



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

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**KOMPOZİT BİR DİSKTEKİ
ISIL GERİLMELER ÜZERİNDE
FARKLI SICAKLIK YÜKLERİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut SARKMAZ

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN**

ŞUBAT 2012

**AKSARAY
Her hakkı saklıdır**



T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

KOMPOZİT BİR DİSKTEKİ
ISIL GERİLMELER ÜZERİNDE
FARKLI SICAKLIK YÜKLERİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut SARKMAZ

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

ŞUBAT 2012

AKSARAY
Her hakkı saklıdır

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KABUL ve ONAY BELGESİ

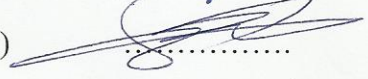
Mesut SARKMAZ tarafından hazırlanan “Kompozit Bir Diskteki Isıl Gerilmeler Üzerinde Farklı Sıcaklık Yüklerinin Etkisi” başlıklı lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 14.02.2012 tarih ve 2012/07-18 sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN (Aksaray Üniversitesi)

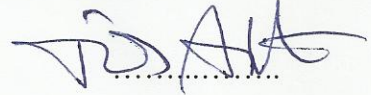
İmza



1. Jüri : Yrd. Doç. Dr. Semih BENLİ (Aksaray Üniversitesi)



2. Jüri : Yrd. Doç. Dr. İlhan ASILTÜRK (Selçuk Üniversitesi)



Tezin Savunulduğu Tarih: 23.02.2012

ONAY

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 29.02.2012 tarih ve 2012/09-08 sayılı kararı ile Mesut SARKMAZ’ın Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** derecesi alması onaylanmıştır.

Doç. Dr. Selçuk REİS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Kompozit malzemeler nispeten yeni bir alan olup İkinci Dünya Savaşı esnasında mevcut malzemelerin tek başlarına teknoloji karşısında belirli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile geliştirilmesine başlanmıştır. Kompozit malzemelerin üretimi mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir. Bu gelişmelerde öncü güç malzemelerdeki yoğunluğa göre yüksek dayanım ve elastik modülüdür.

Kompozit malzemelerdeki hızlı gelişmelere bağlı olarak gelişen alanlarından biride kompozit disk üretimi ve kullanılmasıdır. Kompozit diskler çok çeşitli sektörlerde çok çeşitli amaçlarda kullanılmaktadır. Kullanım yerlerinde de özellikle sıcaklık tesirinde kalmaktadır. Sıcaklık etkisiyle, kompozit disk üzerinde çeşitli büyüklüklerde ve dağılımlarda ısı gerilmeler meydana gelmektedir. Bu ısı gerilmelerin analiz edilmesi oldukça önemli bir araştırma konusudur.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan, “Kompozit Bir Diskteki Isıl Gerilmeler Üzerinde Farklı Sıcaklık Yüklerinin Etkisi” konulu çalışma ile kompozit bir diskteki ısı gerilmeler üzerine farklı sıcaklık yüklerinin etkisi incelenmiştir. 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 danışmanım Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN olmak üzere emeği geçen herkese sonsuz teşekkür ederim.

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit malzemeler	2
1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	3
1.2.1. Takviye malzemesine göre kompozitler.....	4
1.2.1.1. Tane takviyeli kompozit malzemeler.....	4
1.2.1.2. Fiber takviyeli kompozit malzemeler.....	5
1.2.1.3. Tabakalı kompozitler.....	6
1.2.1.4. Karma (Hibrid) kompozitler.....	7
1.2.2. Matris malzemelerine göre kompozitler.....	7
1.2.2.1. Polimer matrisli kompozitler.....	7
1.2.2.1.1. Termoplastikler.....	7
1.2.2.1.2. Termosetler.....	7
1.2.2.2. Metal matrisli kompozitler.....	8
1.2.2.3. Seramik matrisli kompozitler.....	8
1.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	9
1.4. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi.....	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	11
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	19
3.1. Kompozit disk problemi.....	19
3.2. Problemde Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	19
3.3. Sonlu Elemanlar Modeli.....	20
4. BULGULAR.....	26
4.1. Giriş.....	26
4.2. Elastik çözüm.....	26
4.3. Elastik-Plastik çözüm.....	33
4.4. Artık Gerilmeler.....	39

4.5. Plastik Şekil Değiş-tirmeler.....	41
5. SONUÇLAR.....	46
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOMPOZİT BİR DİSKTEKİ ISIL GERİLMELER ÜZERİNDE FARKLI SICAKLIK YÜKLERİNİN ETKİSİ

Mesut SARKMAZ

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

Bu çalışmanın amacı, termoplastik kompozit bir disk içindeki ısı gerilmelerin elastik-plastik olarak elde edilmesidir. Termoplastik disk çelik tellerle takviye edilmiştir. Modelleme ve çözüm işlemleri ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Isıl yük olarak, çeşitli üniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Çözüm iki aşamada tamamlanmıştır. İlk olarak, elastik çözüm yöntemi ile ısı elastik gerilmeler elde edilmiştir. İkinci olarak, elastik-plastik çözüm yöntemi kullanılarak ısı plastik gerilmeler hesaplanmıştır. Ayrıca, süperpozisyon yöntemi kullanılarak ısı artık gerilmeler bulunmuştur. Radyal ve teğetsel doğrultular için tüm ısı gerilmeler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygulanan üniform sıcaklık yüklerinden dolayı kompozit disk içerisinde ısı gerilmeler meydana gelmiştir. Çünkü kompozit disk, radyal ve teğetsel doğrultularda farklı ısı genleşme katsayılarına sahiptir. Açık bir şekilde anlaşıyor ki termoplastik diske etki eden üniform sıcaklığın değerindeki artış, hem ısı gerilmelerin hem de artık gerilmelerin dağılımını ve değerlerini etkilemektedir.

2012, 52 Sayfa

Anahtar kelimeler; Kompozit disk, Termoplastik disk, Isıl Gerilme, FEM, Artık Gerilme.

Bilim Kodu: 914

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE EFFECT ON THERMAL STRESSES OF DIFFERENT TEMPRETURE LOADS IN A COMPOSITE DISC

Mesut SARKMAZ

T.R.

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Faruk ŞEN

The aim of this study was to obtain of elastic-plastic thermal stresses in a thermoplastic composite disc. It was reinforced by steel fibers, curvilinearly. Finite element method (FEM) performed to calculate the thermal stress occurrences in the composite disc model. The modeling and solution procedures were carried out using ANSYS code. The various uniform temperature loadings were applied as the thermal loading. The solution was completed in two stages. Firstly, thermal elastic stresses were determined by elastic solution. Secondly, thermal plastic stresses were computed via elastic-plastic solution. In addition, the thermal residual stresses were calculated using the superposition method. All thermal stresses were obtained for both radial and tangential directions. According to obtained results, thermal stresses were occurred in composite disc by the applied uniform temperature loadings, since the composite disc have different thermal expansion coefficients through radial and tangential directions. It is clearly understand that the spreading and magnitudes of both thermal stresses and residual stresses in thermoplastic composite disc were strictly affected increasing of uniform temperature.

2012, 52 Pages

Key Words: Composite Disc, Thermoplastic Disc, Thermal Stress, FEM, Residual Stress.

Science Code: 914

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kompozit malzemelerin kullanım alanları	3
Şekil 1.2.	Kompozitlerin Gruplandırılması	4
Şekil 1.3.	Takviyeli kompozit malzemelerde liflerin kompozit içerisindeki dağılımları	6
Şekil 1.4.	Tarih boyunca malzemelerdeki gelişmelerin birbirine göre önemi	10
Şekil 3.1.	Çelik tellerle takviye edilmiş termoplastik kompozit diskin şematik görünümü.....	19
Şekil 3.2.	Kompozit diskin ANSYS ile modellenen üç boyutlu katı modeli	21
Şekil 3.3.	Sınır şartlarının kompozit disk modeline uygulanması	22
Şekil 3.4.	SOLID45 eleman tipi	23
Şekil 3.5.	Kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmüş hali	24
Şekil 4.1.	Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan elastik normal gerilmeler.....	28
Şekil 4.2.	Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde hesaplanan radyal gerilmeler	30
Şekil 4.3.	Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde hesaplanan teğetsel gerilmeler	31
Şekil 4.4.	Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde hesaplanan z yönü normal gerilmeler.....	32
Şekil 4.5.	Elastik-plastik çözüm için üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler	35
Şekil 4.6.	Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde elastik-plastik çözüm ile hesaplanan radyal gerilmeler	36
Şekil 4.7.	Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde elastik-plastik çözüm ile hesaplanan teğetsel gerilmeler	37
Şekil 4.8.	Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde elastik-plastik çözüm ile hesaplanan z yönünde normal gerilmeler.....	38
Şekil 4.9.	Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan artık gerilmeler	41
Şekil 4.10.	Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde radyal yöndeki plastik şekil değiştirme dağılımı.....	42
Şekil 4.11.	Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde teğetsel yöndeki plastik şekil değiştirme dağılımı.....	43

Şekil 4.12. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde Z yönündeki plastik şekil değiştirme dağılımı.....	44
Şekil 4.13. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde eşdeğer plastik şekil değiştirme dağılımı.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Kompozit malzemenin mekanik özellikleri.....	20
Çizelge 4.1.	Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan elastik çözüm normal gerilmeler	27
Çizelge 4.2.	Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan elastik-plastik çözüm normal gerilmeler.....	33
Çizelge 4.3.	Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan artık gerilmeler.....	39

