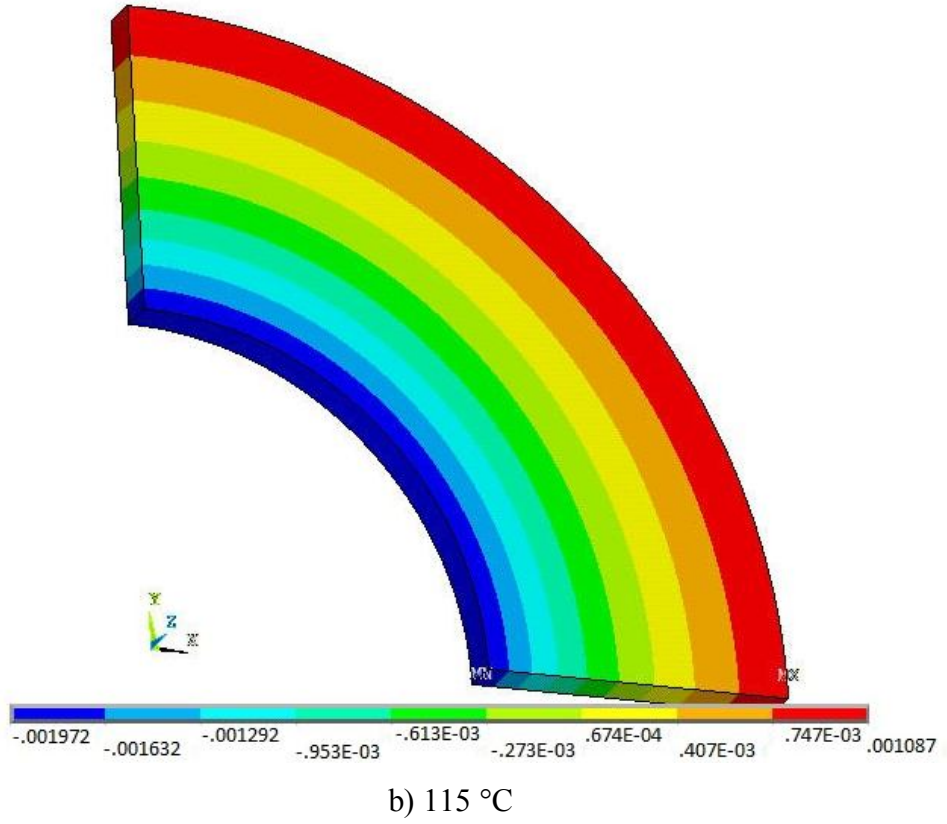
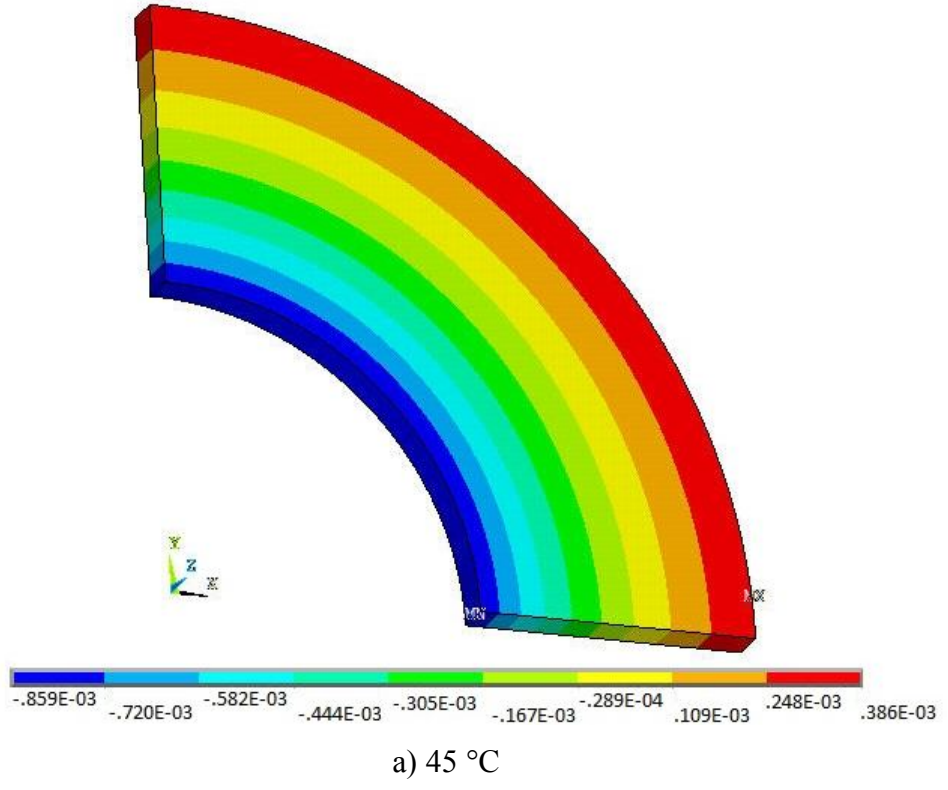


a) 45 °C



b) 115 °C

Şekil 4.9. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_0)



Şekil 4.10. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 10 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değıştirme (ϵ_z)

4.3 Farklı uniform sıcaklıklar ve 20 rad/sn dönme hızında elde edilen bulgular

İkinci olarak, 20 rad/sn açısal hıza sahip farklı uniform sıcaklıklar etkisindeki üç boyutlu kompozit disk için hesaplanan normal gerilmelerin değerleri Çizelge 4.2’de listelenmiştir. Kompozit diskin iç ve dış yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin basma ve çekme şeklinde değişiklikler gösterdiği gözlenmiştir. Bu nedenle, bu çizelgede analizlerden elde edilen değerler listelenirken, gerilme ve şekil değiştirme bileşenlerinin, iç yüzey ve dış yüzey değerlerinin verilmesi uygun görülmüştür.

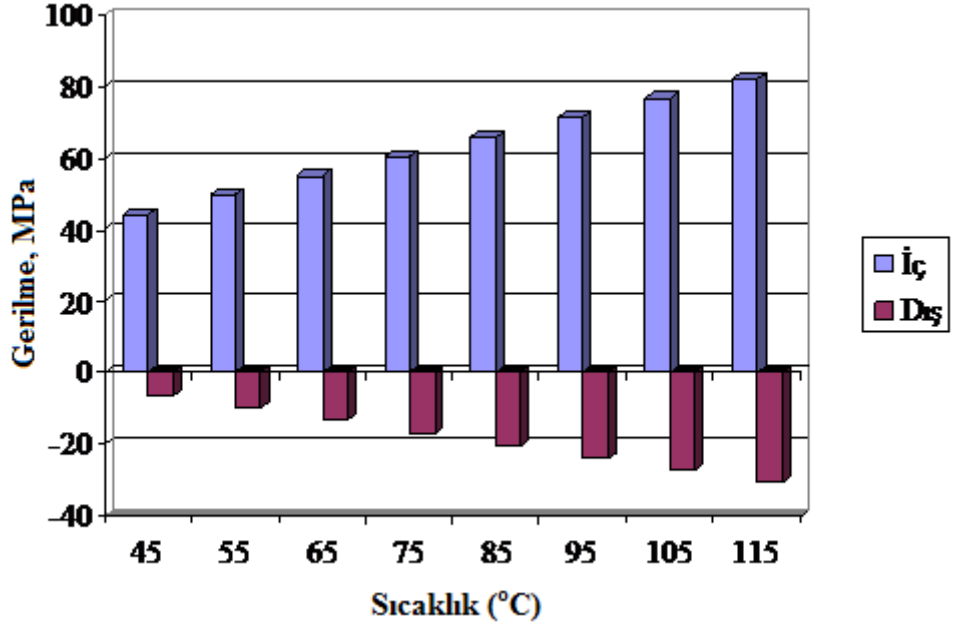
Çizelge 4.2.Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 20 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

Açısal hız (rad/s)	Sıcaklık (°C)	Yüzey	Normal Gerilmeler (MPa)		
			σ_r	σ_θ	σ_z
20	45	İç	44,16	44,16	0,1807
		Dış	-6,568	-6,568	0,0463
	55	İç	49,62	49,62	0,2082
		Dış	-9,99	-9,99	0,0520
	65	İç	55,09	55,09	0,2357
		Dış	-13,42	-13,42	0,0578
	75	İç	60,55	60,55	0,2632
		Dış	-16,85	-16,85	0,0636
	85	İç	66,01	66,01	0,2907
		Dış	-20,28	-20,28	0,0694
	95	İç	71,47	71,47	0,3181
		Dış	-23,71	-23,71	0,0752
	105	İç	76,94	76,94	0,3456
		Dış	-27,14	-27,14	0,0809
	115	İç	82,40	82,40	0,3731
		Dış	-30,57	-30,57	0,0867

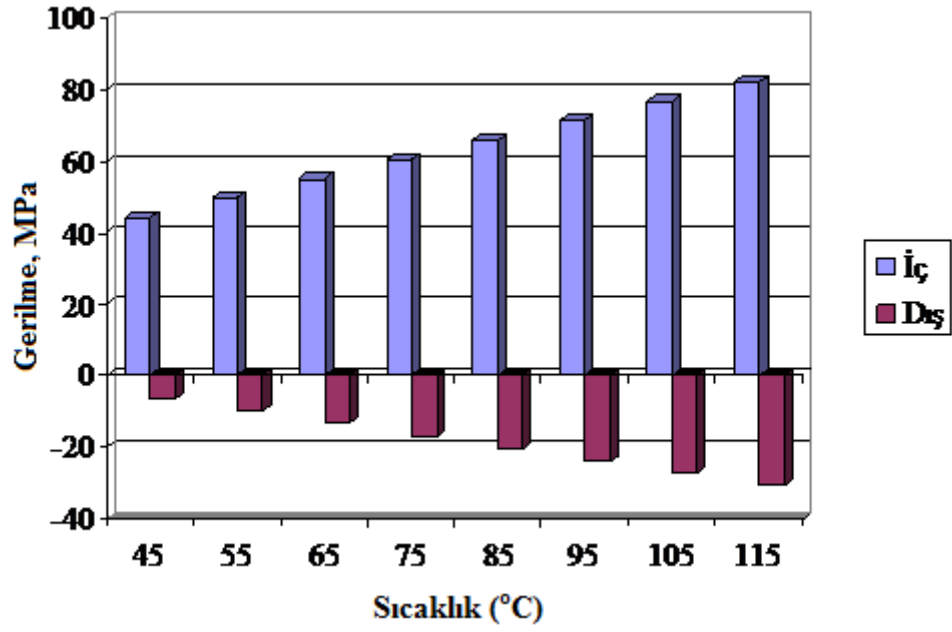
Bu çizelgeden görüldüğü gibi gerilmelerin değerlerinin uygulanan üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle, en düşük ısıl gerilmeler, 45 °C üniform sıcaklık yükü için hesaplanırken en yüksek ısıl gerilmeler 115 °C üniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 115 °C üniform sıcaklık yükü için

çekme ve basma şeklindeki en yüksek ısıl gerilme değerleri sırasıyla 82,40 MPa ve -30,57 MPa olarak hesaplanmıştır.

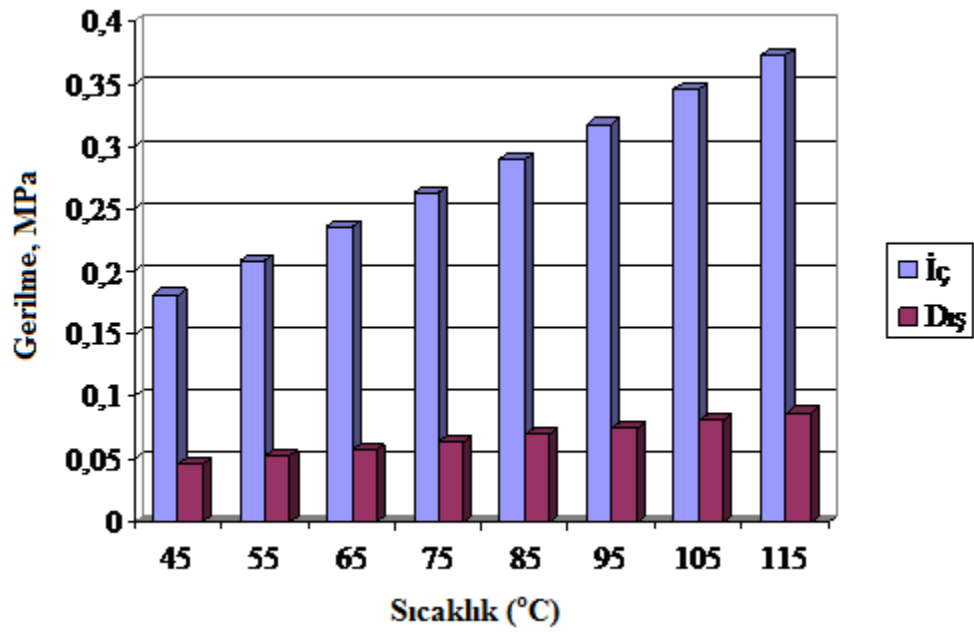
Uygulanan uniform sıcaklıklar ve 20 rad/s açısal hıza bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler; radyal yöndeki (σ_r), teğetsel yöndeki (σ_θ) ve z yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Çizelge 4.2’de listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, uniform sıcaklık yükündeki artışa bağlı olarak, ısıl gerilmelerde meydana gelen artış açıkça görülebilmektedir. Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin radyal ve teğetsel gerilmelerden çok daha küçük hatta ihmal edilebilecek değerlerde olduğu görülmektedir.



a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)



b) Teğetsel yöndeki normal gerilme (σ_0)



c) z yönündeki normal gerilme (σ_z)

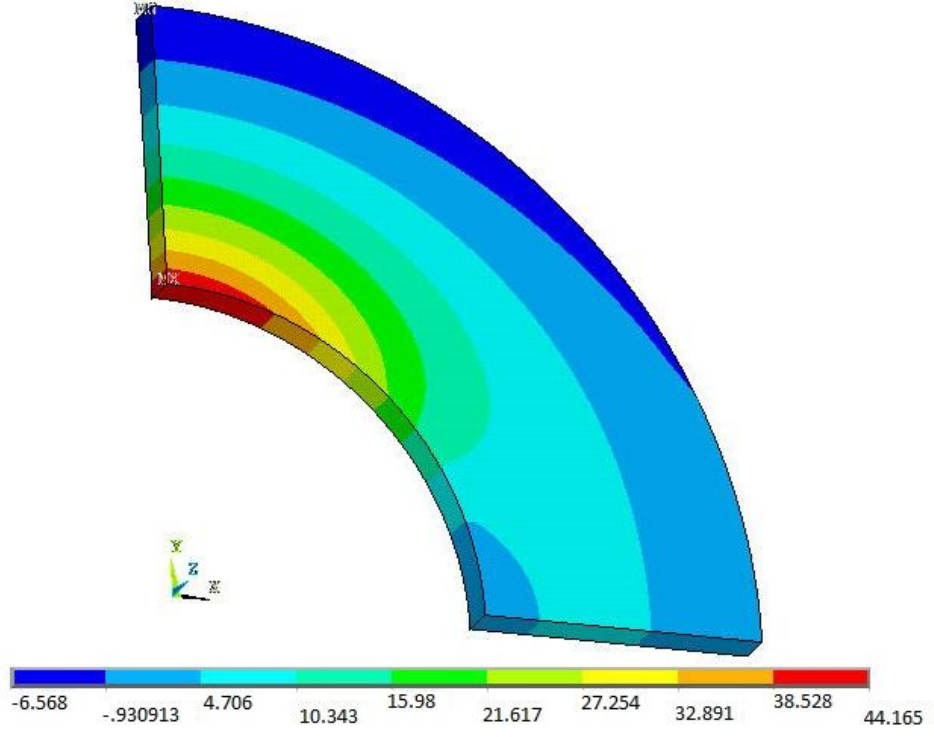
Şekil 4.11. 20 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler

20 rad/sn dönme hızında, 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar uygulandığında elde edilen normal gerilme dağılımları sırasıyla radyal, teğetsel ve z-yönleri için Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'ten diskin iç yüzeyinde çekme gerilmeleri dış yüzeyinde ise basma gerilmeleri meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bu şekillerden ayrıca çekme gerilmelerinin değerlerinin mutlak değer olarak basma gerilmelerinden daha büyük değerlerde olduğu anlaşılmaktadır.

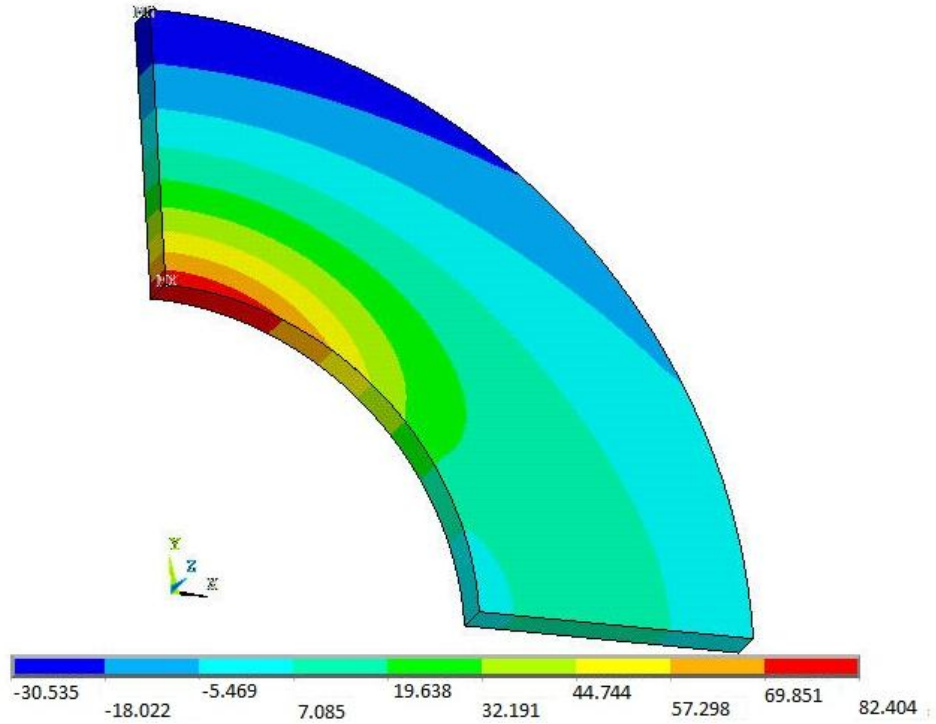
20 rad/sn dönme hızında 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar uygulandığında elde edilen kayma gerilmeleri $\tau_{r\theta}$, τ_{rz} , ve $\tau_{\theta z}$ 'in üç boyutlu kompozit disk üzerindeki dağılımları sırasıyla, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Mutlak değer olarak dikkate alındığında, basma şeklindeki kayma gerilmelerinin değerlerinin, çekme formundaki kayma gerilmelerinden çok daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. Kompozit diskin dış yüzeyinde çekme şeklinde kayma gerilmeleri meydana gelirken, iç yüzeyinde ise basma şeklinde kayma gerilmeleri oluşmuştur.

20 rad/sn dönme hızında 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar etkisindeki üç boyutlu kompozit disk üzerinde radyal, teğetsel ve z-yönlerinde meydana gelen elastik şekil değiştirmelerin dağılımları, sırasıyla Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

Bu şekillerden, z-yönünde meydana gelen elastik şekil değiştirmelerin (Şekil 4.20) değerlerinin, radyal (Şekil 4.18) ve teğetsel (Şekil 4.19) yönlerde elde edilen elastik şekil değiştirmelerin değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, z-yönündeki elastik şekil değiştirmelerin disk üzerindeki dağılımı, radyal ve teğetsel doğrultudaki elastik şekil değiştirme dağılımlarından oldukça farklıdır.

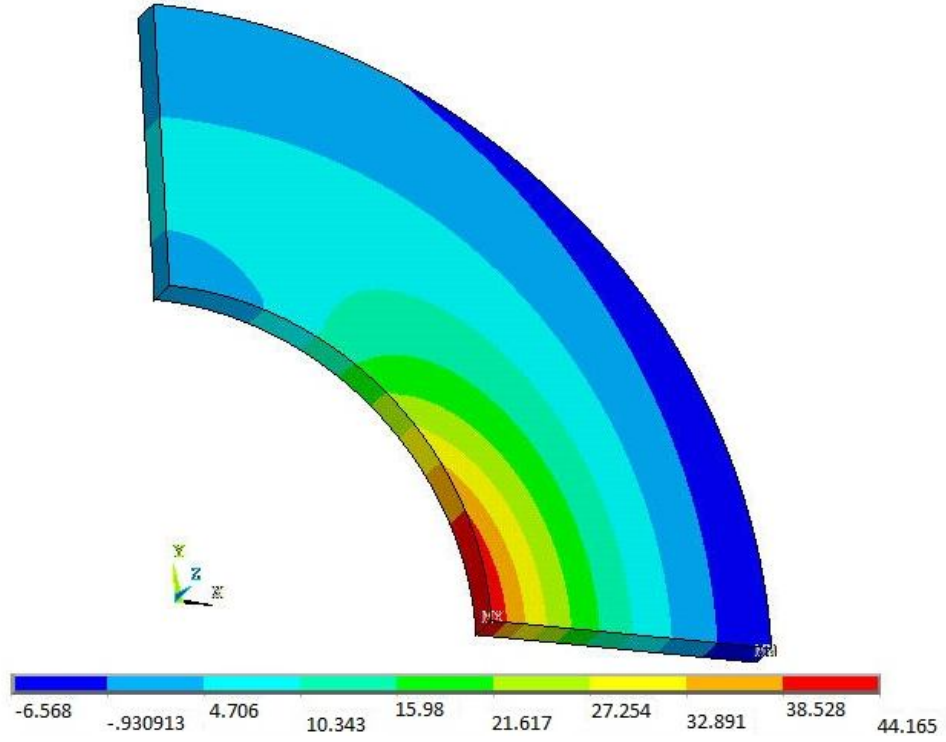


a) 45 °C

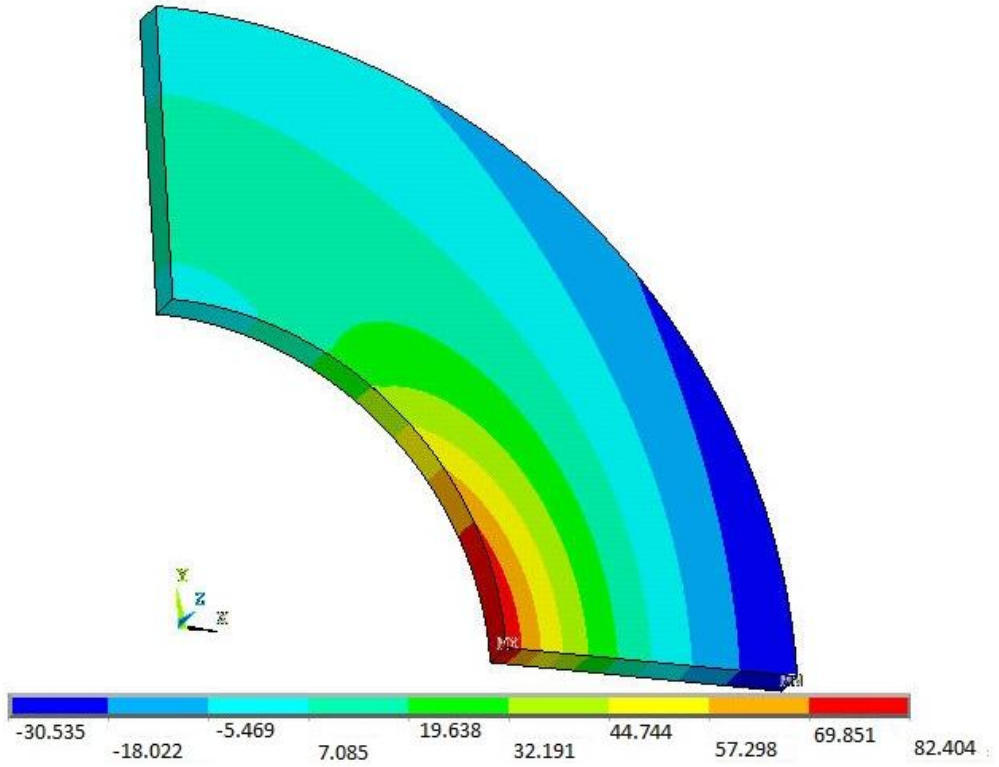


b) 115 °C

Şekil 4.12. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında radyal yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_r)

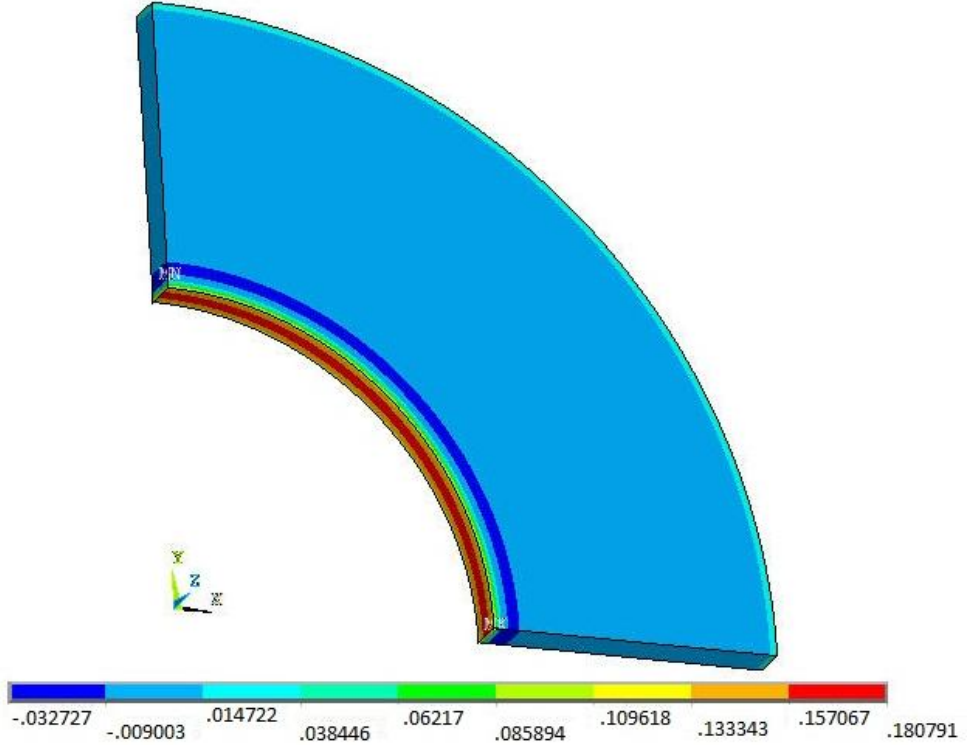


a) 45 °C

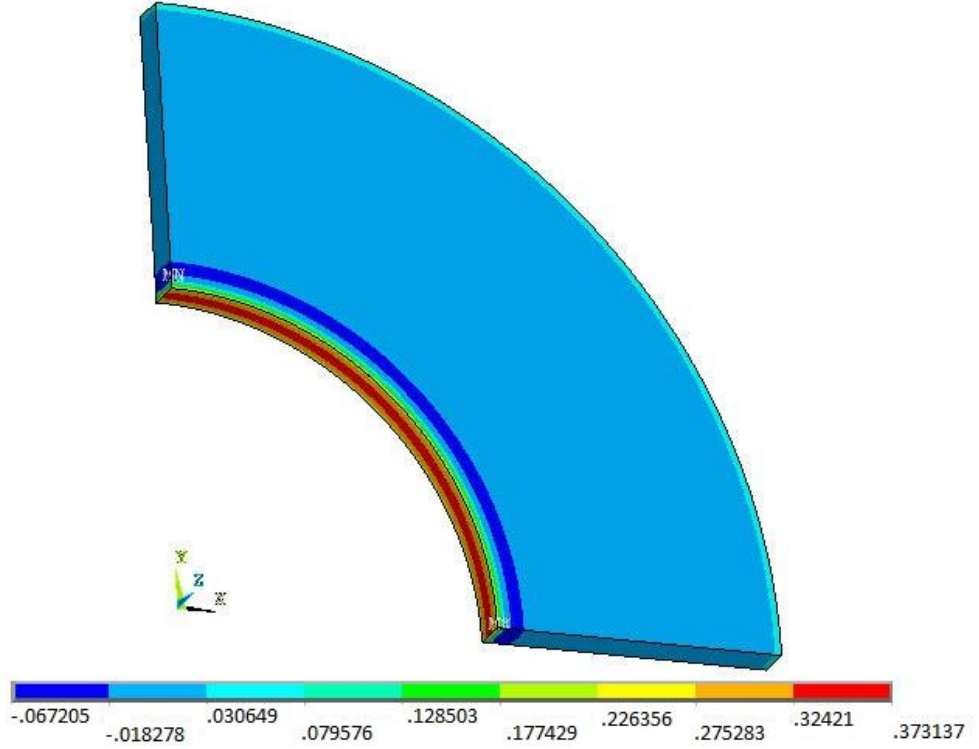


b) 115 °C

Şekil 4.13. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında teğetsel yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_θ)

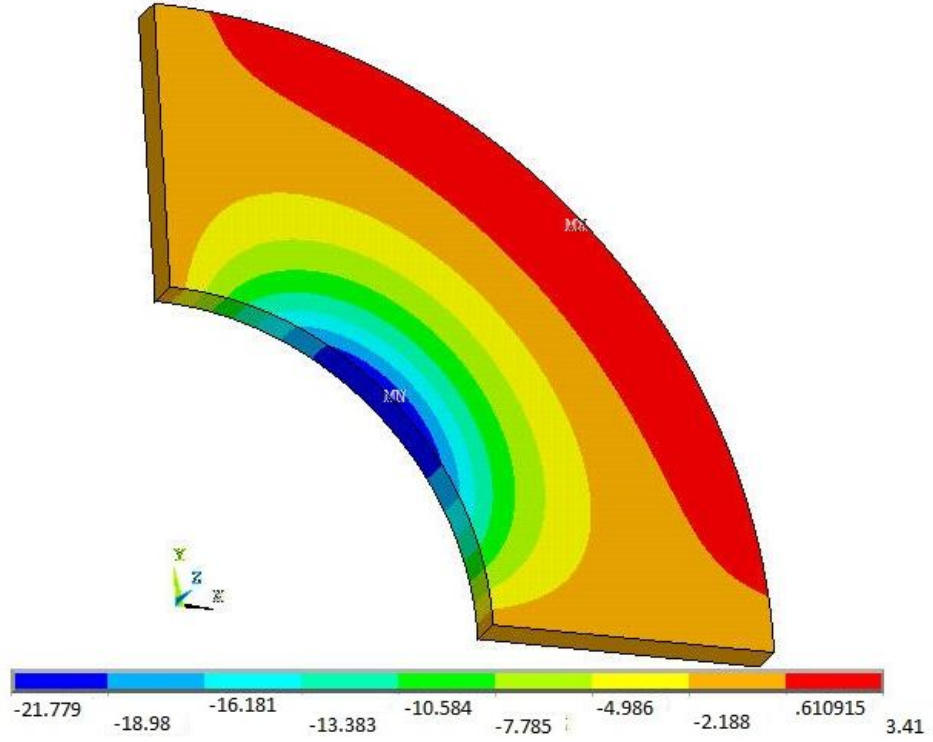


a) 45 °C

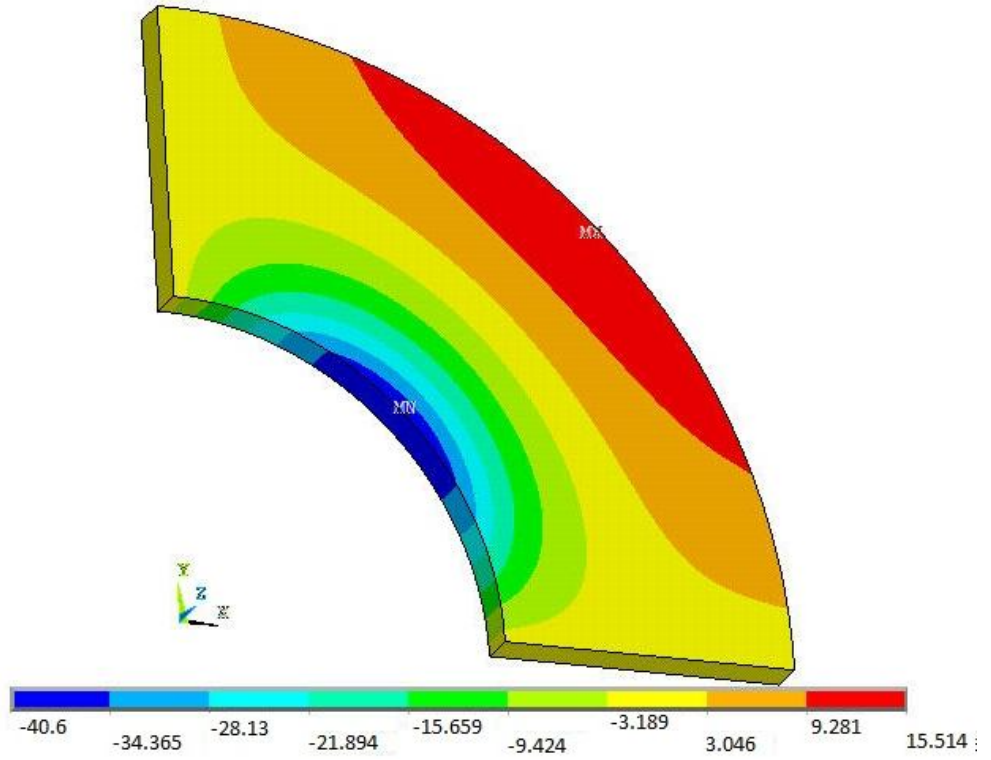


b) 115 °C

Şekil 4.14. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında z yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_z)