SİMGELER DİZİNİ

E	Elastisite Modülü (MPa)
E_r	Radyal yöndeki Elastisite Modülü(MPa)
E_θ	Teğetsel yöndeki Elastisite Modülü(MPa)
ν	Poisson oranı
σ_r	Radyal doğrultudaki normal gerilme
σ_θ	Teğetsel doğrultudaki normal gerilme
σ_z	Z doğrultusundaki normal gerilme
$(\sigma_r)_r$	Radyal doğrultudaki artık gerilme
$(\sigma_r)_r$	Teğetsel doğrultudaki artık gerilme
$(\sigma_r)_r$	Z doğrultusundaki artık gerilme
T	Üniform sıcaklık
ε_r	Radyal doğrultudaki şekil değiştirme
ε_θ	Teğetsel doğrultudaki şekil değiştirme
ε_z	Z doğrultusundaki şekil değiştirme
ε_{eqv}	Eşdeğer şekil değiştirme
$G_{r\theta}$	Kayma Modülü (MPa)
X	Fiber doğrultusundaki maksimum çekme gerilmesi
Y	Fibere dik doğrultudaki maksimum çekme gerilmesi
S	Maksimum kayma gerilmesi
K	Mukavemet katsayısı
α	Isıl genleşme katsayısı (1/°C)
α_r	Radyal yöndeki ısı genleşme katsayısı
α_θ	Teğetsel yöndeki ısı genleşme katsayısı
$(\sigma_r)_e$	Radyal doğrultudaki elastik normal gerilme
$(\sigma_\theta)_e$	Teğetsel doğrultudaki elastik normal gerilme
$(\sigma_z)_e$	Z doğrultusundaki elastik normal gerilme
$(\sigma_r)_p$	Radyal doğrultudaki elastik-plastik normal gerilme
$(\sigma_\theta)_p$	Teğetsel doğrultudaki elastik-plastik normal gerilme
$(\sigma_z)_p$	Z doğrultusundaki elastik-plastik normal gerilme

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Kullanılabilir cisimler yapmak için doğal veya yapay olarak üretilmiş maddelere malzeme denir. Günümüzde birçok malzeme tipi vardır. Malzemeler tiplerine göre: seramik, metalik, polimer, elastomer, cam, kompozit malzemeler olarak sınıflandırılabilir (Soy, 2009). Yirminci yüzyılın ikinci yarısında tekniğin hızla gelişmesi ve beraberinde sanayinin temel ihtiyacı olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanması sağlanmıştır (Aydın, 1997). Fakat bu gelişim, doğal olarak bulunan malzemelerin sınırlı olması ve bu malzemelerin özelliklerinin ihtiyaçları karşılamaması nedeniyle bilim insanlarının yeni malzemeler araştırmaya yöneltmiştir. Kompozit malzeme terimindeki kompozit kelimesi, makroskobik ölçülerde faydalı malzeme üretmek için iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesini ifade eder.

Kompozit terimini anlatmak için aşağıdaki maddeleri kullanmak gerekmektedir.

- İnsanlar tarafından üretilmiş olmalıdır,
- Birbirleri ile uyumlu olmalı fakat kimyasal olarak birbirlerinden farklı olmalı ve birbirleri ile reaksiyona girmemelidirler,
- Bileşenler tarafından üç boyutta karışmasıyla oluşmalı,
- Sonuçta elde edilen kompozitin özellikleri, tek başına bir bileşenden elde edilememelidir (Kurnaz, 1993).

Kompozit malzeme üretimindeki nihai amaç kompozit malzemeyi oluşturacak olan bileşenlerin üstün özelliklerini bir araya getirerek yorulma dayanımı, korozyon dayanımı, aşınma dayanımı, ısı iletkenlik, rijitlik, elektrik iletkenliği, maliyet, yüksek sıcaklık özellikleri gibi üstünlüklerin istenmesidir (Günaydın, 2003).

1.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; aynı veya farklı gruplardaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki bir araya getirmek için, makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilirler. Kompozit malzeme, temel olarak birbiri içerisinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla

bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemidir. Kompozit malzemeler, doğrudan istenilen maksatta kullanılmadan en az iki ayrı malzemeden belli olan bir özelliği elde edebilmek için, bu malzemelerin belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesiyle elde edilirler. Bir kompozit malzeme genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır. Ancak, molekül ve atomsal düzeyde birleştirilen malzemeler alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaz (Demircioğlu, 2006). Kompozit malzemeleri konvansiyonel malzemelerden ayıran en önemli özellik kompozit malzemelerdeki malzeme kombinasyonunun sonsuz sayıda olmasıdır. Bu oluşturulacak olan malzemenin özelliklerinin istenildiği gibi değiştirilmesi olanağı sağlar (Günaydın, 2003).

Kompozit malzemeler, örneklerini doğadan almış olup çok uzun bir kullanım tarihine sahiptirler. İlk kullanımları hakkında kesin bir bilgi olmamakla beraber, çok uzun zamandır kullanılmaktadır. Orta çağa ait kılıçlar ve zırhlar farklı malzemelerin tabakalanmasıyla yapılmıştır (Günaydın, 2003). Tabiatta bulunan kompozit yapıya örnek çam ağacıdır. Çam ağacının gövdesi kompozit bir yapı göstermektedir. Gövde içinde yaz ve kış mevsimlerinde oluşmuş yaş halkaları iç içe bir görünümde ve yaz halkaları yumuşak ama esnek, kış halkaları sert ama kırılgandır. Böylece, çam ağacının gövdesi diğer ağaçlara nazaran daha sağlam olmasını sağlar. Kırsal bölgelerde yapı malzemesi olarak saman çöpleriyle takviye edilmiş olan kerpiçler kompozit malzemelerin en ilkel örneklerindendir (Demircioğlu, 2006).

Kompozit malzemelerin ticari olarak kullanımı son yıllarda büyük oranda artmıştır. Şekil 1.1.'de tipik kullanım alanları verilmiştir.

Uzay	Uzay Yapıları Anten
Hava Araçları	Uçak Motor Kutuları Ana Kirişler Kapılar Kanat Boşlukları Ana Gövde Türbin Bıçakları
Otomobil	Motor Gövdesi Ana Gövde Piston Kolları Akü Plakaları
Elektrik	Motor Fırçaları Pil Plakaları
Tıp	Protezler Tekerlekli Sandalyeler Ortopedik Araçlar
Spor	Tenis Raketleri Olta Çubukları Bisiklet ve Motosiklet Gövdeleri
Tekstil	Mekikler

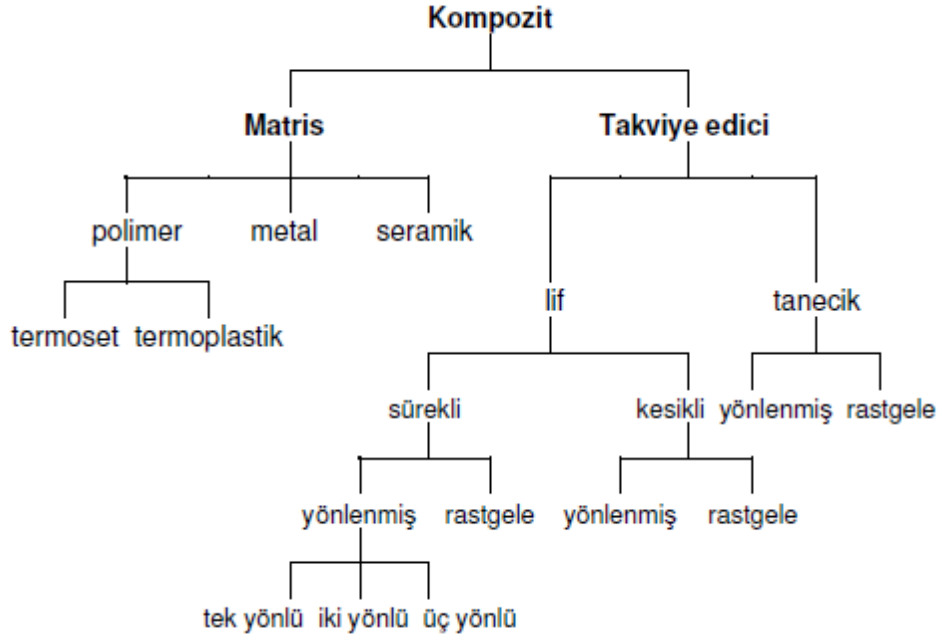
Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanları (Kurnaz, 1993)

1.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris adı verilen bir ana bileşen ve yüksek mukavemet ve yüksek elastisite modülüne sahip olan takviye elemanı (fiber, tane, tanecik, dolgu) olarak adlandırılan yapısal bileşenlerden oluşur. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerden matrisler, kompozit malzemeye gelen yükün fiberlere dağılmasını ve malzemeye dışarıdan gelen etkilerden korumasını sağlar. Matrisler polimerler, seramikler ve metallerden oluşurlar. Bunların içerisinde en yaygın kullanılanı reçineler olarak bilinen polimerlerdir. Polimerler termosetler ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılırlar. Termoplastik ile termosetler arasındaki en önemli fark; termoplastiklere ısı verilerek sonsuz sayıda şekil verilebilmesi, termosetlerde ise sertleştikten sonra, tekrar

ısıtıldıklarında bozulmalarıdır. Termosetler, termoplastiklerden daha serttir ve yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklıdır. Ayrıca, termosetlerin proses zamanı termoplastiklere göre daha uzundur (Günaydın, 2003).

Kompozitler farklı yaklaşımlarla kendi içlerinde gruplandırılabilir, ancak en yaygın olarak Şekil 1.2.' de gösterilen takviye malzemesi ve matris türüne göre yapılanıdır (Demircioğlu, 2006).