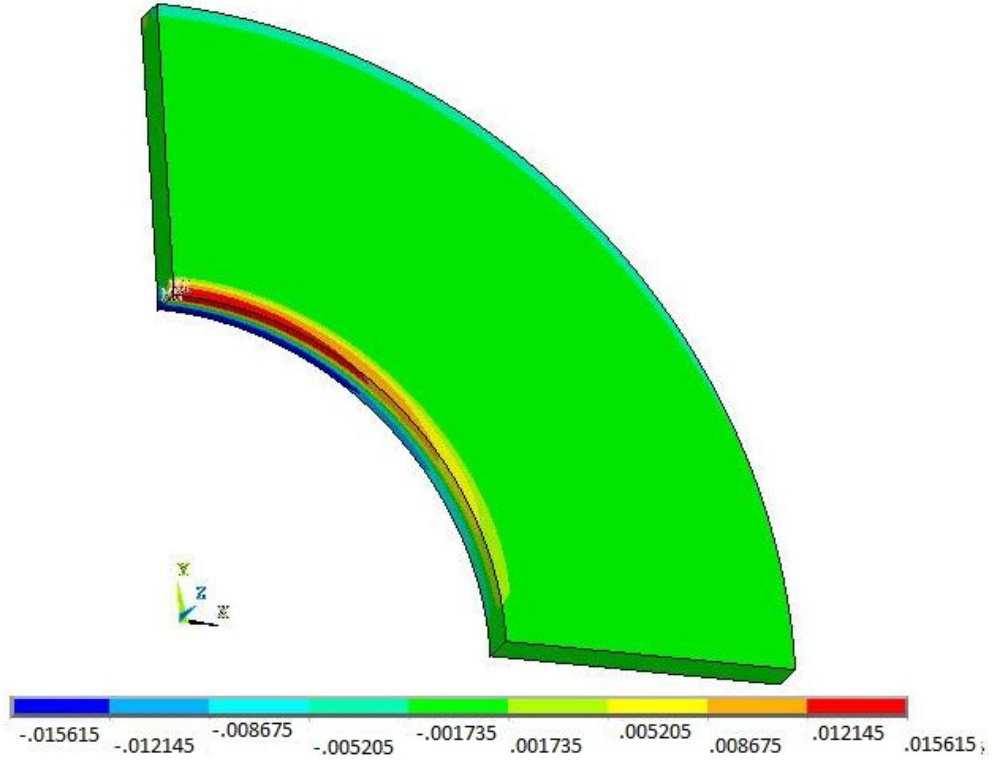


a) 45 °C

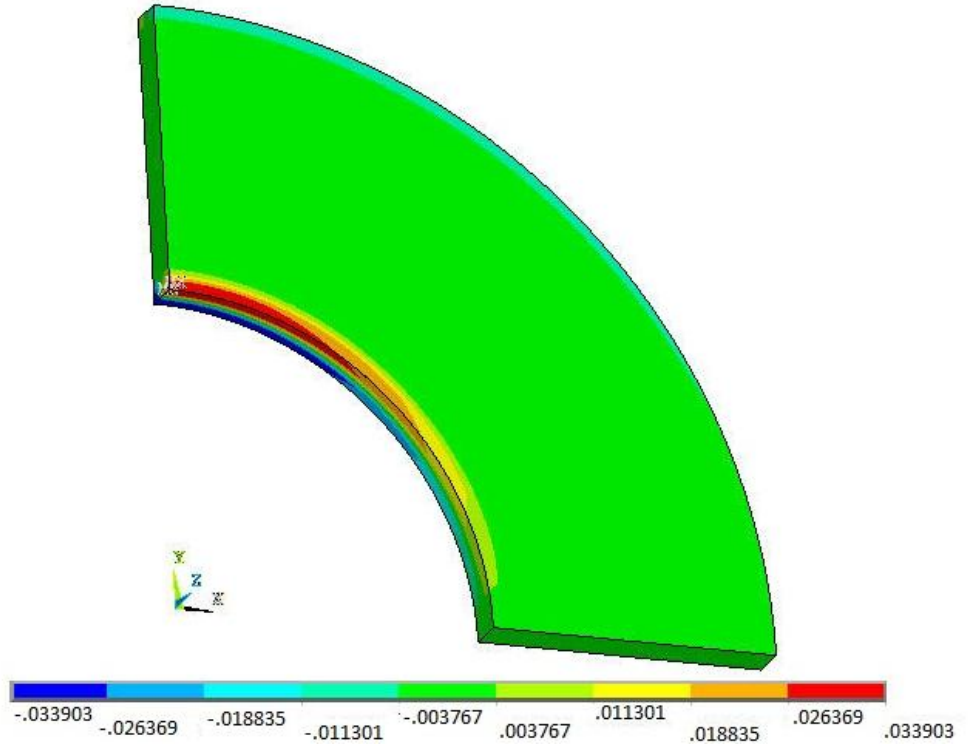


b) 115 °C

Şekil 4.15. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi ($\tau_{r\theta}$)

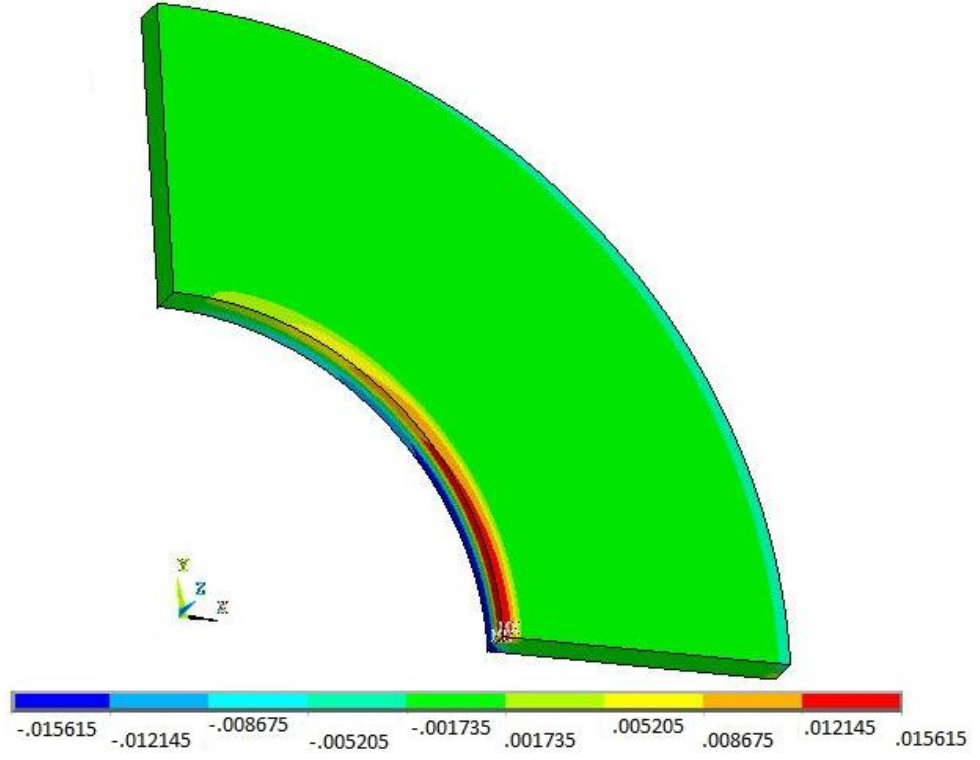


a) 45 °C

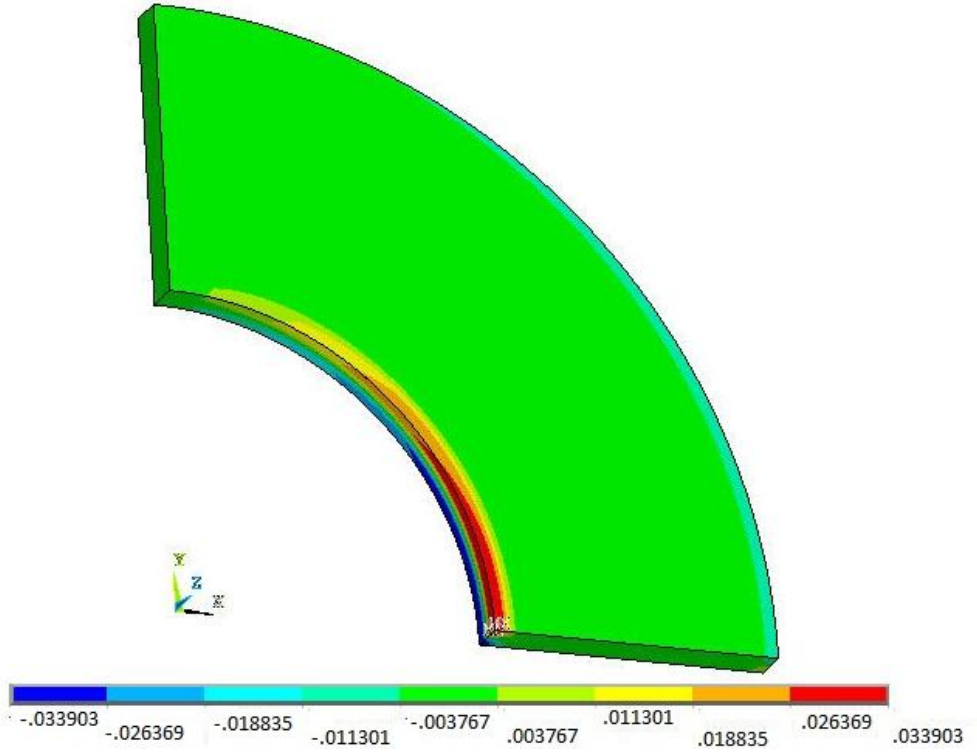


b) 115 °C

Şekil 4.16. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi (τ_{rz})

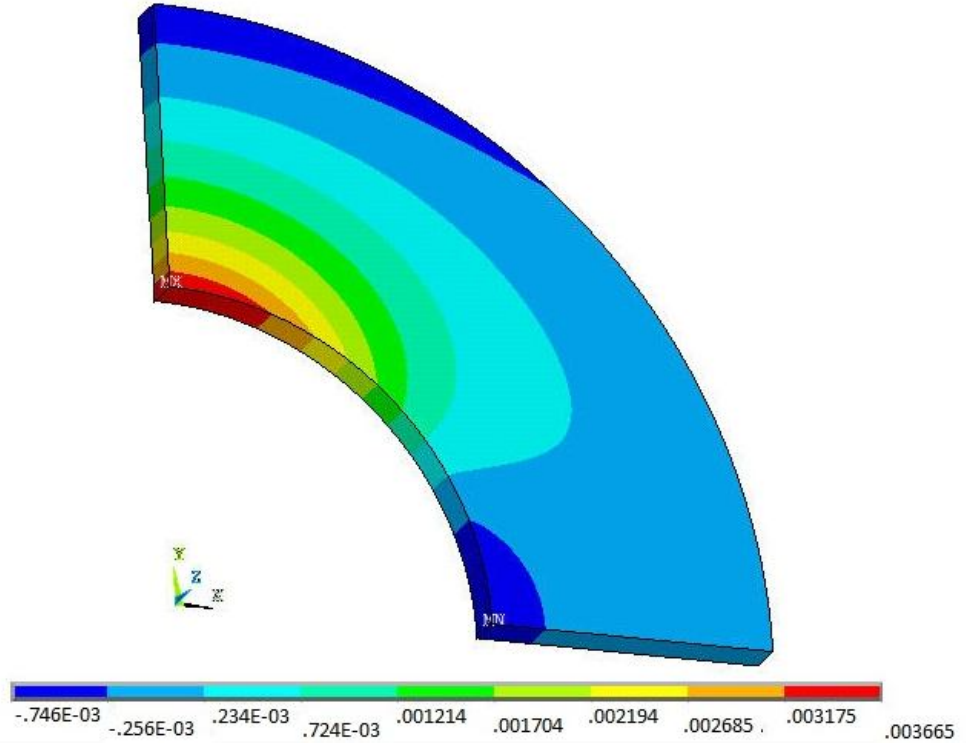


a) 45 °C

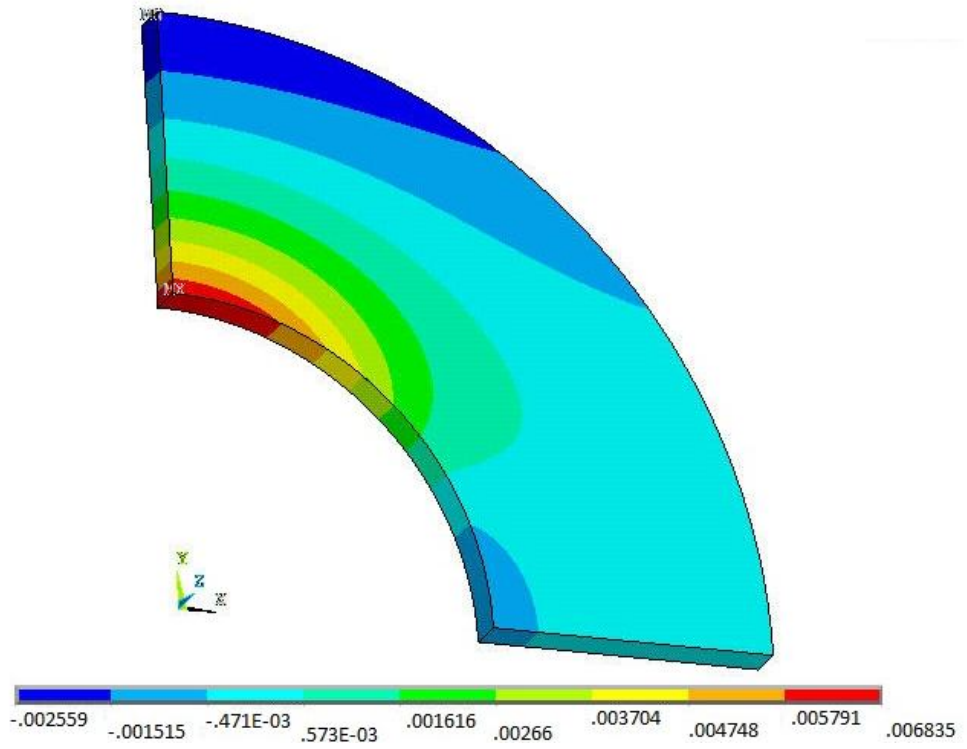


b) 115 °C

Şekil 4.17. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi (τ_{0z})