Şekil 1.2. Kompozitlerin Gruplandırılması (Demircioğlu, 2006)

Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanına göre üç grupta incelenebilir. Bunlar;

1.2.1 Takviye malzemesine göre kompozitler

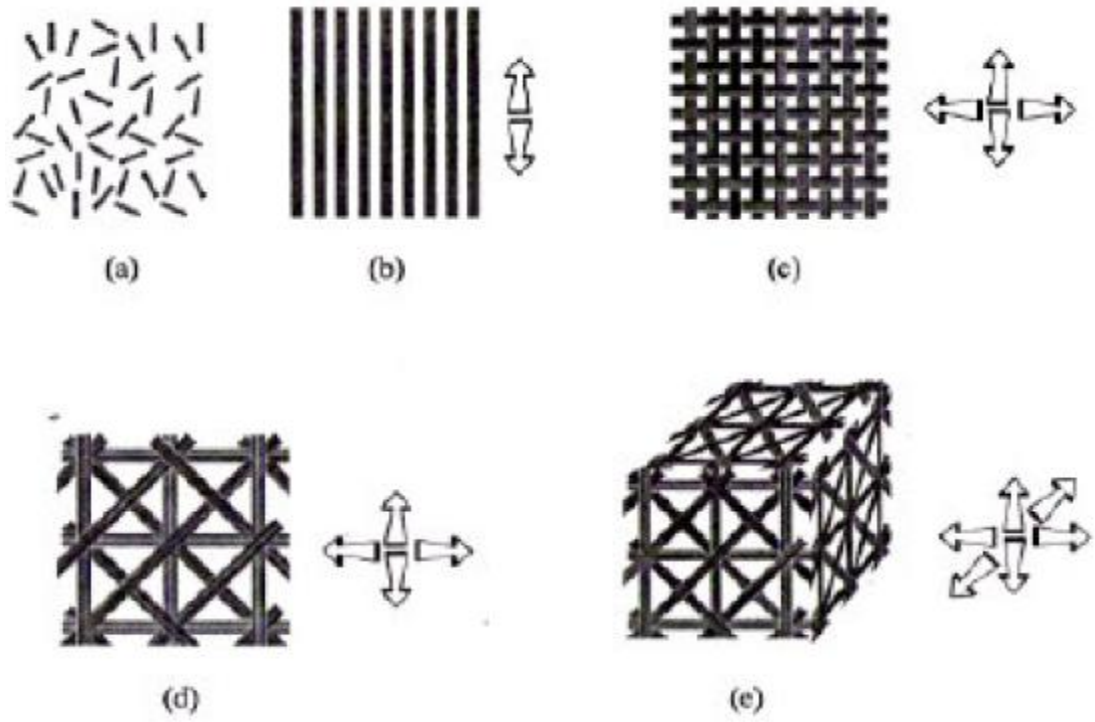
1.2.1.1 Tane takviyeli kompozit malzemeler

Tane takviyeli kompozitlerde takviye elemanı, genelde uzun boyutlara sahip olmayan yapılardır. Takviye malzemesinin boyutları, takviye malzeme özelliklerinin, kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Aynı zamanda uzun boyutlara sahip takviye elemanı, oluşan çatlakların büyümesini önler. Bu sebeple lifler, matrisin kırılma dayanımını artırmak için etkili bir takviyedir. Parçacıklar genelde kırılma dayanımını geliştirecek bir etki göstermezler. Bununla birlikte lastik türü malzeme taneleri, özellikle gevrek

matrislerde kırılma dayanımını artırmaktadır. Tanecikler matrise kıyasla doğalarındaki sertlik nedeniyle, matrisin plastik deformasyonunda bazı kısıtlamalara neden olur. Parçacıklar da yükü paylaşmaktadır. Fakat liflerin yük eksenine paralel olarak yerleştirildiği kompozitlere kıyasla bu, çok düşük bir seviyededir. Bu nedenle taneler, kompozitin sertliğini yükseltmede etkili olurken dayanımı yükseltmede fazla bir etkiye sahip değildirler. Tane dolgular, her ne kadar yaygın olarak ısı ve elektriksel iletkenliği değiştirmek, yüksek sıcaklık performansını geliştirmek, sürtünmeyi azaltmak, aşınma dayanımını arttırmak, makinede işlenebilirliğini geliştirmek, yüzey sertliğini artırmak ve büzülmeyi azaltmak amaçları için kullanılsa da, birçok durumda sadece maliyeti azaltmak için kullanılırlar (Ersoy, 2005).

1.2.1.2 Fiber takviyeli kompozit malzemeler

Yumuşak ve sünek matris içinde sert, elastığı yüksek ve dayanıklı elyaflar ilave edildiğinde çekme dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özellikleri iyileştirilir. Matris malzemesi kuvveti elyaflara transfer ederek yumuşaklık ve tokluk özelliği sağlarken elyaf uygulanan yükü çoğunu taşımaktadır. Elyafların kompozit içerisine belli doğrultularda yerleştirilebilmeleri büyük bir avantaj sağlar, lifler kompozit içerisine uygun geometrilerde yerleştirilerek, kompozitin çekme gibi yüklemelere farklı yönlerde farklı yanıtlar vermesini sağlar (anizotropi). Örnek olarak kompozitin kopma dayanımı, liflerin yönlendirildiği eksene 90° lik açıdan yapılan yüklemelerde en büyük olacaktır. Benzer şekilde vurma dayanımı, ısı iletkenlik, ısı genleşme gibi davranışlar da liflerin yönlenme eksenine açısal bağlıdır. Liflerle yapılan takviye, lif yönlenmesi ayarlanarak sözü edilen özelliklerin yöne bağlı kontrolüne olanak sağlar (Demircioğlu, 2006). Şekil 1.3.'te lif takviyeli kompozit malzemelerde liflerin kompozit içerisindeki dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerde Liflerin Kompozit İçerisindeki Dağılımları a) Kesikli Rastgele b) Sürekli Tek Yönlü c) Sürekli Düzlemsel d) Sürekli Düzlemsel Üç Boyutlu e) Üç Boyutlu (Oklar, Mekanik Dayanımın İyi Olduğu Yönleri Gösterir) (Demircioğlu, 2006)

1.2.1.3 Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit tipidir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebilmektedir. Isıya neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler. Ayrıca uçak yapılarında yaygın kullanım olanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler (Bağcı, 2010).

1.2.1.4 Karma (hibrid) kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması mümkündür. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örnek olarak kevlar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemetine sahip bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozit tokluğu grafit kompozitden iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitden daha yüksek olmaktadır (Bağcı 2010).

1.2.2 Matris malzemesine göre kompozitler

1.2.2.1 Polimer matrisli kompozitler

1.2.2.1.1 Termoplastikler

Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ısıtıldıklarında yumuşarlar. Isı ve basınç uygulandığında plastik özelliklerini kaybetmeyip koruyan plastikler olup, ısı ve basınç uygulayarak, defalarca şekillendirilebilirler. Bu özellik bir mumun eritilip, kalıplandıktan sonra soğutulup başka bir şekle sokulmasında olduğu gibidir. Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmaması, güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine sahiptirler (Altınışık, 2007).

1.2.2.1.2 Termosetler

Termosetler bir kere ısı ve basınç altında şekillendirildikten sonra tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Ancak bir defa işlenebilirler, çünkü şekillendirme işlemi sırasında kimyasal değişim olur ve plastik özelliğini yitirerek sert bir madde

haline gelirler. Bu sert madde torna, freze gibi makinelerde işlenebilir. Çoğu termoset matris sertleşmemesi için dondurucuda depolanır. Termosetlerin piyasada pek çok türleri vardır. Kendilerine özgü özelliklerinden dolayı termoset plastikler tek başlarına kullanılamayıp, termoplastikler gibi diğer katkı maddeleri ile karıştırılarak kullanılırlar (Altınışik, 2007).

1.2.2.2 Metal matrisli kompozitler

Kompoziti sürekli bir arada tutan ve bu bütünlük içinde elyafla birlikte malzemenin özelliklerini belirleyen matris malzemesi olarak metaller, taşıyıcılık açısından, özellikle polimer matris malzemesine kıyasla yüksek dayanıma sahiptirler. Üretimleri zor olup maliyeti yüksek olmasına karşın, metal matris malzemesi kompozitin tokluğunu önemli ölçüde arttırmakta ve yüksek sıcaklık etkisindeki uygulamalara olanak vermektedir. Metallerin matris malzemesi olarak kullanılması yine metal olan birçok ince elyafların üretimiyle başlamıştır. Kompozit üretiminde metal matris malzemesi olarak bakır, alüminyum, titan, nikel, gümüş gibi metaller başta gelmektedir. Matris malzemesi erimiş halde, moleküler yapıda, levha veya ince tabaka şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kaplama, haddeleme yöntemleriyle elyaflarla birleştirilmektedir. Bu birleşmede kullanılacak yüksek dayanımlı elyaf tel ve kılların zedelenmemesi ve tahrip olmaması sağlanmalıdır. Metal matris içinde en kolay kullanılabilen elyaflar, bor ve borik elyaftır. Bu kompozit malzeme, 300 °C sıcaklığa kadar oda sıcaklığında özelliğini koruyabilmektedir. Bu kompozitin üretimi 450–500 °C sıcaklıkta sıcak presleme yöntemiyle yapılmaktadır (Bağcı, 2010).

1.2.2.3 Seramik matrisli kompozitler

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

Seramik - seramik sistemi: İki seramik fazın karışmasından oluşmaktadır. Örnek olarak saf çini verilebilir.

Seramik - cam sistemi: Yaşamımızın her alanında kullanılan porselen, bir seramik cam kompozitidir. Kuartz fiberlerin bir cam matris içersine çini ile birlikte hamurlanıp yerleştirilmesiyle oluşmuştur.

Seramik - metal sistemi: Bu türler, çok fazlı bir yapıya sahiptirler (Becenen, 2008).

1.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler, insanlar tarafından üretildiği gibi, doğada da bulunmaktadır. Buna örnek olarak; ahşap, kaya, kemik ve kerpiç verilebilir. Ahşap, selüloz fiberlerinin oluşturduğu hücreler ve bu hücreler, lignin adı verilen doğal yapıştırıcı ile bağlanarak, bir kompozit yapı oluşturmuşlardır. Kompozit malzemelerin kullanımdaki temel avantajı, yüksek rijitlik ve dayanımın hafiflikle birleştirilebilmesidir. Kompozit malzemelerin ağırlıklarının düşük olması, hafif yapıların oluşturulması için büyük bir avantaj sağlar. Bu nedenle, kompozit malzemelerin kullanım alanı oldukça geniştir. Kullanım alanlarını şöyle sıralayabiliriz:

Şehircilik: Toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında(heykeller, banklar, elektrik direkleri v.b) kullanılmaktadır. Bunlar hafiflik ve yüksek mekanik dayanım kazandırmaktadır.

Ev aletleri: Masa, sandalye, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi v.b birçok ev aletlerinde kullanılır. Bu şekilde komple ve karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlamaktadır.

Elektrik-Elektronik sanayi: Elektriksel yalıtım malzemeleri ve her tür elektronik malzemenin yapımında kullanılır.

Havacılık sanayi: Bu alanda gün geçtikçe daha fazla uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır. Böylece daha hafif malzeme ile atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır.

Otomotiv sanayi: Otomobil kaporta parçaları, iç kısımdaki donanımlar, bazı motor parçaları, tamponlar ve lastiklerdir. Bunların en büyük tercih sebebi hafiflik ve uzun ömürdür.

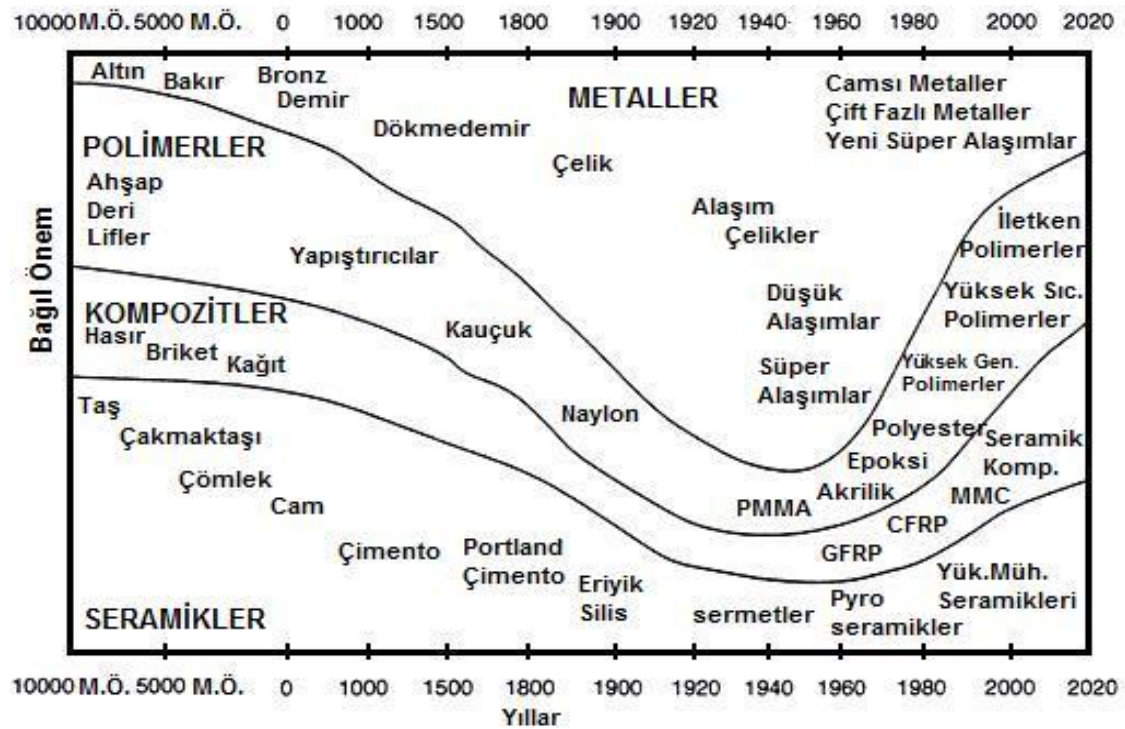
İş makineleri: Özellikle kapakları ve çalışma kabinlerinde kullanılmaktadır. Böylece kullanılan parça sayısı azalmakta ve tek parça üretim sağlanmaktadır.

İnşaat sektörü: Cephe korumaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, reklâm panoları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamasıdır. Esnek kullanım, nakliye ve montaj kolaylığından dolayı tercih edilmektedir. Ayrıca yalıtım problemi ve bakım giderleri azalmaktadır.

Tarım sektörü: Seralar, tahıl toplama siloları, su boruları ve sulama kanalları kompozit malzemelerden yapılmaktadır. Bunlar korozyona dayanıklılık, tabiat şartlarına uygunluk, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajları vardır (Adin, 2007).

1.4 Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

Bilindiği üzere, yaygın olarak kullanılan yapı elemanları, metaller, polimerler, kompozitler ve seramikler olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Bahsedilen 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 1.4'te gösterilmiştir (Staab, 1999). Bu şekilden açıkça görüldüğü gibi kompozit malzemelerin kullanımı sanıldığı gibi sadece son yıllarda değil, tarihin çok eski çağlarından beri var olmuştur. Bununla birlikte, son yıllarda, kompozitlerin kullanımı ve kullanım alanlarında çok ciddi artışlar meydana gelmiştir.



Şekil 1.4. Tarih boyunca malzemelerdeki gelişmelerin birbirine göre önemi
(Staab, 1999)

BÖLÜM II

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışma konusunda ve çalışmada kullanılan malzemeler ile ilgili geniş bir kaynak taraması yapılmış ve içerik olarak konuya yakın olan çalışmaların bir kısmına aşağıda değinilmiştir.

You ve arkadaşları (2000), da elastik-plastik dönen disklerde değişen kalınlıklarda isteğe bağlı kesitlerde ve isteğe bağlı değişken yoğunluklarda yapılan doğrusal olmayan pekleşmiş malzemeler için sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir.

Şen (2001), epoksi türü bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış çok ince metal plakaların, laser nokta kaynağı sırasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve delik şeklinin meydana gelmesi incelenmiştir. Böylece silindirik koordinatlarda iki boyutlu ısı transferi modeli oluşturulmuş ve sonlu farklar metodu yardımıyla, Fortran kullanılarak program yazılmıştır. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum, titanyum ve çelik plakalarda sıcaklık dağılımları belirlenmiş. Daha sonra, laser nokta kaynağı yapılmış olan bu bindirme bağlantısının gerilme ve şekil değiştirme analizleri yapılmıştır. Bu bölümde, bu tür problemlerin çözümünde etkili bir yöntem olan sonlu eleman metodu kullanılmıştır. Bütün analizler ANSYS sonlu eleman yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler alüminyum, titanyum ve çeliğin, deneysel gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) sonuçlarına dayanılarak yapılmıştır. Lazer tarafından oluşturulan delik etrafında ortaya çıkan elastik, plastik, ısı gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) dağılımları incelenmiştir.

Apalak ve arkadaşları (2001), epoksi yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış çok ince metal plakaların, laser nokta kaynağı sırasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve delik şeklinin oluşumu araştırılmış. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum, titanyum ve çelik plakalarda sıcaklık dağılımları ortaya çıkarılmıştır.

Jahed and Shirazi (2001), yüksek sıcaklıklarda sıkı geçme dönel diskler için deformasyon ve yer değiştirmeler ile ilgili artık ve yükleme gerilmelerini raporlamışlardır. Bu çalışmada, bir dizi malzeme davranışı yüklemesiz şekilde dahil olmak üzere dikkate alınmıştır. Çeşitli yükleme çökmeleri elde edilmiş ve tasarım

sınırları için müzakere edilmiştir. Artık gerilmelerin üzerindeki tekrar yüklemelerin etkisi aynı zamanda çalışılmış ve burada görülmüştür ki ilk birkaç yüklemeden sonra diskteki artık gerilme alanı sabitleşmiştir.

Eraslan ve Orcan (2002), çeşitli kalınlıklardaki dönen katı disklerdeki elastik-plastik gerilme dağılımı için bir analitik çözüm sunmuşlardır. Bu analiz, Tresca'nın akma kıstasına dayalıdır, düşük kural ve lineer pekleşme malzeme davranışı ile ilişkilidir. Bu göstermiştir ki disk profilin şekline bağlı olarak, merkez bölgedeki radyal gerilme, çevresel gerilmeyi geçebilmektedir. Disk ekseninden uzakta gelişen plastik bölge, yield kriterinin farklı matematik formları ile etkilenen, üç dairesel bölgeden oluşur. Bu plastik bölgelerin açısal hızın artmasıyla yayılması, boyutsuz şekillenen gerilmelerin ve deformasyonların dağılımıyla ortak elde edilir.

Sayman (2004), ortotropik, delikli, alüminyum metal matrisli kompozit bir diskte analitik olarak termal gerilme analizi yapmıştır. Bu çalışmada, gerilme analizi geliştirilen FORTRAN yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çallıoğlu (2004), cam elyaf takviyeli epoksi matrise sahip delikli bir diskteki ısı gerilmeleri incelemiştir. Bazı hususlara bağlı olarak polinomlar kullanılarak çözümün yakın bir formu yapılmış. Isı dağılımı içten dışa radyal yön boyunca parabolik olarak değişken seçilmiş. Sıcaklık yükseldikçe iç yüzeydeki açısal gerilme bileşenleri azalırken, dış yüzeyde artmaktadır ve radyal gerilme bileşenleri azalmaktadır. Radyal yer değiştirmeler hesaplanmış ve dış yüzeydekilerin iç yüzeydekilere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Sayman ve arkadaşları (2005), sabit sıcaklık dağılımı altında çelik elyaflarla eğrisel takviyeli termoplastik kompozit diskteki elastik-plastik termal gerilme analizini yapmışlardır. Malzemenin mekanik özellikleri strangage ve Instron test makinesi ile elde edilmiş. Teğetsel yöndeki elastisite modülü, tam olarak, kompozit diske uygun bir katı disk ile ölçülmüş. Buna rağmen, diğer malzeme özellikleri yaklaşık olarak bulunmuştur. Malzemede pekleşme olmadığı varsayılmıştır. Pekleşme olmayan durumda çözüm sayısal olarak yapılmıştır. Gerilmeler, üniform sıcaklık dağılımı için çözülmüştür. Açısal gerilme bileşenlerinin polar koordinatlardaki büyüklüğü, diskin iç noktalarındakinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Plastik çözüm nümerik olarak

yapılmıştır. Plastik bölge diskin iç yüzeyinde başlamıştır. Açısal gerilmenin artık gerilme bileşenleri diskin iç yüzeyinde daha büyük olduğu saptanmıştır.

Sayer ve arkadaşları (2005), düşük yoğunluktaki cam elyaflarla eğrisel takviyeli termoplastik kompozit disk üzerinde çalışmışlardır. Kullandıkları malzemenin mekanik özelliklerini Instron test makinesi kullanarak elde etmişler. Açısal yöndeki elastisite modülü, kompozit diske uygun bir katı disk ile strangage ile ölçülmüş. Üniform ve lineer değişen sıcaklıklar için termal gerilme çözümlenirken, bir analitik metot kullanılmıştır. Polar koordinatlardaki açısal gerilme bileşenlerinin büyüklükleri diskin iç yüzeyinde en yüksek olduğu görülmüştür.