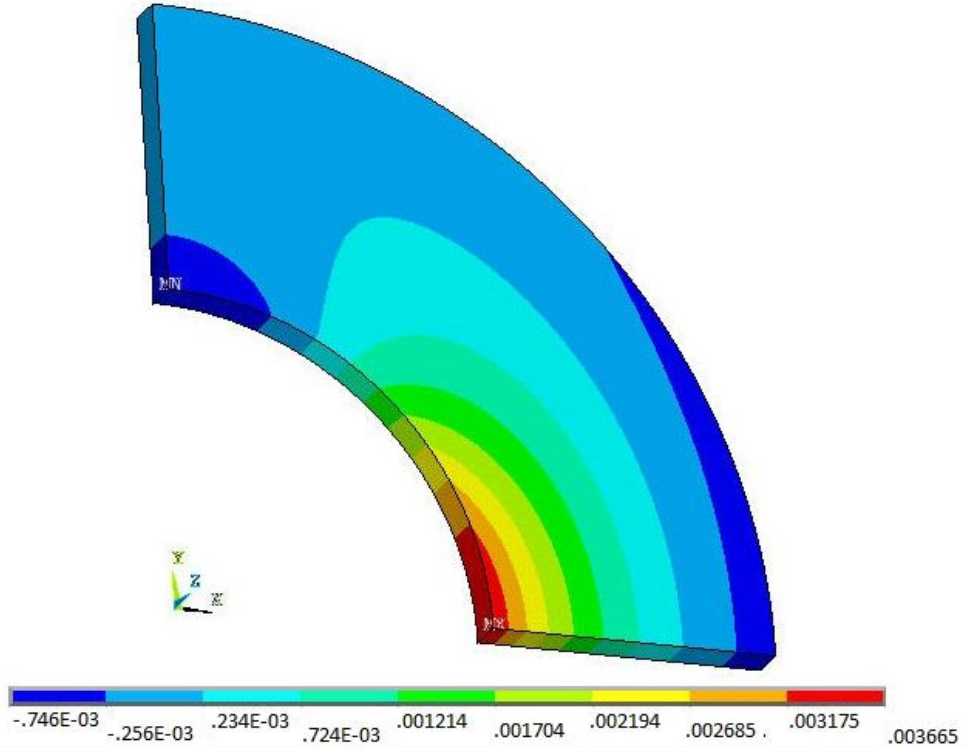


a) 45 °C

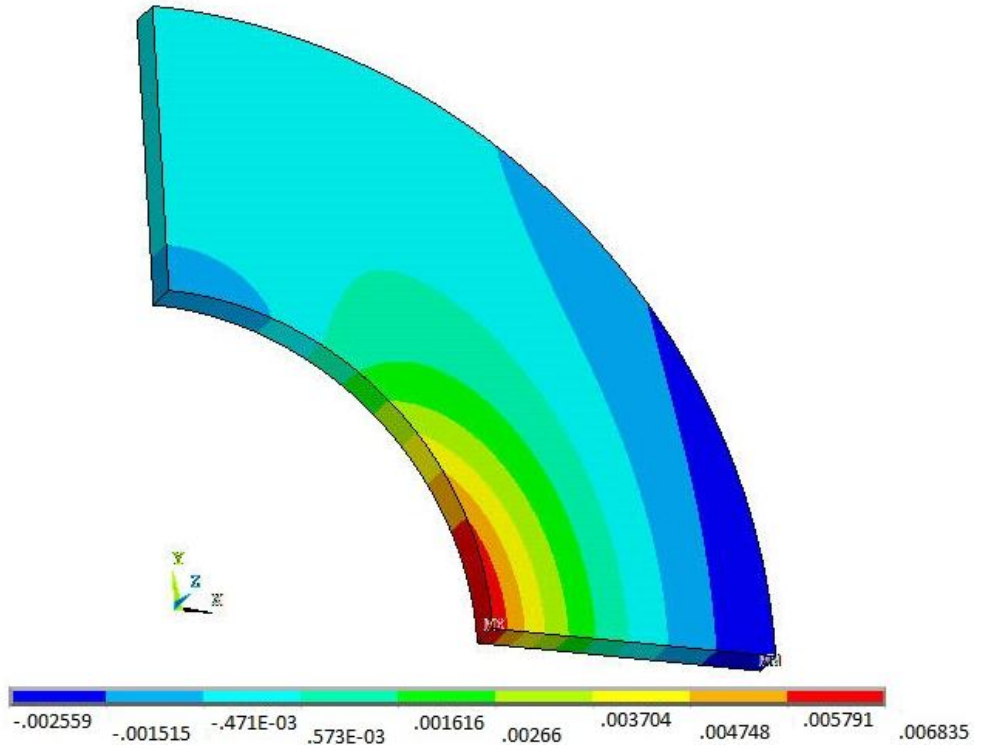


b) 115 °C

Şekil 4.18. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değıştirme (ϵ_r)

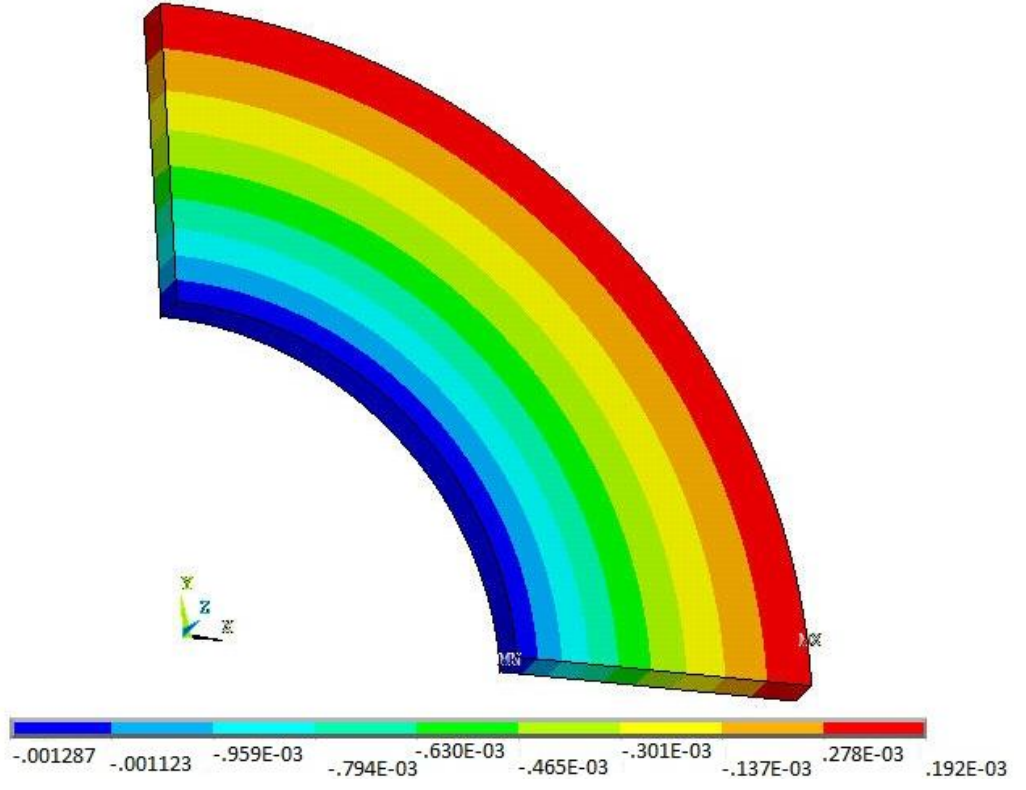


a) 45 °C



b) 115 °C

Şekil 4.19. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değıştirme (ϵ_0)



a) 45 °C



b) 115 °C

Şekil 4.20. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değişirme (ϵ_z)

4.4 Farklı uniform sıcaklıklar ve 30 rad/sn dönme hızında elde edilen bulgular

Çalışmada son olarak, 30 rad/sn açısal hıza sahip farklı uniform sıcaklıklar etkisindeki kompozit disk için hesaplanan normal gerilmelerin değerleri Çizelge 4.3’de listelenmiştir. Üç boyutlu kompozit diskin iç ve dış yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin basma ve çekme şeklinde değişiklikler gösterdiği gözlenmiştir. Bu nedenle, bu çizelgede analizlerden elde edilen değerler listelenirken, gerilme ve şekil değiştirme bileşenlerinin, iç yüzey ve dış yüzey değerlerinin verilmesi uygun görülmüştür.

Çizelge 4.3. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 30 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

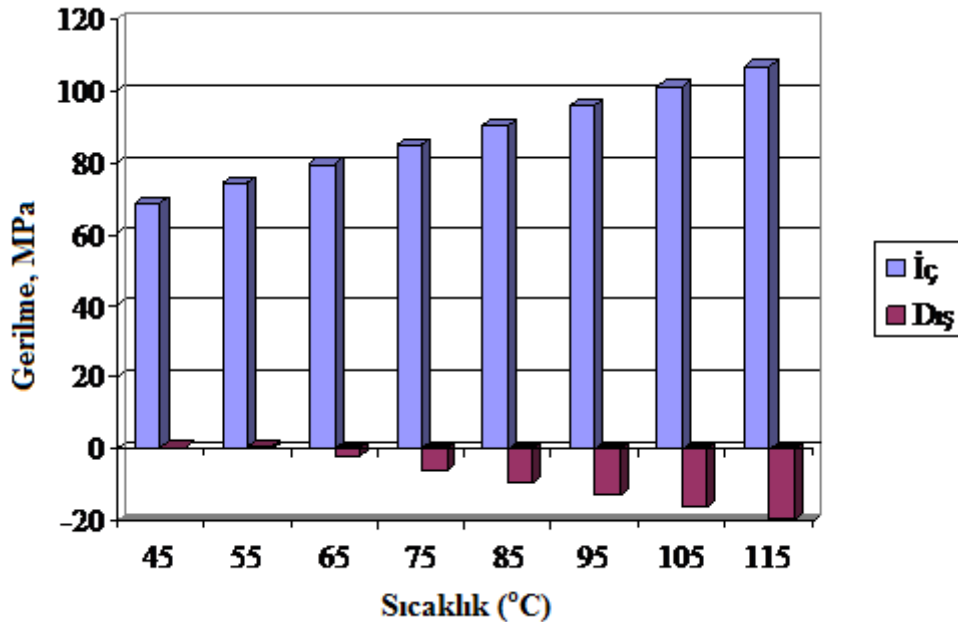
Açısal hız (rad/s)	Sıcaklık (°C)	Yüzey	Normal Gerilmeler (MPa)		
			σ_r	σ_θ	σ_z
30	45	İç	68,64	68,64	0,2522
		Dış	0,37	0,37	0,0717
	55	İç	74,11	74,11	0,2796
		Dış	0,41	0,41	0,0774
	65	İç	79,56	79,56	0,3071
		Dış	-2,34	-2,34	0,0832
	75	İç	85,03	85,03	0,3346
		Dış	-5,77	-5,77	0,0890
	85	İç	90,49	90,49	0,3621
		Dış	-9,20	-9,20	0,0948
	95	İç	95,95	95,95	0,3896
		Dış	-12,63	-12,63	0,1006
	105	İç	101,42	101,42	0,4170
		Dış	-16,06	-16,06	0,1063
	115	İç	106,88	106,88	0,4445
		Dış	-19,49	-19,49	0,1121

Bu çizelgeden görüldüğü gibi gerilmelerin değerleri, uygulanan uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu nedenle en düşük ısıl gerilmeler, 45 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanırken en yüksek ısıl gerilmeler 115 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 115 °C uniform sıcaklık yükü için

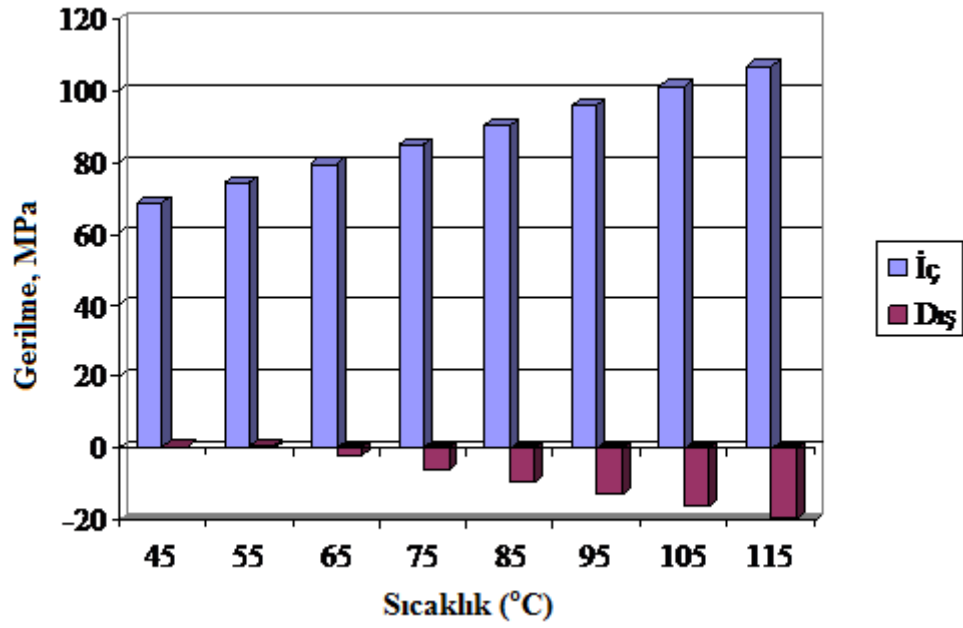
çekme ve basma şeklindeki en yüksek ısıl gerilme değerleri sırasıyla 106,88 MPa ve -19,49 MPa olarak hesaplanmıştır.

Uygulanan uniform sıcaklıklar ve 30 rad/s açısal hıza bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler; radyal yöndeki (σ_r), teğetsel yöndeki (σ_θ) ve z yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Çizelge 4.3’te listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, uniform sıcaklık yükündeki artışa bağlı olarak, ısıl gerilmelerde meydana gelen artış açıkça görülebilmektedir. Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin radyal ve teğetsel gerilmelerden çok daha küçük hatta ihmal edilebilecek değerlerde olduğu görülmektedir

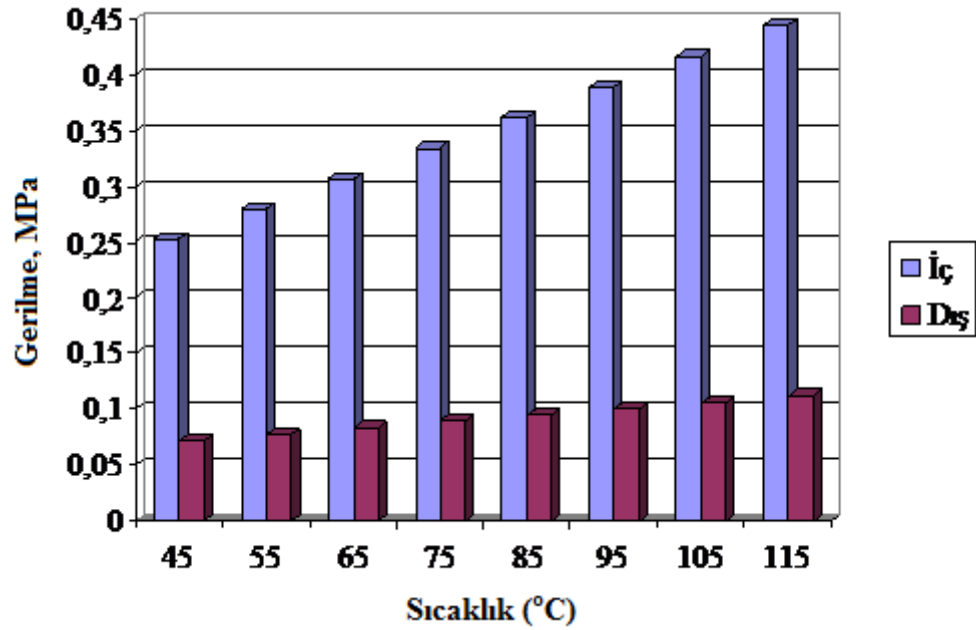
Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 karşılaştırıldığında uniform sıcaklık yükündeki ve açısal hızdaki artışa bağlı olarak, ısıl gerilmelerde meydana gelen artış açıkça görülebilmektedir. En düşük gerilmeler 10 rad/s açısal hızda ve 45 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerli gerilmeler 30 rad/s açısal hızda ve 115 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır. Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin radyal ve teğetsel gerilmelerden çok daha küçük hatta ihmal edilebilecek değerlerde olduğu görülmektedir.



a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)



b) Teğetsel yöndeki normal gerilme (σ_{θ})



d) z yönündeki normal gerilme (σ_z)