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

Çallıoğlu ve arkadaşları (2005), kompozit dönen bir diskteki mekanik ve ısı gerilmeleri üzerine çalışmışlardır. Dönen disk içten ve dıştan basınç etkisi altındadır ve ayrıca değişen bir parabolik bir sıcaklık etkisi etkimektedir. Teğetsel gerilmelerin, radyal gerilmelerden daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.

Şen (2006), üniform sıcaklık etkisi altında bir termoplastik kompozit diskteki elastoplastik termal ve artık gerilmeleri incelemişler. Bu çalışmada, tek yönlü çelik lif takviyeli termoplastik kompozit bir disk için elastoplastik gerilme analizi yapmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi, kompozit disk modeldeki termal elastik ve elastoplastik gerilme dağılımının hesaplanmasında kullanılmıştır. Bunun için Ansys programından yararlanılmıştır. Üniform sıcaklığın etkilerini değerlendirmek için farklı sıcaklık yüklemeleri üniform olarak disk model üzerine uygulanmıştır. Radyal ve açısal gerilmeler, 80°C den 120°C ye kadar olan üniform sıcaklık yüklemeleri için hesaplanmış. Kompozit diskin radyal ve açısal yönlerde farklı termal genişlemeler olduğundan termal gerilme, üniform sıcaklık değeri uygulanarak sağlanmıştır. Açısal gerilme bileşenlerinin büyüklükleri, elastik ve elastik-plastik çözümler için radyal

gerilme bileşenlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bununla beraber, artık gerilme bileşenleri, elastik ve elastik plastik çözümler kullanılarak elde edilmiş. Elde edilen sonuçlara göre, ısı gerilmelerin dağılımı ve değerleri, üniform sıcaklık yüklerindeki artıştan etkilenmektedir.

Şen ve Sayer (2006), çelik liflerle eğrisel takviyeli termoplastik kompozit diskte elastoplastik termal gerilmeleri belirlemişlerdir. Termal gerilmeyi bulmak için sonlu elemanlar metodu kullanmışlardır. Analizler, ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Isıl yük olarak, farklı sıcaklık dağılımları üniform olarak kompozit disk model üzerine uygulanmıştır. Radyal ve açısıl gerilmeler, üniform sıcaklık dağılımı 60 °C den 120 °C'e kadar çözülmüştür. Kompozit diskin radyal ve açısıl yönlerde farklı termal genişlemeler olduğundan termal gerilme, üniform sıcaklık değeri uygulanarak sağlanmıştır. Açısıl gerilme bileşenlerinin büyüklükleri, elastik ve elastik-plastik çözümler için radyal gerilme bileşenlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar göstermiştir ki termal ve artık gerilmeler üniform sıcaklık değerlerindeki artışla ciddi biçimde etkilenmektedir.

Şen (2006), 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 üniform sıcaklık dağılımı uygulanmıştır. Kompozit malzeme olarak çelik fiberlerle takviye edilmiş termoplastik matris malzeme özellikleri kullanılmıştır. Isıl gerilme analizi sonlu eleman programı ANSYS kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan üniform sıcaklık artışına ve tabaka dizilişinde bağlı olarak, kompozit malzemelerdeki ısı gerilmelerin değerlerinde artışlar meydana gelmiştir.

Çallıoğlu ve arkadaşları (2006), kompozit dönen bir disk için elastik-plastik gerilme analizini analitik olarak yapmışlardır. Plastik bölgenin dağılımını görmek için bir kaç farklı açısıl hız uygulanmıştır. Çalışmada 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 görülmüştür. Diskin iç yüzeyinde meydana gelen artık gerilmelerin değerlerinin, diskin dış yüzeyinde meydana gelen artık gerilmelerden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

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

şen (2007), farklı açılarda takviye edilmiş kare delikli alüminyum metal matrisli kompozit plakalarda ısı gerilmeleri hesaplamıştır. Bu çalışmada, elik fiberlerle farklı oryantasyonlarda takviye edilmiş alüminyum metal matrisli tabakalı kompozit plakalarda meydana gelen ısı gerilmeler üzerine, bir kare deliğin etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada ısı yük olarak malzeme üzerine farklı üniform sıcaklık dağılımı uygulanmıştır. Tabakalı kompozit plakalar, dört farklı tabakacığın birleştirilmesi ile oluşturulmuş. Diziliş, $[15^\circ/-15^\circ]_s$, $[30^\circ/-30^\circ]_s$, ve $[60^\circ/-60^\circ]_s$ simetrik oryantasyon şeklinde düzenlenmiştir. Isı gerilme dağılımlarının hesaplanması için sonlu elemanlar metodu uygulanmış. Bu sebeple sonlu elemanlar programı olan ANSYS kullanılmıştır. Tabakalı kare kompozit plaka genişliğinin, kare deliğin genişliğine oranı olan a/b , 5 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ısı gerilmelerin dağılımı ve değerleri, üniform sıcaklık yüklerindeki artıştan ve oryantasyonun değişmesinden etkilenmektedir. Bunun yanı sıra kare delik etrafında gerilme yığılması birikmektedir.

şen (2007), çoklu delikli termoplastik kompozit bir diskteki elastik-plastik termal gerilmeleri incelemiştir. Bu çalışmada termal yük olarak değişik üniform sıcaklık dağılımları disk üzerine uygulanmış. Kullanılan termoplastik kompozit disk radyal yönde elik fiberlerle takviye edilmiş. Termal ve artık gerilmeleri zmede sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış. Bu sebeple, ANSYS sonlu elemanlar programından faydalanılmış. Açısal gerilmeler, deliklerin bulunduğu yüzeyler haricinde, radyal gerilmelerden yüksek olduğu bulunmuştur. Bu alışma göstermiştir ki termal ve artık gerilme büyüklükleri, sıcaklık yüklemelerindeki artışla ciddi biçimde etkilenmektedir.

şen ve arkadaşları (2007), elik liflerle takviye edilmiş termoplastik kompozit bir diskte parabolik sıcaklık dağılımı altındaki termal gerilme analizini incelemişlerdir. Termal

elastik ve elastik-plastik çözümler, analitik ve nümerik olarak elde edilmiştir. Karşılaştırma için, bu yüzden, FORTRAN ve ANSYS programları termal gerilme hesaplanmasında kullanılmış. Parabolik sıcaklık dağılımı için kompozit diskte radyal ve açısall yönde farklı termal genleşmeler meydana gelmiş. Radyal gerilme bileşenleri açısall gerilme bileşenlerinden küçük olduğu görölmüşür. Ek olarak, açısall gerilmelerin iç yüzeyde en yüksek olduğu görölmüşür.

Çallıoğlu (2007), dönen kompozit bir disk üzerine üniform ve lineer gibi azalan veya artan sıcaklıkların etkisindeki ısıll gerilmeleri hesaplamışür. Dönen disk içerisindeki radyal ve teğetsel gerilmeler üç farklı sıcaklık profili için hesaplanmışür. 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 anlaşılmışür. Yapılan çalışmada, ayrıca radyal şekil değıştirmeler analitik olarak hesaplanmışür ve tüm sıcaklık yükleri altında diskin dış yüzeyinde daha yüksek, iç yüzeyinde daha alçak değerlerde olduğu saptanmışür.

Şen ve arkadaşları (2008), birçok pim/cıvata deliğı olan bir kompozit diske üniform termal yüklemenin etkisini araştırmışlar. Bu çalışmadaki disk, kısa cam fiberler ile takviye edilmiş, polimer kompozit disk olarak sıkıştırma ve püskürtme kalıp tekniğı kullanılarak üretilmiş ve elektronik mikroskop kullanılarak mikro yapısı gözlemlenmiş. Bir termo-elastik gerilme analizi sonlu elemanlar yöntemi ile uygulanmış. Bu sebeple, Ansys programından yararlanılmış. Termal gerilme üzerindeki etkilerini gözlemlmek için yuvarlak delikler oluşturulmuş. Termal yükleme disk üzerine üniform şekilde dağıtılmış. Termal analiz sonuçları çizgisinde açısall gerilme değerleri radyal gerilme değerlerden fazla olduğu görölmüş. Kompozit diskteki termal gerilmelerin dağılımı ve büyüklüklerinin, pim/cıvata deliklerinin bulunması ve üniform sıcaklık yüklemelerinin artmasıyla çok etkilendiğı görölmüşür.

Çallıoğlu ve Karakaya (2008), sıcaklık etkisinde ki bir diskte meydana gelen termal gerilmelerin analitik ve sonlu elemanlar metodu ile çözümlenmesi yapılmışür. Bu çalışmada disk üst üste geçirilmiş izotropik malzemelerden oluşmaktadır ve sıcaklık dağılımı iç yüzeyden dış yüzeye doğru azalan parabolik bir fonksiyon olarak verilmişür.

Şen (2008), termoplastik kompozit bir diske parabolik sıcaklık yüklemesinde oluşan termal ve artık gerilmeleri incelemiş. Disk radyal yönde çelik fiberlerle

yönlendirilmiştir. Kompozit disk modeldeki termal elastik, elastik-plastik ve artık gerilmelerin dağılımı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. Bu nedenle, termal gerilme analizi ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Model diske 80°C dan 120°C ye değişik sıcaklık yükleri diskin içinden dışına doğru yarıçap boyunca uygulanmıştır. Kompozit diskin radyal ve açısall yönlerde farklı termal genişlemeler olduğundan termal gerilme, termal yükleme uygulanarak sağlanmıştır. Bu çalışma da açısall gerilme bileşenleri radyal gerilme bileşenlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Ek olarak, artık gerilme bileşenleri elastik ve elastik-plastik çözüm sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, termal ve radyal gerilme büyüklükleri parabolik sıcaklık yüklemeleri ile çok artmaktadır.