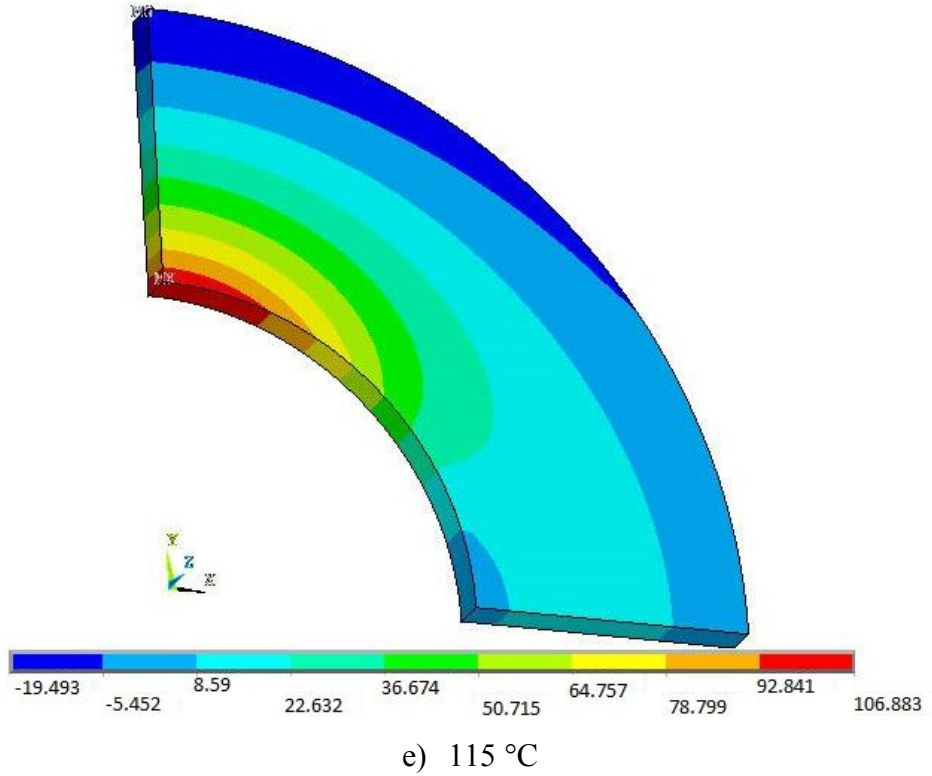
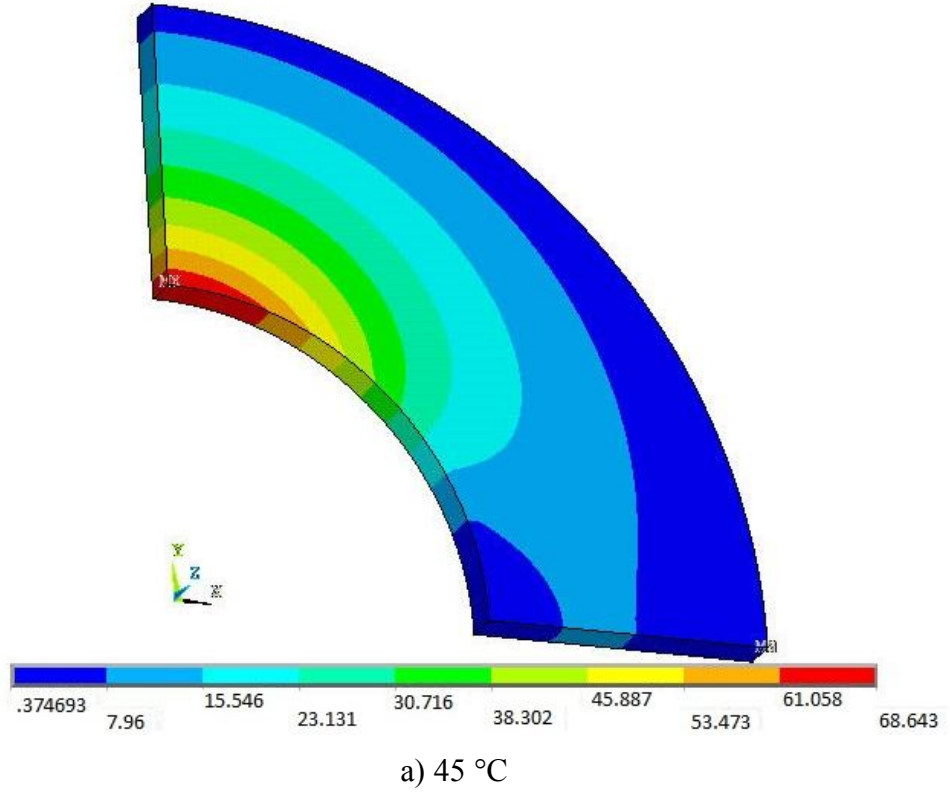
Şekil 4.21. 30 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler

30 rad/sn dönme hızında, 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar uygulandığında elde edilen normal gerilme dağılımları sırasıyla radyal, teğetsel ve z-yönleri için Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'ten diskin iç yüzeyinde çekme gerilmeleri dış yüzeyinde ise basma gerilmeleri meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bu şekillerden ayrıca çekme gerilmelerinin değerlerinin mutlak değer olarak basma gerilmelerinden daha büyük değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. Hatta basma gerilmelerin değerleri, çekme gerilmelerinin değerleri ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek seviyededir.

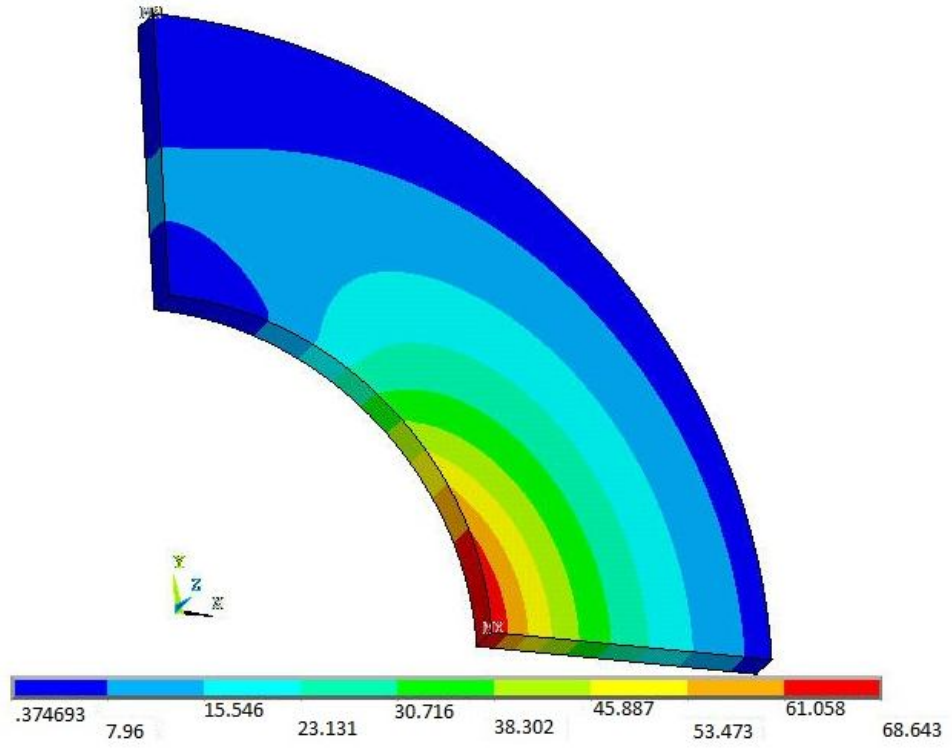
30 rad/sn dönme hızında 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar uygulandığında elde edilen kayma gerilmeleri $\tau_{r\theta}$, τ_{rz} , ve $\tau_{\theta z}$ 'in üç boyutlu kompozit disk üzerindeki dağılımları sırasıyla, Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Mutlak değer olarak dikkate alındığında, basma şeklindeki kayma gerilmelerinin değerlerinin, çekme formundaki kayma gerilmelerinden çok daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmaktadır. Kompozit diskin dış yüzeyinde çekme şeklinde kayma gerilmeleri meydana gelirken, iç yüzeyinde ise basma şeklinde kayma gerilmeleri oluşmuştur.

30 rad/sn dönme hızında 45 °C ve 115 °C uniform sıcaklıklar etkisindeki üç boyutlu kompozit disk üzerinde radyal, teğetsel ve z-yönlerinde meydana gelen elastik şekil değiştirmelerin dağılımları, sırasıyla Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir.

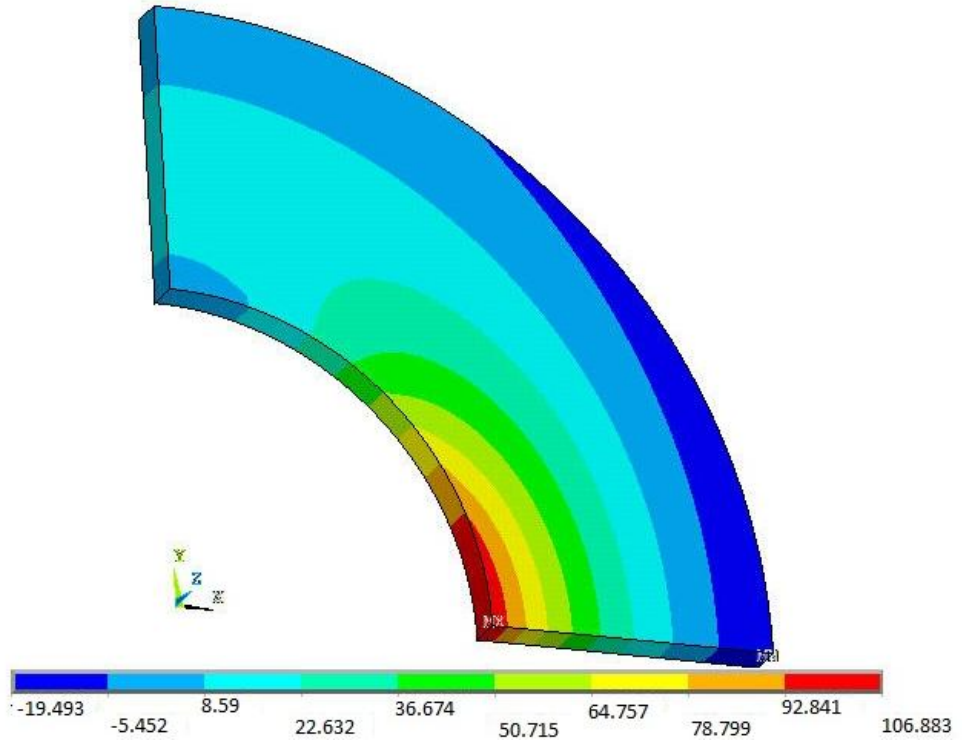
Bu şekillerden, z-yönünde meydana gelen elastik şekil değiştirmelerin (Şekil 4.30) değerlerinin, radyal (Şekil 4.28) ve teğetsel (Şekil 4.29) yönlerde elde edilen elastik şekil değiştirmelerin değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, z-yönündeki elastik şekil değiştirmelerin disk üzerindeki dağılımı, radyal ve teğetsel doğrultudaki elastik şekil değiştirme dağılımlarından oldukça farklıdır.



Şekil 4.22. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında oluşan radyal yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_r)

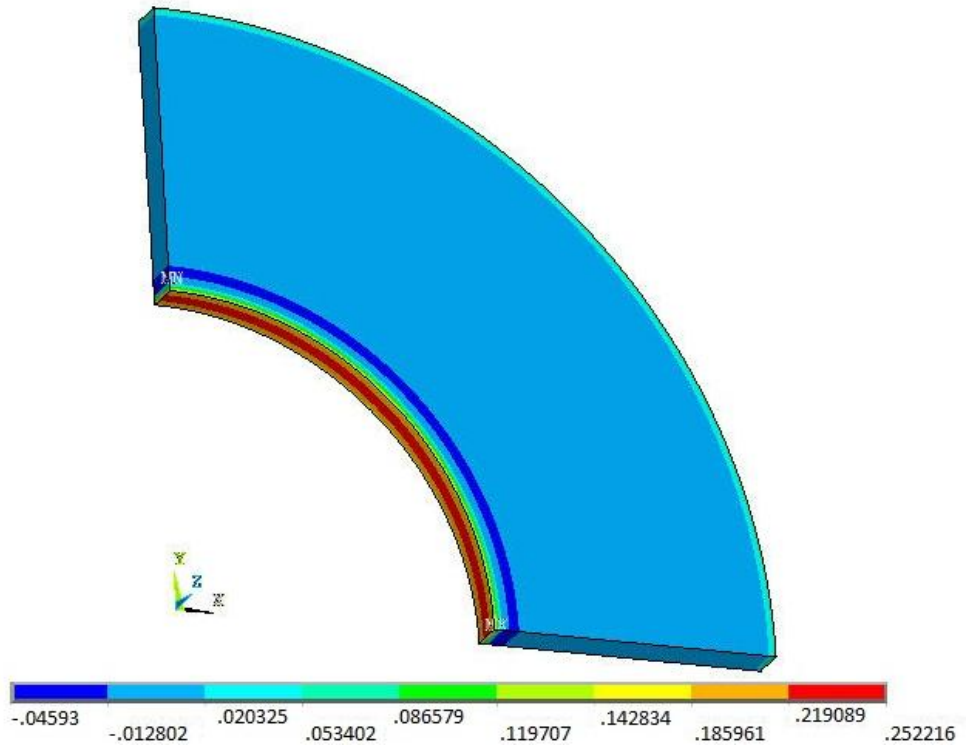


a) 45 °C

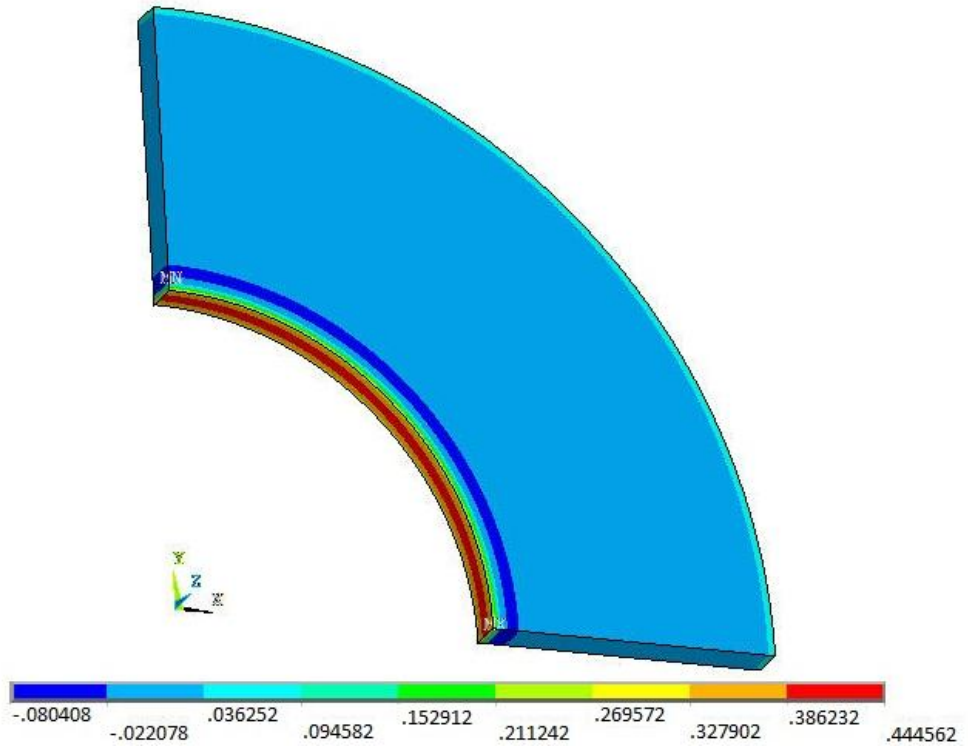


b) 115 °C

Şekil 4.23. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında teğetsel yönde hesaplanan normal gerilmeler (σ_{θ})

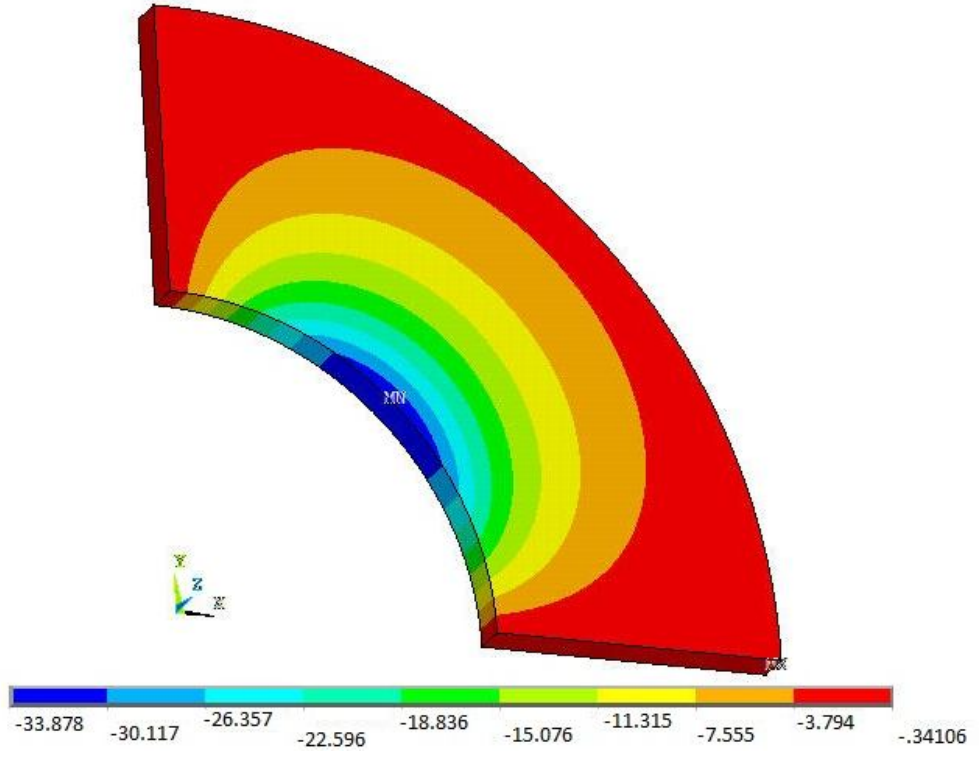


a) 45 °C

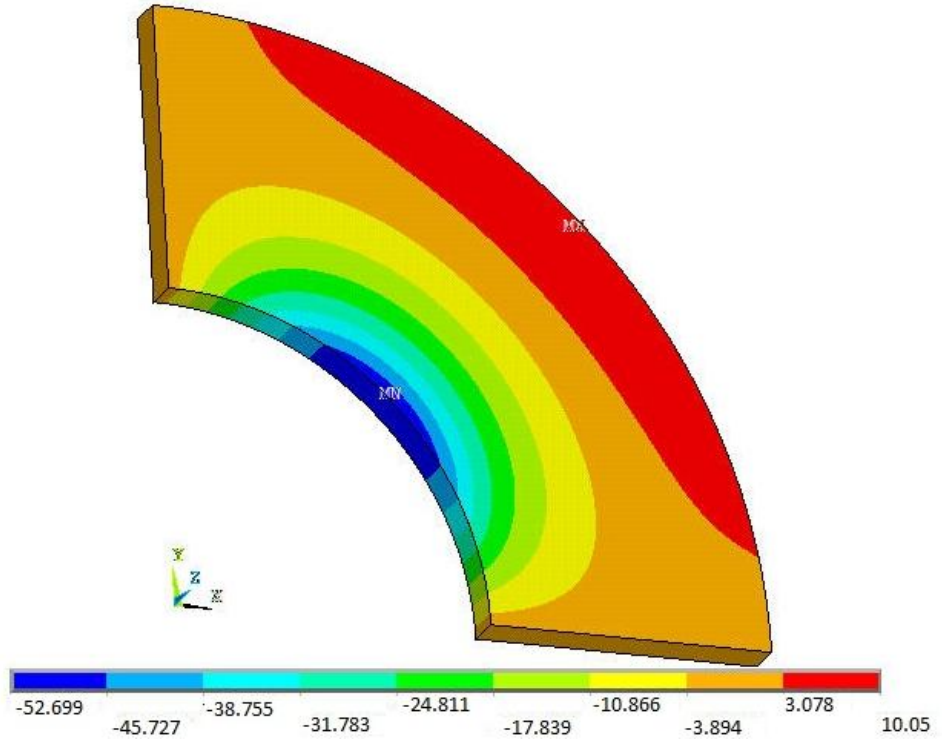


b) 115 °C

Şekil 4.24. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında z yönünde hesaplanan normal gerilmeler (σ_z)