Şen ve Aldaş (2009), tek yönlü çelik fiberlerle takviye edilmiş termoplastik kompozit diskteki oluşan termal gerilmeleri elde etmek için bir çalışma yapmışlar. Kompozit diskteki elastik ve elastik-plastik gerilme dağılımını hesaplamada sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış. Bu sebeple, çözüm ANSYS programı kullanılmış. Sıcaklık yüklemesi, diskte iç yüzeyden dış yüzeye doğru lineer değişen şekilde seçilmiş. 90 °C den 130 °C ye değişen sıcaklıklar uygulanmış. Kompozit diskin radyal ve açısall yönlerde farklı termal genişlemeler olduğundan termal gerilme, termal yükleme uygulanarak uygulanmıştır. Termal analiz sonuçları çizgisinde açısall gerilme değerleri radyal gerilme değerlerinin üzerinde olduğu görülmüş. Artık gerilmeler elastik ve elastik-plastik çözüm sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, termal gerilmelerin ve artık gerilmelerin, dağılımları ve büyüklükleri lineer sıcaklık yüklemesinden büyük oranda etkilenmektedir.

Şen (2009), dairesel delikli çapraz takviye edilmiş alüminyum metal matrisli kompozit levhalarda ısıl gerilme analizini yapmıştır. Bu çalışmada, ortasında dairesel delik bulunan çelik fiberlerle çapraz olarak takviye edilmiş alüminyum metal-matrisli tabakalı kompozit levhalarda ısıl gerilme analizi yapılmıştır. Üç boyutlu model üzerine, ısıl yük olarak farklı değerlerde seçilmiş üniform sıcaklık dağılımları uygulanmıştır. Tabakalı kompozit levhalar, takviye edilmiş dört tane tabakanın üst üste bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Tabakaların dizilişi, simetrik $[0^\circ/90^\circ]_s$ ve anti simetrik $[0^\circ/90^\circ]_2$ oryantasyonlar şeklinde yapılmıştır. Isıl gerilme dağılımlarının hesaplanması için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bunun için sonlu elemanlar çözümünde etkin olan Ansys programı kullanılmıştır. Tabakalı kompozit levha genişliğinin, ortasında yer alan dairesel deliğin çapına oranı olan L/D, 5 olarak seçilmiştir. Isıl gerilme analizinin

sonuçlarına göre, ısı gerilmelerin, artan üniform sıcaklık yükünden, tabakaların dizilişinden ve dairesel deliğin varlığından etkilendiği gözlemlenmiştir.

Şen ve Sayer (2010), termoplastik kompozit bir disk üzerine birden çok deliğin etkisini araştırmışlar. Bu amaçla, radyal yön için eğrisel olarak çelik fiberlerle, termoplastik kompozit disk takviye edilmiş ve termal yükleme, farklı sıcaklıklarda aynı dağılım için uygulanmıştır. Çözüm elastik ve elastik-plastik analiz için iki bölümde tamamlanmıştır. Ek olarak, artık gerilmeler bu analizler kullanılarak hesaplanmış. Sonlu elemanlar metodu, termal gerilmelerin hesaplanmasında yararlı olmuştur. Bu sebeple, sonlu eleman programı olan ANSYS, bu çalışmada kullanılmıştır. Kompozit diskin radyal ve açısall yönlerde farklı termal genişlemeler olduğundan termal gerilme, termal yükleme uygulanarak uygulanmıştır. Termal analiz sonuçları çizgisinde açısall gerilme değerleri radyal gerilme değerlerinin, delik kenarları hariç, üzerinde olduğu görölmüş. Bu çalışma ile kompozit diskteki termal ve artık gerilmelerin, çoklu deliklerin var olması ve üniform sıcaklık yüklemelerinin artmasıyla, kesin bir şekilde etkilendiği görölmüştür.

Altan ve Topçu (2010), yaptıkları çalışmada, alüminyum matrise sahip çelik fiberle takviye edilmiş metal matrisli bir kompozit diskin elastik gerilme analizini yapmışlardır. Oluşturmuş oldukları modele lineer sıcaklık dağılımı uygulamışlardır. Çözümde nümerik ve analitik olmak üzere iki yöntem uygulamışlardır. Analitik çalışma için bir program geliştirmişler, bununla birlikte nümerik çalışma için Abaqus 6.8 paket programını kullanmışlardır. Çalışmanın sonucuna göre iki metot uyumlu sonuçlar vermiştir.

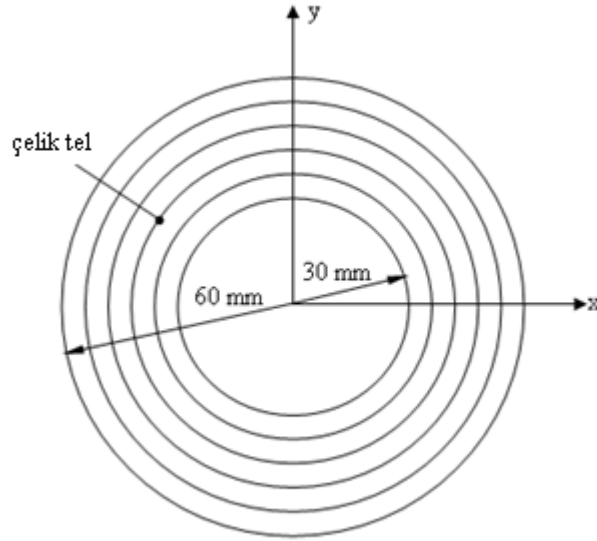
Yukarıda verilen kaynak özetlerinden de açıkça anlaşıldığı üzere kompozit disklerle ilgili çeşitli çalışmalar daha önceden yapılmıştır. Bu çalışmalarda farklı sınır şartları ile çözümler gerçekleştirilmiştir. Fakat daha önce yapılan çalışmaların en önemli özeliği, iki boyutlu olarak modelleme ve çözümün gerçekleştirilmiş olmasıdır. Bu çalışmada, önceki çalışmalardan önemli bir fark olarak, kompozit diskler üç boyutlu olarak modellenmiştir.

BÖLÜM III

3. MALZEME ve YÖNTEM

3.1. Kompozit Disk Problemi

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. Bu kompozit disk termoplastik matrise sahiptir ve çelik tellerle takviye edilmiştir (Sayman ve ark., 2005). Kompozit disklerle ilgili ve bir kısmından Bölüm 2’de bahsedilen çalışmalarda, kompozit disklerin modelleme ve çözümlerinin genel olarak iki boyutlu olarak yapıldığı görülmektedir. Fakat bu yeni çalışmada, kompozit disk üç boyutlu olarak modellenmiş, sınır şartları üç boyutlu modele göre oluşturulmuş ve çözümler üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı, daha önceki çalışmalardan farklı olarak kompozit diske $t=4$ mm olacak şekilde bir kalınlık tanımlanmıştır. Kısacası, modelleme ve çözümleme üç boyutlu olarak yapılmıştır.



Şekil 3.1. Çelik tellerle takviye edilmiş termoplastik kompozit diskin şematik görünümü

3.2. Problemde Kullanılan Malzeme Özellikleri

Üç boyutlu olarak modellenen termoplastik matrise sahip ve çelik tellerle takviye edilmiş kompozit diskin malzeme özellikleri için literatürden yararlanılmıştır. Bu nedenle, daha önce Sayman ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada elde edilen ve analizlerde kullanılan malzeme özellikleri tercih edilmiştir. Bu önceki

çalışmadan elde edilen malzeme özellikleri Çizelge 3.1.'de listelenmiştir (Sayman ve ark., 2005).

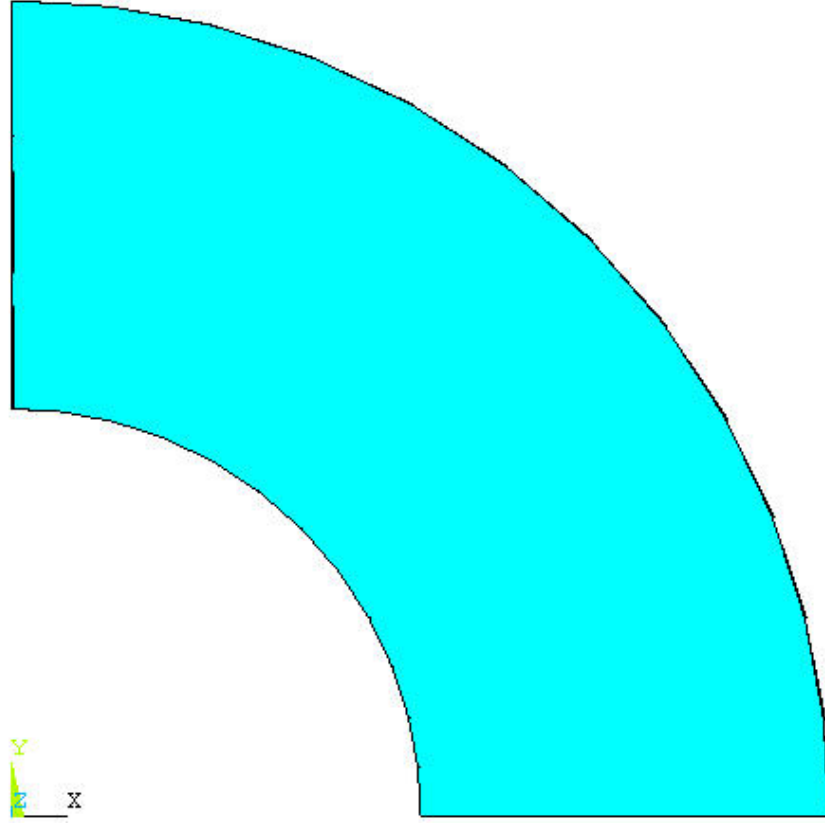
Çizelge 3.1. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri (Sayman ve ark., 2005)

E_r (MPa)	E_θ (MPa)	$G_{r\theta}$ (MPa)	$\nu_{r\theta}$	X (MPa)	Y (MPa)	S (MPa)	K (MPa)	α_r (1/°C)	α_θ (1/°C)
260	11300	75	0.43	14.0	5.4	3.8	92.0	$130.0 \cdot 10^{-6}$	$12.8 \cdot 10^{-6}$

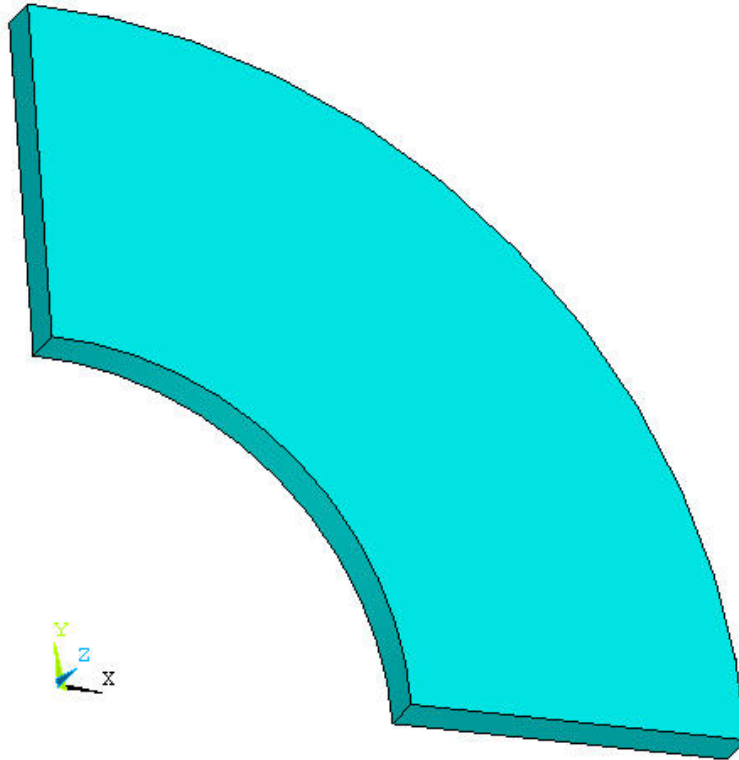
3.3. Sonlu Elemanlar Modeli

Bu çalışmada son yıllarda birçok farklı alanda ve mühendislik problemlerinin çözümünde tercih edilen bir yöntem olan sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu nedenle bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS yazılımından yararlanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak hazırlanmış çeşitli yazılımlar olmasına rağmen, ANSYS yazılımının tercih edilmesinin nedeni, daha önce yapılan hem bilimsel çalışmalarda hem de çeşitli sektörlerde yapılan birçok çalışmalarda oldukça yaygın olarak tercih edilmiş ve ediliyor olmasıdır. Özetlenecek olursa, bu çalışma için termoplastik matrisli kompozit diskin hem modellenmesi hem de çözümü ANSYS yazılımı kullanılmak suretiyle yapılmıştır.

Modellenen kompozit diskin katı modeli Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Problemin sahip olduğu simetri koşullarından dolayı, kompozit diskin sadece 1/4'lük kısmının modellenmesi yeterli olmuştur. Bu nedenle, katı model üzerinde elde edilecek olan eleman sayısı ve düğüm noktası sayısının daha az olması amaçlanmıştır. Böylece, problemin çözüm süresinin kısaltılması ve ayrıca elde edilecek sonuç dosyalarının boyutlarının küçültülmesi hedeflenmiştir. Bu şekilde, herhangi bir kompozit diskin tamamı yerine bir kısmının modellenerek çözüm yapılabilmesi, sonlu elemanlar metodunun ve ayrıca ANSYS yazılımının sağladığı önemli bir avantajdır.

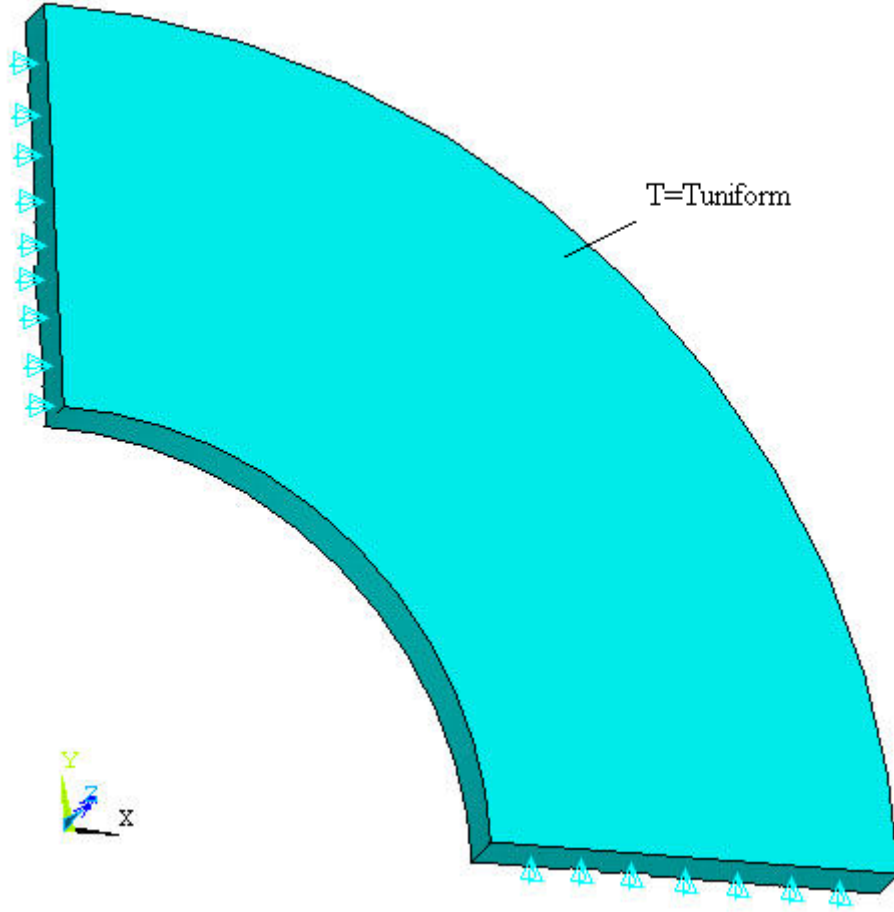


a) Modelin önden görünüşü



b) Modelin üç boyutlu görüntüsü

Şekil 3.2 Kompozit diskin ANSYS ile modellenen üç boyutlu katı modeli

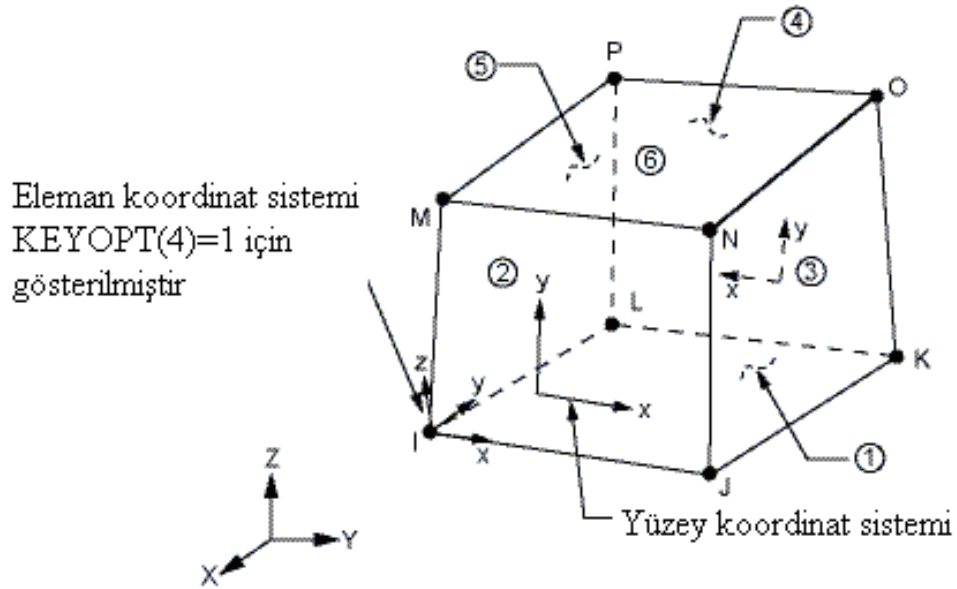


Şekil 3.3. Sınır şartlarının kompozit disk modeline uygulanması

Katı modelleme işleminin tamamlanmasından sonra, oluşturulan katı disk modele uygun üç boyutlu sınır şartları uygulanmıştır. ANSYS ortamında, üç boyutlu kompozit disk modeline sınır şartlarının uygulanması Şekil 3.3.'te gösterilmiştir. Bu şekilden açıkça görüldüğü gibi diskin 1/4'üne ve simetri koşullarına uygun olarak, yapısal sınır şartları uygulanmıştır. Yapısal sınır şartlarının modele uygulanmasından sonra, çözüm için ısı sınır şartı modele uygulanmıştır. Bu amaçla, sıcaklık etkisinin ısıl gerilmeler, şekil değiştirmeler ve artık gerilmelerin değerleri ve disk üzerindeki dağılımları üzerine etkisini gözlemlemek amacıyla, çeşitli değerlerde üniform sıcaklıklar kompozit disk üzerine etki ettirilmiştir ve her bir üniform sıcaklık yükü için ısıl gerilme analizleri tekrarlanmıştır.