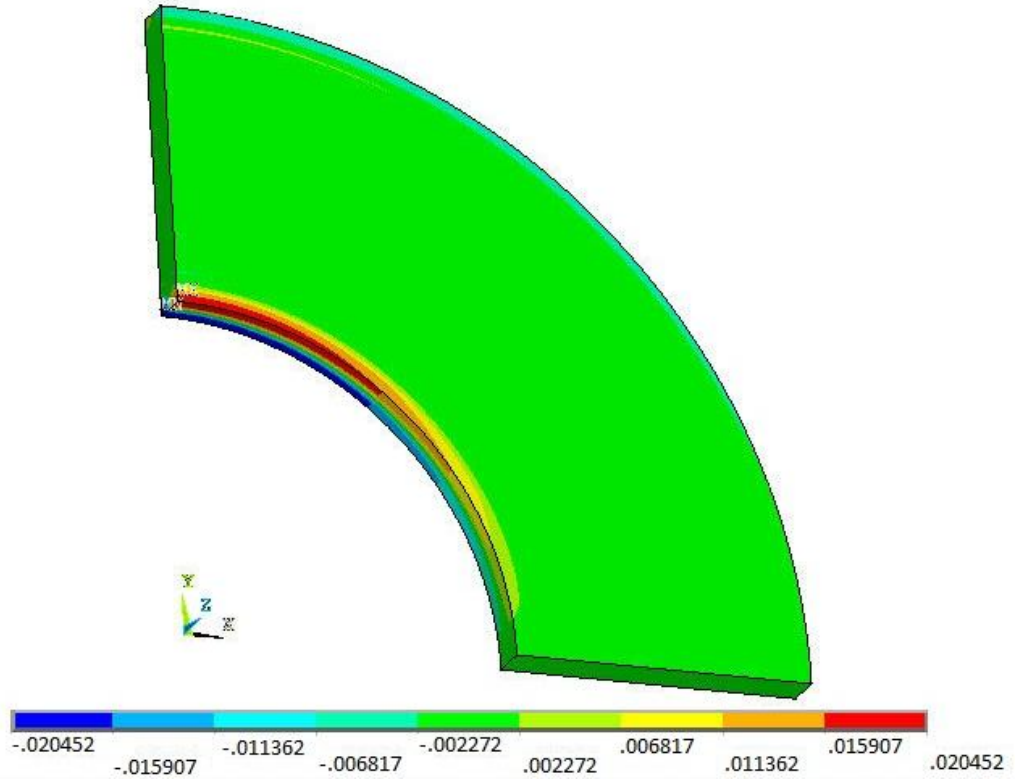


a) 45 °C

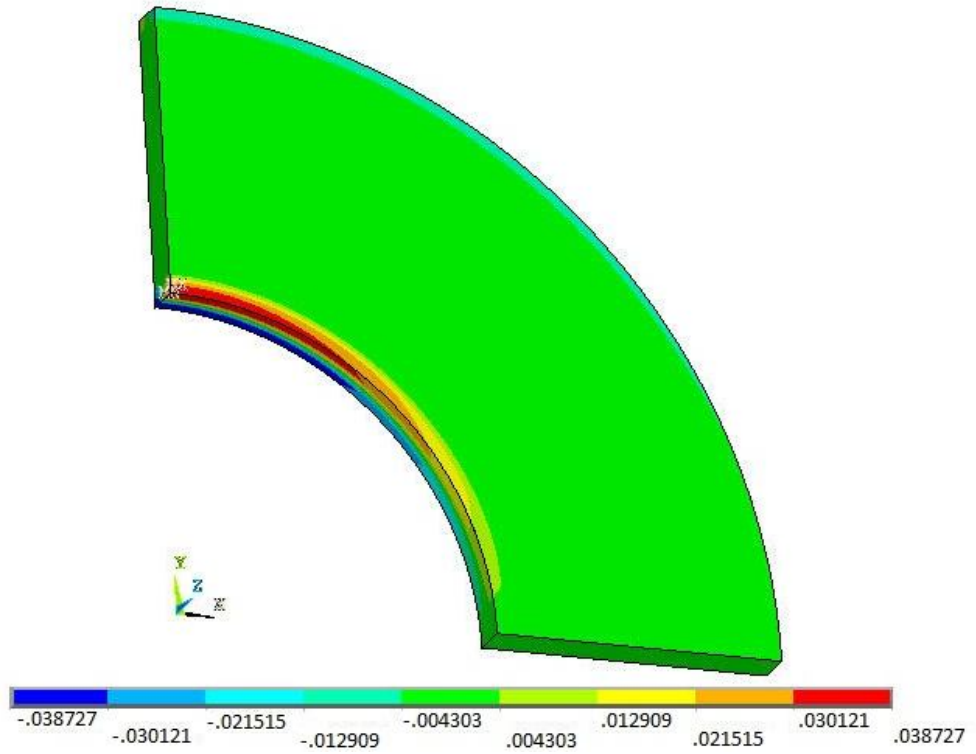


b) 115 °C

Şekil 4.25. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi ($\tau_{r\theta}$)

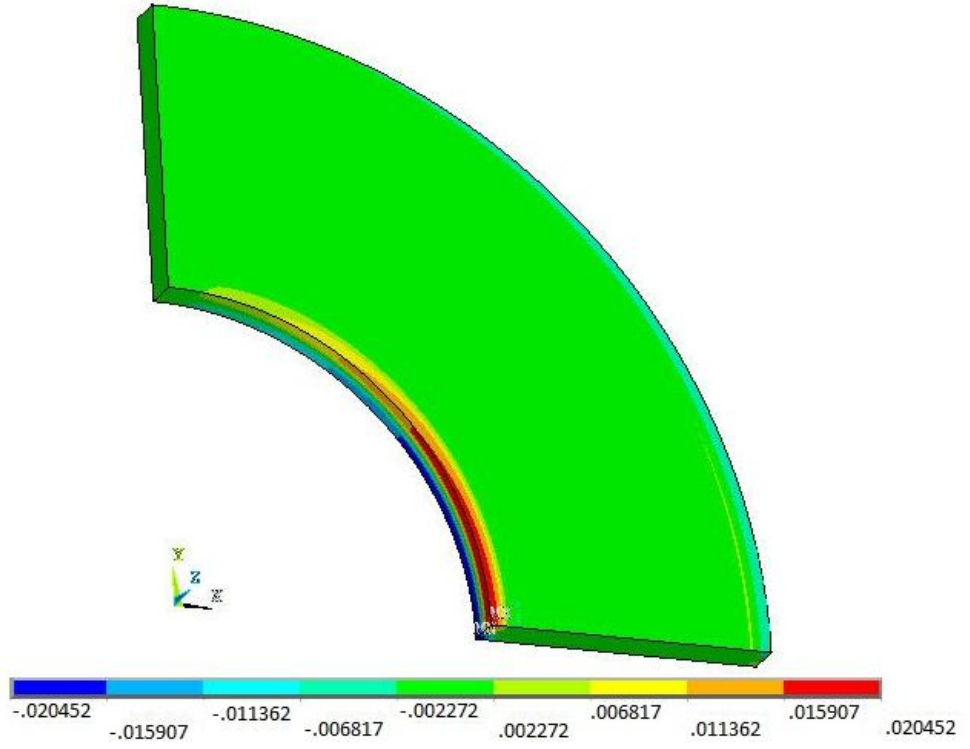


a) 45 °C

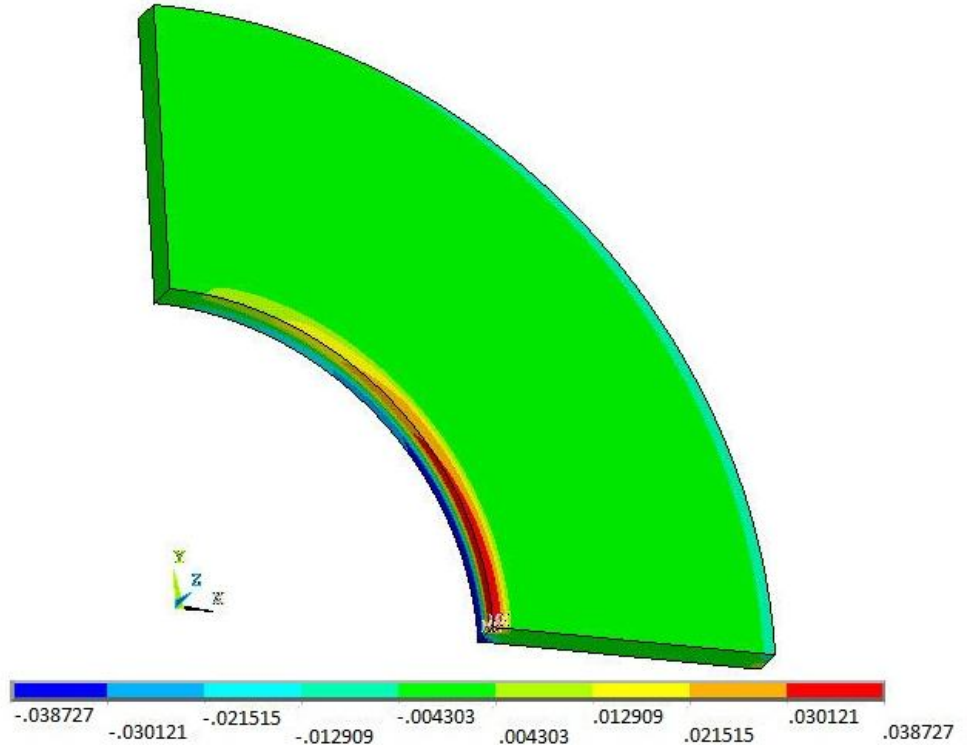


b) 115 °C

Şekil 4.26. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi (τ_{rz})

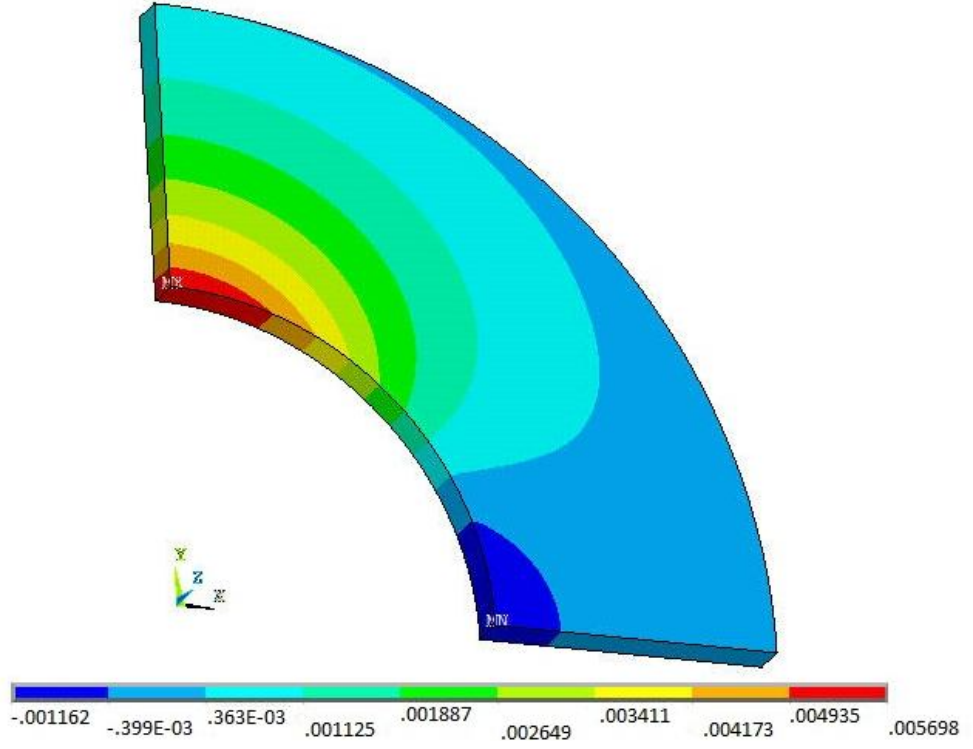


a) 45 °C

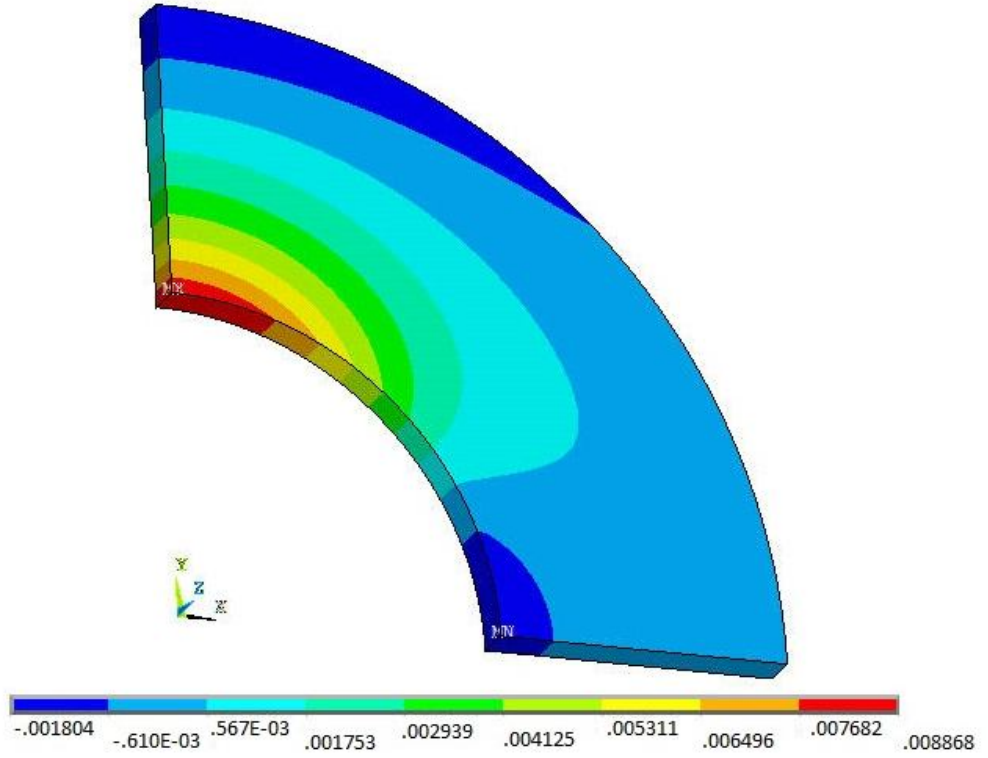


b) 115 °C

Şekil 4.27. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan kayma gerilmesi ($\tau_{\theta z}$)

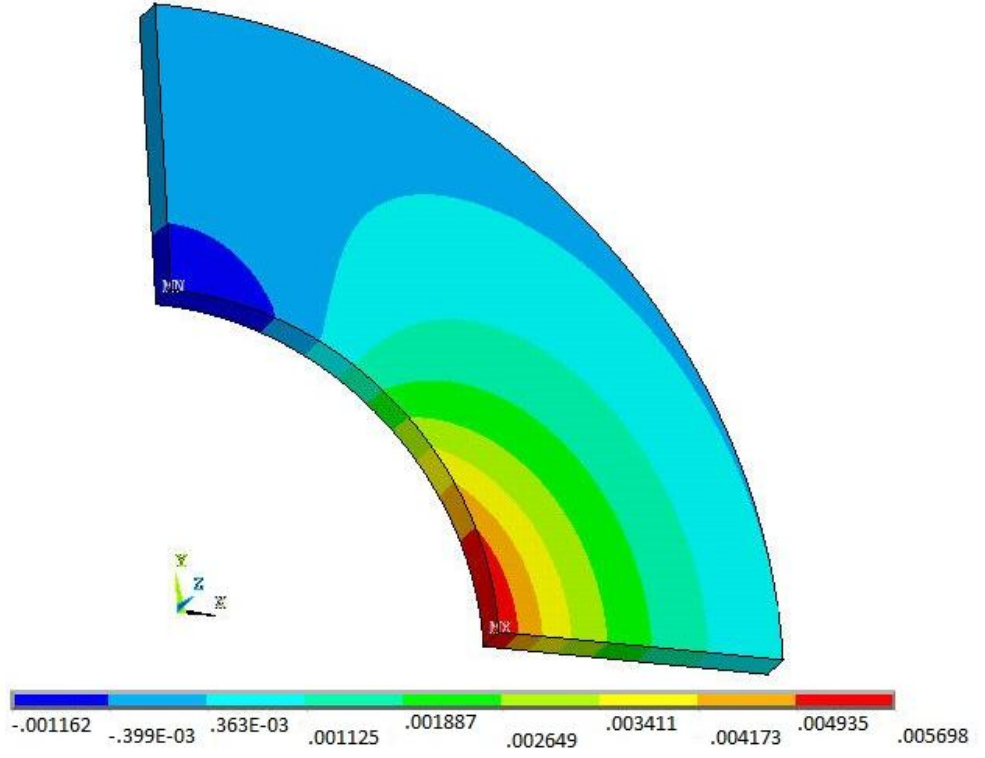


a) 45 °C

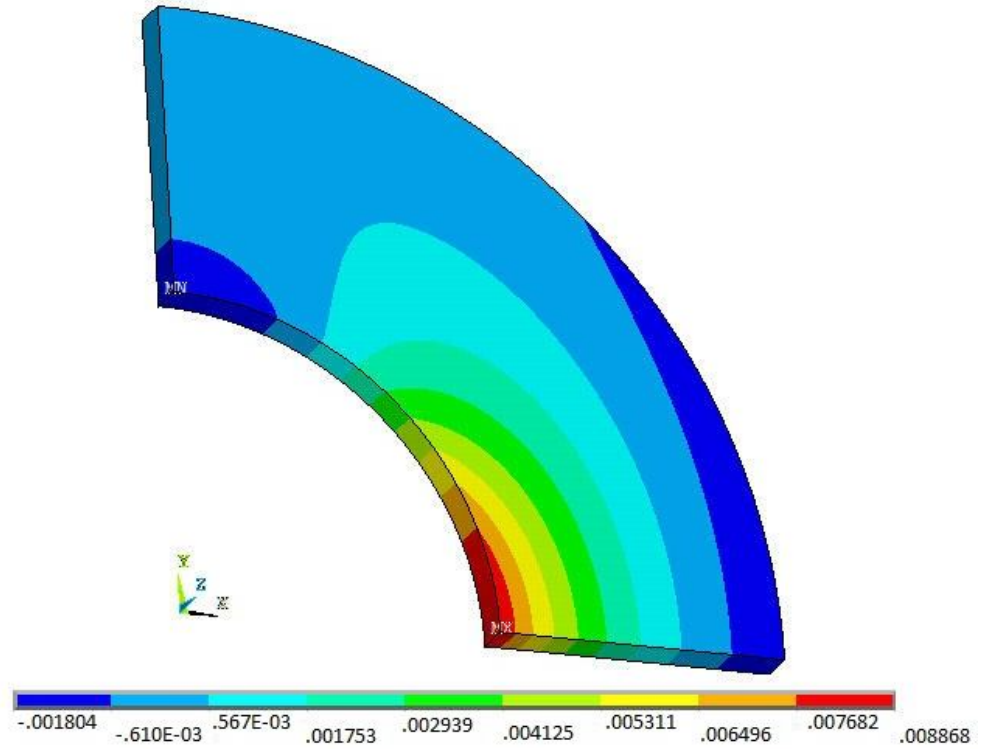


b) 115 °C

Şekil 4.28. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_r)

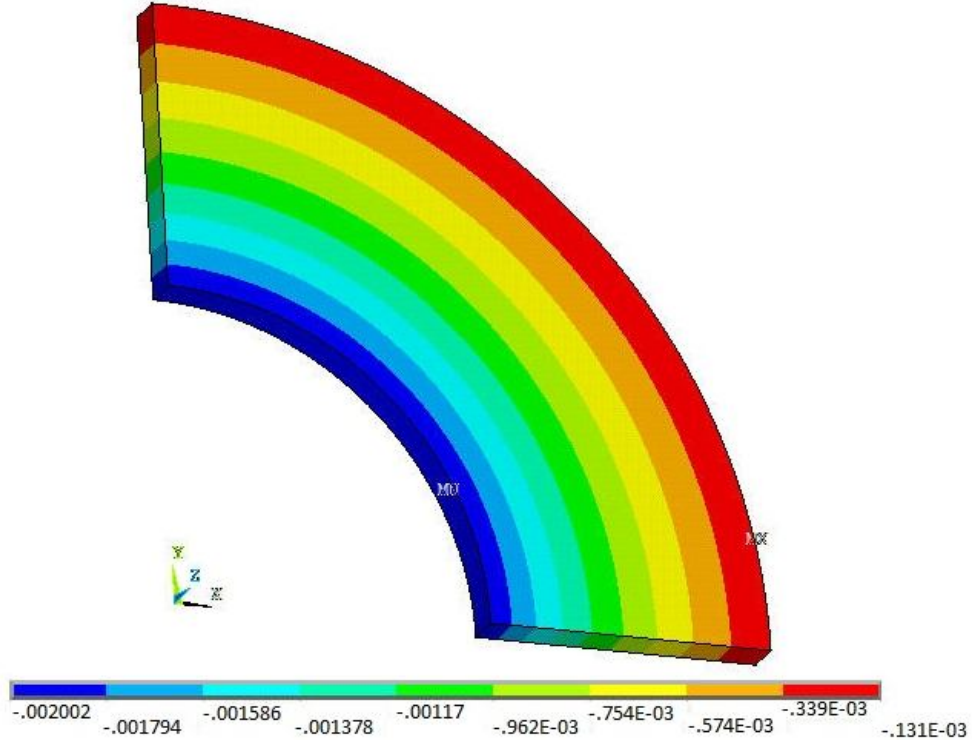


a) 45 °C



b) 115 °C

Şekil 4.29. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değişimi (ϵ_0)



a) 45 °C



b) 115 °C

Şekil 4.30. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 30 rad/sn dönme hızında hesaplanan elastik şekil değiştirme (ϵ_z)

4.5 Analizlerden elde edilen bulguların birlikte değerlendirilmesi

Üç boyutlu olarak modellenen ve analiz edilen diskin uygulanan her bir uniform sıcaklık yükü ve dönme hızlarına bağlı olarak elde edilen normal gerilmelerin değişimlerini gösteren, üç boyutlu grafikler, kompozit diskin iç ve dış yüzeyleri dikkate alınarak, sırasıyla Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de gösterilmiştir. Bu grafiklerden, normal gerilmelerin değerlerinin uygulanan uniform sıcaklık miktarındaki artışa ve uygulanan açısal hızdaki artışa bağlı olarak arttığı açıkça görülmektedir.

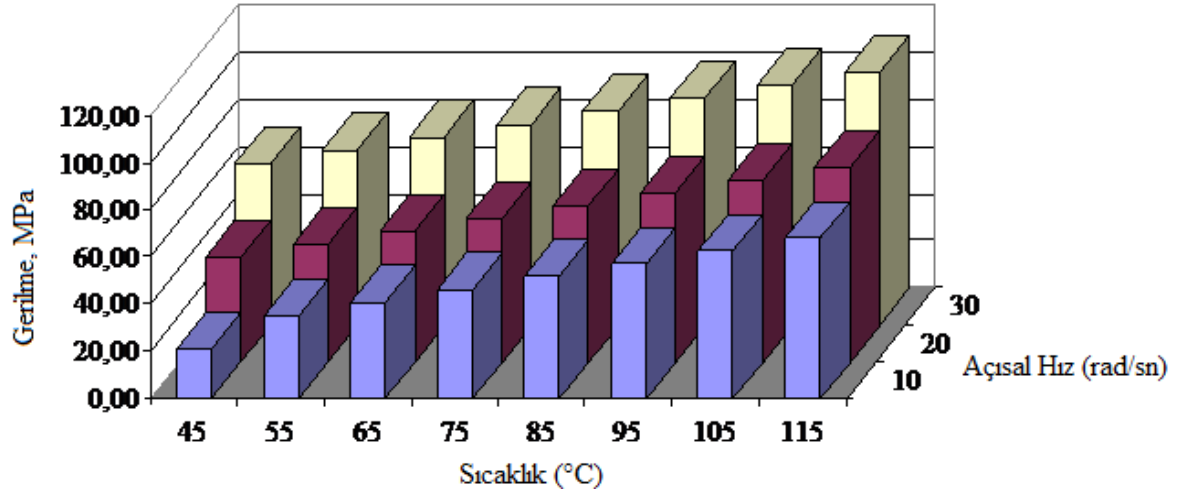
Uygulanan uniform sıcaklıklar dikkate alındığında, en düşük normal gerilmeler 45 °C uniform sıcaklık yükü uygulandığında oluşurken, en yüksek gerilmeler 115 °C uniform sıcaklık uygulandığında oluşmuştur.

Uygulanan açısal hızlar dikkate alındığında en düşük değerli gerilmeler 10 rad/sn açısal hız için hesaplanırken, en yüksek değerli gerilmeler 30 rad/sn açısal hız uygulandığında hesaplanmıştır.

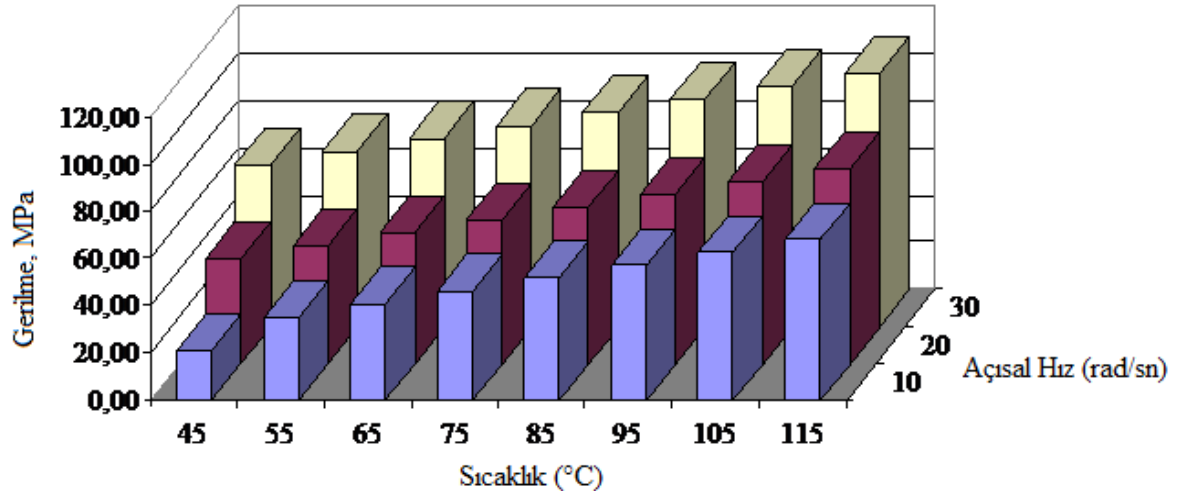
Şekil 4.31’e göre üç boyutlu termoplastik kompozit diskin, iç yüzeyinde her doğrultuda çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Radyal ve teğetsel doğrultularda meydana gelen gerilmeler oldukça yüksek değerlerdedir, bununla birlikte z-yönünde oluşan gerilmeler diğer doğrultularda elde edilen gerilmeler yanında çok küçüktür ve ihmal edilebilecek seviyededir.

Şekil 4.32’ye göre üç boyutlu termoplastik kompozit diskin, dış yüzeyinde radyal ve teğetsel doğrultularda basma gerilmeleri meydana gelmiş, fakat z-doğrultusunda çekme gerilmeleri meydana gelmiştir. Fakat z-doğrultusunda meydana gelen çekme gerilmelerinin değerleri, mutlak değer olarak dikkate alındığında, diğer doğrultularda meydana gelen gerilmelerden daha düşük değerlerdedir.

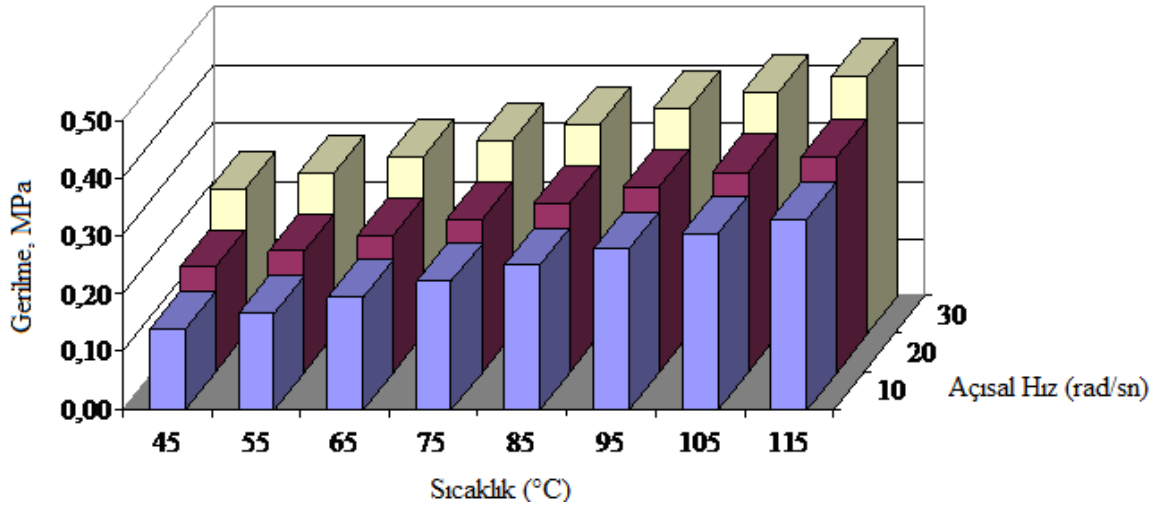
Şekil 4.31 ve Şekil 4.32 birlikte değerlendirildiğinde, termoplastik kompozit diskin iç yüzeyinde radyal ve teğetsel doğrultularda meydana gelen çekme gerilmeleri, dış yüzeyinde meydana gelen basma gerilmelerinden mutlak değer olarak daha yüksek değerdedir. Ayrıca, kompozit diskin dış yüzeyinde ve z-yönünde meydana gelen çekme gerilmeleri (Şekil 4.32-c), kompozit diskin iç yüzeyinde ve z-yönünde meydana gelen çekme gerilmelerinden (Şekil 4.31-c) daha düşük değerlerdedir.



a) Radyal yöndeki en yüksek değerli normal gerilmeler (σ_r)

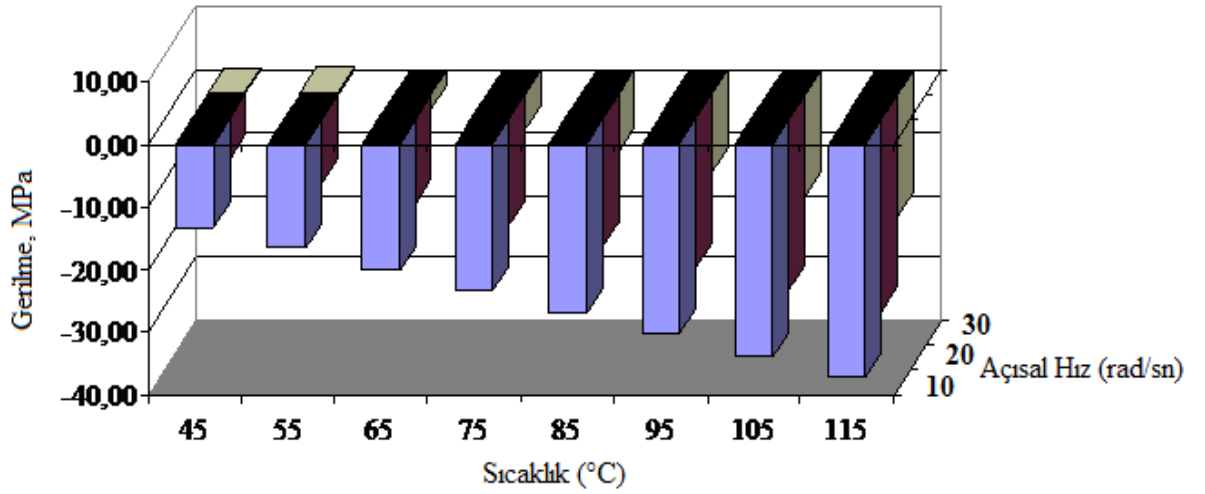


b) Teğetsel yöndeki en yüksek değerli normal gerilmeler (σ_θ)

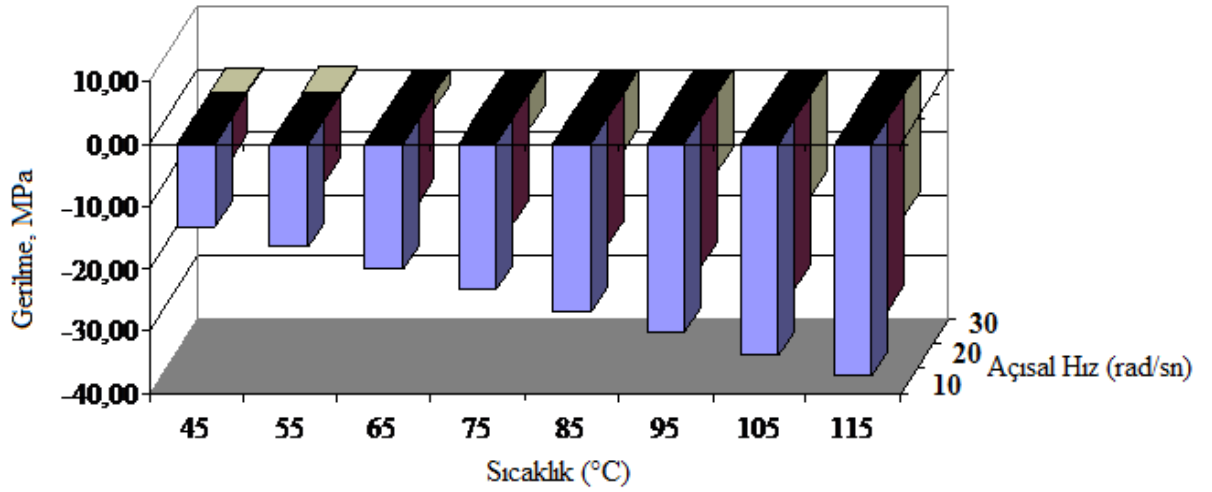


c) z yönündeki en yüksek değerli normal gerilmeler (σ_z)

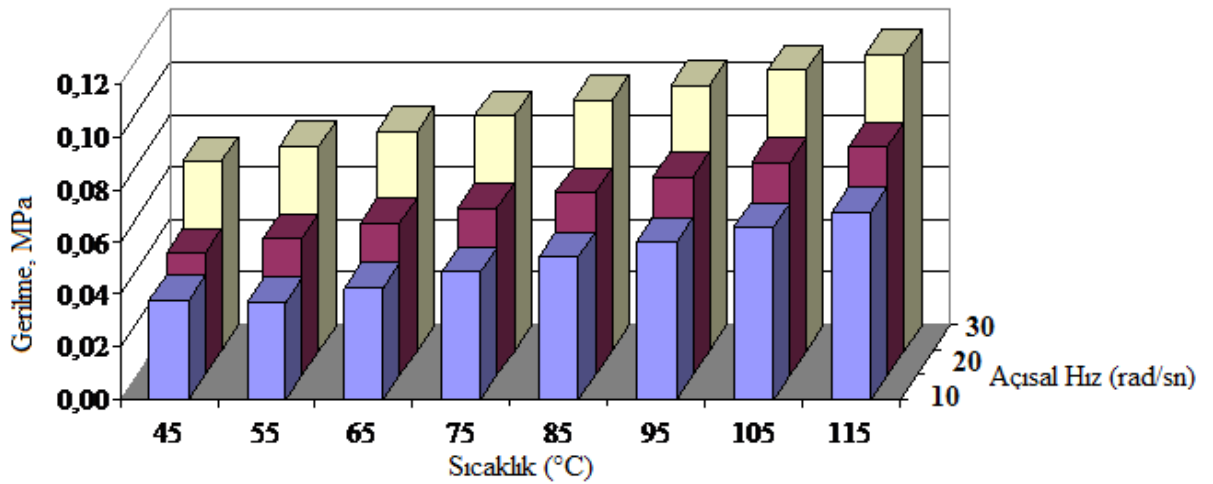
Şekil 4.31. Termoplastik kompozit diskin iç yüzeyinde meydana gelen normal gerilmeler



a) Radyal yöndeki en yüksek değerli normal gerilmeler (σ_r)



b) Teğetsel yöndeki en yüksek değerli normal gerilmeler (σ_θ)



c) z yönündeki en yüksek değerli normal gerilmeler (σ_z)

Şekil 4.32. Termoplastik kompozit diskin dış yüzeyinde meydana gelen normal gerilmeler

BÖLÜM V

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, termoplastik matrise sahip ve çelik fiberlerle takviye edilmiş, ortasında dairesel delik bulunan bir kompozit disk problemi çözülmüştür. Önceki yapılan çalışmalardan farklı olarak kompozit disk üç boyutlu olarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Oluşturulan disk modeline, üç boyutlu sınır şartları, farklı değerlerde uniform sıcaklıklar ve açısal dönmeler uygulanmıştır. Uygulanan uniform sıcaklıklar ve açısal dönmelerin etkisiyle, kompozit diskte oluşan gerilmeler ve elastik şekil değişimleri hesaplanmış ve bunların disk üzerindeki dağılımları elde edilmiştir. Çözümde, sonlu elemanlar metodu ANSYS programı kullanılmış, çözümler sonucunda aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır.

Üç boyutlu kompozit disk üzerine sırasıyla 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105 ve 115 °C uniform sıcaklıklar ve sıcaklık yüküne ek olarak sırasıyla 10, 20 ve 30 rad/sn açısal hızlar için ısı gerilmeler ve şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, uniform sıcaklık yükünün artışına bağlı olarak, gerilmeler ve elastik şekil değiştirmelerin değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Dolayısıyla, en düşük gerilmeler 45 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerli gerilmeler 115 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır.

Açısal dönme hızındaki artışa bağlı olarak gerilmelerin arttığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, uygulanan açısal dönmeler dikkate alındığında, en düşük gerilmeler 10 rad/sn açısal hızlar için hesaplanırken, en yüksek değerli gerilmeler 30 rad/sn açısal hızlar uygulandığı zaman hesaplanmıştır. Açısal hızdaki artışın gerilmelerin değerlerinde aşırı bir artışa neden olduğu görülmüştür.

Termoplastik matrise sahip olan üç boyutlu kompozit diskin anizotropik malzeme özelliklerinden dolayı hem radyal yönde hem de teğetsel yönde yüksek değerli gerilmeler oluşmuştur. Oluşan gerilmelerin, kompozit diskin iç ve dış yüzeyinde değişik formlarda meydana geldiği görülmüştür. Bir başka ifadeyle, üç boyutlu kompozit disk üzerinde hem çekme hem de basma şeklinde gerilmeler meydana gelmiştir.

Analizlerin üç boyutlu model için yapılmasından dolayı, z-yönünde de gerilmeler ve elastik şekil değiştirmeler meydana gelmiştir. Fakat, z-yönü için hesaplanan gerilmeler ve elastik şekil değiştirmelerin değerlerinin, radyal ve teğetsel yönlerde hesaplananlardan daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, modelleme aşamasında uygulanan sınır şartlarıdır.

Elastik şekil değiştirmelerin miktarlarının da artan uniform sıcaklık artışına ve açısal hızdaki artışa bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.

Çalışmanın sadece elastik analiz olarak yapılmasından dolayı, üç boyutlu kompozit disk üzerinde oluşabilecek plastik gerilmeler ve artık gerilmeler hesaplanmamıştır.

KAYNAKLAR

- Altan, G., Topcu M., 2010. Thermo-elastic stress of a metal-matrix composite disc under linearly-increasing temperature loading by analytical and FEM analysis, *Advances in Engineering Software*, 41, 604-610.
- Ansys, Release 10.0 Documentation, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.
- Arslan, N., Sancaktar, E., Çelik, M., 2000. Elasto-plastic behavior of thermoplastic matrix roller chain link plates reinforced with steel finers, *ASME 200 Design engineering technical conferences and computers and information in engineering conferences*, 1-10.
- Apalak M.K., Aldaş, K., Şen F., 2001. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş metal bindirme bağlantılarının laser nokta kaynağı esnasında meydana gelen ısı transferinin incelenmesi, *13.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Konya, Bildiri Kitabı*, 267-273.
- Boyd, J.G., Lagoudas, D.C., 1994. Thermo mechanical response of shape memory composites, *Journal of intelligent material systems and structures*, 5, 333 -346.
- Chawla, K.K., 1995. *Ceramic matrix composites*, Chapman & Hall , London , U.K.
- Çallıoğlu, H., Topçu, M., Altan, G., 2005. Stress analysis of curvilinearly orthotropic rotating discs under mechanical and thermal loading, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 24, 831- 838.
- Çallıoğlu, H., Topcu, M., Tarakçılar A.R., 2006. Elastic-plastic stress analysis of an orthotropic rotating disc, *International Journal of Mechanical Sciences*, 48, 9, 985-990.
- Çallıoğlu, H., 2007. Thermal stress analysis of curvilinearly orthotropic rotating discs, *Journal of Thermoplastic Composite*, 20, 357-369.
- Delibalta, A., 2005. Kompozit levhada pim analizi, Araştırma projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Ersoy, H.Y., 2001. *Kompozit Malzeme*, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Güven, U., Altay O., 1998. Linear hardening solid disk with rigid casing subjected to a uniform heat source, *Mechanics Research Communications*, 25, 6 , 679-684.
- Hiçyılmaz, N., Aydın, S., Sarıtaş, S., 1999. Toz metalürjisi ile üretilmiş alüminyum esaslı tanecikli kompozitlerin mekanik özellikleri, *2. Uluslararası Katılımlı Toz Metalürjisi Konferansı Bildiriler Kitabı*, 621-629.
- URL-1,
<http://www.bilgiustam.com/kompozit-malzemeler-hakkindahersey/#ixzz1dDnyEUCN>,
9 Kasım 2011.

URL-2,

<http://www.haddemetal.com/tr/Download/Kompozit%20Malzemeler.pdf>,

10 Kasım 2011.

URL-3,

www.teknolojikarastirmalar.com, 12 Aralık 2011.

Kaynak İ., Şen F., 2005. Thermal stres analysis of composite disc under uniform temperature effect using FEM, 15.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Trabzon, Bildiriler Kitabı Cilt 2, 912-916.

Kaw, A. K., 2006. Mechanics of Composite Materials, Taylor & Francis.

Kedward, T.K., Zhu, Y., Kiefer, H.S., 2005. Evluation of composite bonded joint designs for space applications. Structural Dynamics & Materials Conferance, Austin, Texas, 2005-2098.

Kılıç, E., 2006. Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Kyo Kook Jin., Je Hoon Oh ., Sung Kyu Ha., 2006. Effect of fiber arrangement on residua thermal stress distributions in a unidirectional composite. Hanyang Structures and Composites Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, 1271 Sa1-dong Sangrok-gu, Ansan-shi, Gyeonggi-do, 426-791.

Mackin, J.T.,Noe, S.C., Ball, K.J., 2002. Thermal cracking in disc brakes, Engineering Failure Analysis, 9, 1, 63-76.

Margolis, J.M., 1986. Advanced thermoset composites industrial and commercial applications. Van Nostrand Company, New York.

Mazumdar, S.K., 2002. Composites Manufacturing, Materials, Product and Process Engineering. 4-5s New York.

Moaveni, S., 2003. Finite element analysis: Theory and application with ANSYS, 2nd edition. Pearson Education. Inc. New Jersey. USA.

Öndurucu, A. And Topçu, M., 2006. Thermal residual stresses in simply supported thermoplastic laminated platesunder a parabolic temperature distribution, J. of Thermoplastic Com. Mat. 19, 155-171.

Özer, D., Ö, M., 2004. Düzlemsel yüklenmiş ortasında dairesel delik bulunan kompozit plakta oluşan elastik gerilmelerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. 19, 1, 51-57.

Reddy, J. N., 1997. Mechanics of Laminated Composite Plates Theory and Analysis, CRC, Press, New York.

Sayman, O., Karakuzu, R., Daghan, B. and Koçak S., 2002. Elastic-plastic stress analysis of thermoplastic composite beams under temperature distributed linearly, J. of Thermoplastic Composite Materials, 15, 193-208.

- Sayman O., 2006. Stress analysis of a thermoplastic composite disc under uniform temperature distribution, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 19.
- Shabana, Y.M., and Noda, N., 2001. Thermo-elasto-plastic stresses in functionally graded materials subjected to thermal loading taking residual stresses of fabrication process into consideration, *Composites: Part B*, 32, 111–121.
- Sımmazçelik, T., 2003. *Kompozit Malzemeler Ders Notları*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Smith, W.F., 2001. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, Çeviren: Kınıkoglu, N., Literatür Yayıncılık, İstanbul
- Staab, G. H. 1999. *Laminar Composites*, US: Butterworth-Heinemann.
- Sahin, İ., 2004. Silisyum karbür takviyeli al-si matrisli kompozit malzemelerin mikro yapılarının ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şen F., Aktaş M., Toparlı M., 2005. Farklı oryantasyon açılımlarına sahip tabakalı ve delikli termoplastik kompozit levhalarda üniform sıcaklık etkisi altında meydana gelen ısıl gerilmelerin incelenmesi, 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Trabzon, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 48-53.
- Şen, F., 2007. Farklı açılarda takviye edilmiş kare delikli alüminyum metal-matriksli kompozit plaklarda ısıl gerilmelerin hesaplanması, *Teknoloji Dergisi*, 10, 1, 21-30.
- Şen, F., Palancıoğlu H., 2006. Çapraz takviye edilmiş kare delikli termoplastik kompozit levhalarda ısıl gerilme analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12, 173-181.
- Şen, F., Palancıoğlu H., 2005. $[45^{\circ}/-45^{\circ}]_2$ tarzında simetrik ve antisimetrik oryantasyona sahip tabakalı ve delikli termoplastik kompozitlerde üniform sıcaklık etkisiyle meydana gelen ısıl gerilmelerin analizi, *Mühendis ve Makine*, 546, 27-35.
- Şen, F., 2008. The effect on thermal and residual stresses of parabolic temperature loading in a thermoplastic composite disc, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27, 51-67.
- Şen, F., 2007. Elastic-plastic thermal stresses in a composite disc with multiple holes, *Advanced Composite Letters*, 16, 3, 95-103.
- Şen, F., 2006-a. An investigation of thermal elasto-plastic stress analysis of laminated thermoplastic composites with a circular hole under uniform temperature loading, *Science and Engineering of Composite Materials*, 13, 213-224.
- Şen, F., 2006-b. The estimation of elasto-plastic thermal and residual stresses in a thermoplastic composite disc under uniform temperature effect, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25, 1485-1498.

- Şen, F., 2001. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirme bağlantısının laser nokta kaynağı esnasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve ısıl gerilmelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Tanır, O., 1997. Termoplastik kompozitlerin imali ve mekanik özelliklerinin bulunması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi, İzmir.
- Üçsular, İ., 2007. Termoplastik kompozitlerde farklı fiber örgü yapılarının ısıl yükleme davranışları üzerindeki etkileri, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Vatangül, E., 2008. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve Ansys 10 programı ile ısıl gerilme analizi, Bitirme projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Wood, W.L., Lewis, R.W., 1974. Comparison of time marching schemes for the transient heat conduction equation. *Int.J.Num.Meth.Eng.*, 9, 679-689.
- Yağcı, E., 2007. Tabakalı kompozit ince plakların plak düzlemine dik yükleme etkisi altındaki eğilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yapıcı, A., Şahin, S.Ö., 2003. Fiber takviyeli tabakalı termoplastik kompozit levhalarda delik-kenar arasında oluşan elasto-plastik gerilmeler, *Mühendis ve Makina*. 519, 41-46
- Yıldızhan, H., 2008. Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- You, L.H., Tang, Y.Y., Zhang, J.J. and Zheng, C.Y., 2000. Numerical analysis of elastic-plastic rotating disks with arbitrary variable thickness and density, *Int. J. Solids Struct.*, 37, 7809-7820.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aytaç ÜÇKARDAŞ

Doğum Yılı : 1989

Eğitim Durumu

Lisans : 2006-2010 Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü

Haberleşme Bilgileri

Adres : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü 68100 Aksaray

Telefon : 0 506 775 36 45

E-posta : aytacuckardas@gmail.com