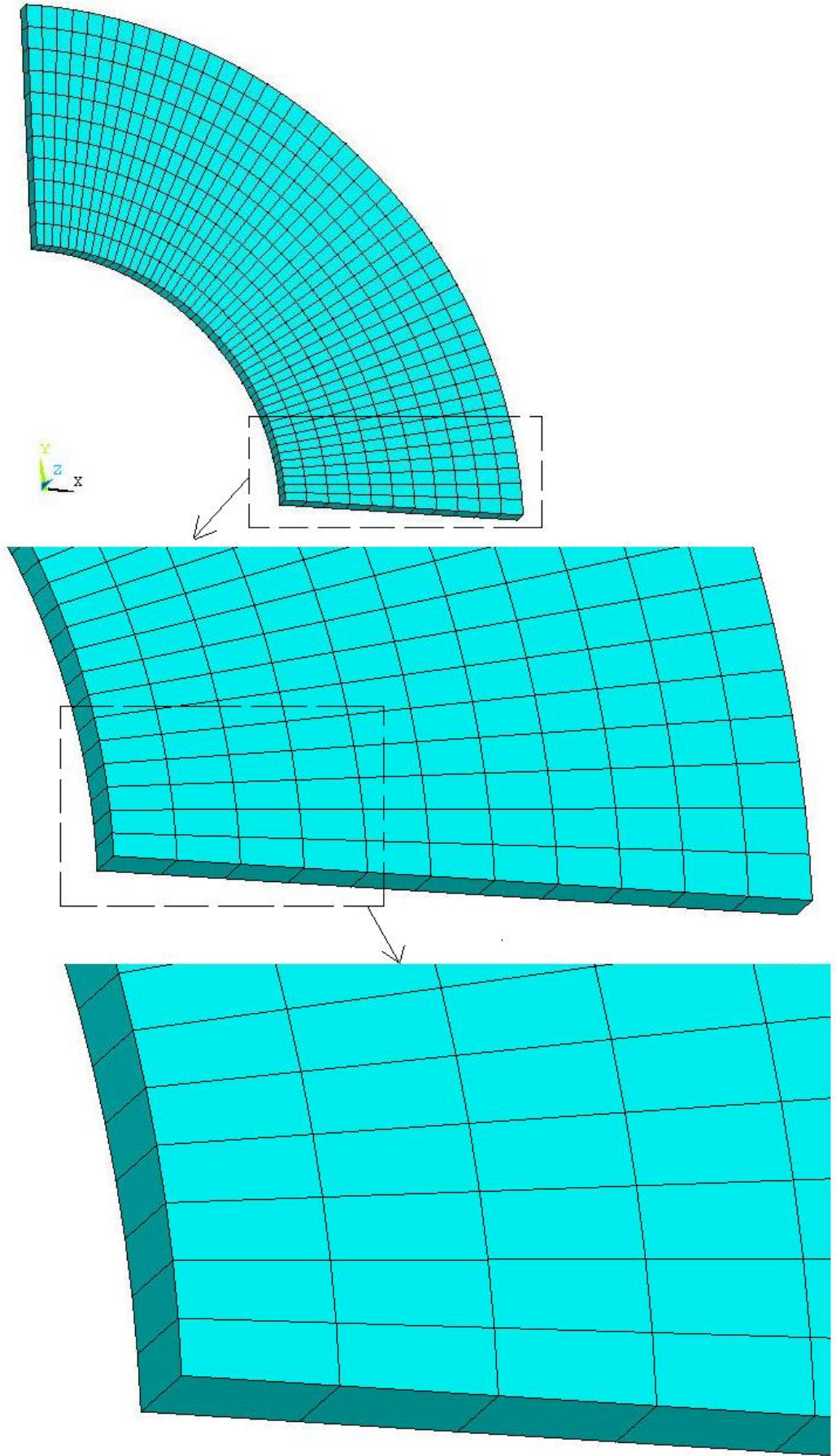
Sonlu elemanlarla çözüm işleminde en önemli aşamalardan biri hiç şüphesiz, oluşturulan katı model üzerinde sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulmasıdır. Elde edilen katı modelin (Şekil 3.2.) sonlu elemanlarla çözüm için, uygun bir sonlu elemanlar yapısına bölünmesi, elde edilecek çözümü ve sonuçları direkt olarak etkilemektedir.

ANSYS yazılımında, katı model üzerinde sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulması safhasında kullanılmak üzere çeşitli özelliklere sahip elemanlar hazır edilmiştir. Yazılımında yer alan bu elemanlar; iki boyutlu çözümler, üç boyutlu çözümler, dönel simetrik çözümler vb. için farklı amaçlara uygun özelliklerdedir (ANSYS; Moaveni, 2003). Bu elemanların farklı problemlerde, farklı olarak seçilmesindeki temel farklılık, çözülmek istenen probleme uygulanması gereken giriş sınır şartları ve elde edilmek istenen sonuç verilerine uygun olmalarıdır. Bu çalışmada, modellemenin üç boyutlu olmasından dolayı, Şekil 3.4.'te görülen ve üç boyutlu yapıya uygun olan SOLID45 eleman tipi kullanılmak suretiyle sonlu elemanlar ağ yapısı elde edilmiştir. Burada şunu da açıklamak gerekir ki, bu çalışmada iki boyutlu elemanların kullanılması ve oluşturulan katı model üzerinde (Şekil 3.3.) sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulması mümkün değildir.



Şekil 3.4. SOLID45 eleman tipi (ANSYS)

Çalışma sürecinde uygun eleman tipinin seçilmesinden sonra, kompozit diskin sonlu elemanlara bölme işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen ve kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmüş hali Şekil 3.5.' te gösterilmiştir. Bu şekilde ayrıca model üzerindeki bazı kısımlar büyütülmüş olarak verilmiştir. Bu şekilde şeklin detaylandırılması ile kompozit disk üzerinde oluşturulan sonlu elemanlar ağ yapısının daha iyi görülebilmesi ve anlaşılabilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 3.5 Kompozit diskin sonlu elamanlara bölünmüş hali

Şekil 3.5.'ten açıkça görüldüğü gibi üç boyutlu kompozit disk üzerinde dörtgen elemanlardan oluşan düzgün bir ağ yapısı elde edilmiştir. Bu konuda bilinmesi gereken husus, diskin dairesel yapısı ve iç kısmında bulunan deliğin dairesel yapısı nedeniyle, böyle bir model üzerinde düzgün dörtgen elemanlardan oluşan düzgün bir ağ yapısı elde etmek oldukça zordur. Bu olumsuzluklara rağmen, bu çalışmada, ANSYS yazılımının sağladığı bazı özel avantajlardan yararlanmak suretiyle, Şekil 3.5.'te gösterildiği gibi üç boyutlu kompozit disk üzerinde, düzgün bir ağ yapısının oluşturulabilmesi sağlanmıştır. Kompozit disk modelin sonlu elemanlara bölme işlemi sonucunda, 1/4 kompozit disk modeli üzerinde, 528 eleman ve 1176 düğüm noktası elde edilmiştir.

BÖLÜM IV

4. BULGULAR

4.1 Giriş

Önceki bölümlerde; kompozit malzemeler, literatürdeki kompozit disklerle ilgili çalışmalar, üç boyutlu kompozit diskin modellenmesi ve model üzerinde üç boyutlu ağ yapısının oluşturulması aşamalarına değinildi. Bu bölümde de ısı etkisinde ki üç boyutlu termoplastik kompozit bir diskin gerilme analizi sonucunda elde edilen sonuçlara değinilecektir. Bu sonuçlar, sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple, üç boyutlu modellemeler ve analizler bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Kompozit diske, farklı değerlerde üniform sıcaklıkların etki ettiği varsayılmıştır. Bu üniform sıcaklıklar belirli oranlarda arttırılarak uygulanmıştır. Sıcaklık yükü olarak, üç boyutlu kompozit disk üzerine sırasıyla 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 °C üniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Çözümler, elastik ve elastik-plastik olarak yapılmıştır. Her bir üniform sıcaklıklar tesiriyle üç boyutlu kompozit disk üzerinde oluşan ısı gerilmelerin değerleri ve dağılımları elde edilmiştir.

4.2 Elastik Çözüm

İlk olarak, farklı üniform sıcaklıklar etkisindeki kompozit disk için elastik çözümler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen normal gerilmelerin değerleri Çizelge 4.1.'de listelenmiştir. Kompozit diskin iç ve dış yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin, basma ve çekme şeklinde değişiklikler gösterdiği görülmüştür. Bu sebeple, bu çizelge de analizlerden elde edilen sonuçlar listelenirken, gerilme bileşenlerinin, iç yüzey ve dış yüzey değerleri verilmiştir. Çizelgede verilen eksili değerler, oluşan gerilmenin basma formunda meydana geldiğini göstermektedir.

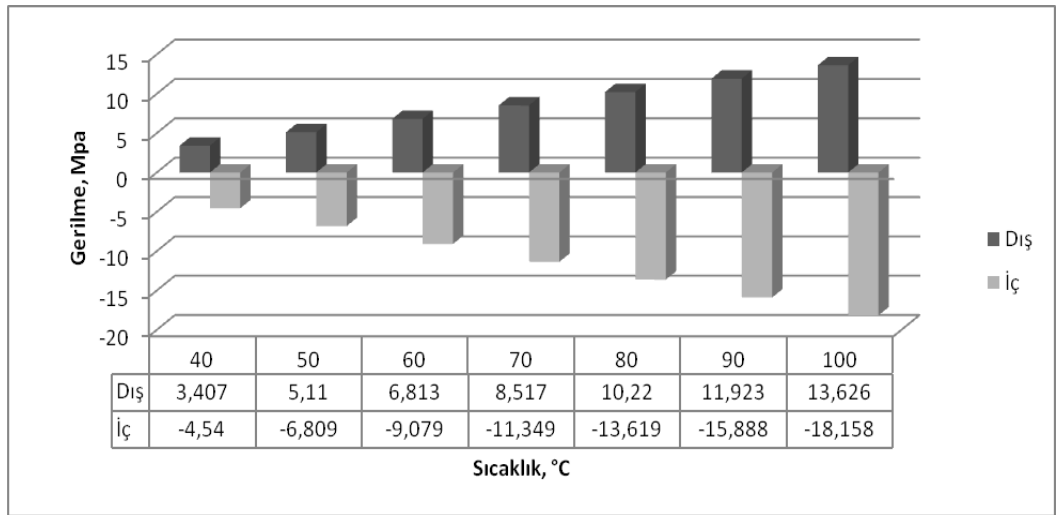
Bu çizelgeden görüldüğü gibi ısı gerilmelerin mutlak değer olarak değerleri, üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, modellenen kompozit disk için en düşük gerilmeler uygulanan 40 °C üniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek gerilmeler 100 °C üniform sıcaklık etkisinde iken hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 100 °C üniform sıcaklık yükü için çekme ve basma şeklindeki en yüksek ısı gerilme değerleri sırasıyla 13,626 MPa ve -18,158 MPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1.'den görüldüğü üzere z-yönünde meydana gelen gerilmelerin değerlerinin radyal ve teğetsel yönlerde meydana gelen gerilmelerden daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmıştır. Üç boyutlu kompozit diskin iç yüzeyinde basma formunda ısı gerilmeleri meydana gelirken, dış yüzeyinde çekme formunda ısı gerilmeleri oluşmuştur. Ayrıca, iç yüzeyde meydana gelen ısı gerilmelerinin mutlak değer olarak değerlerinin, diskin dış yüzeyinde oluşan çekme gerilmelerinin değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir.

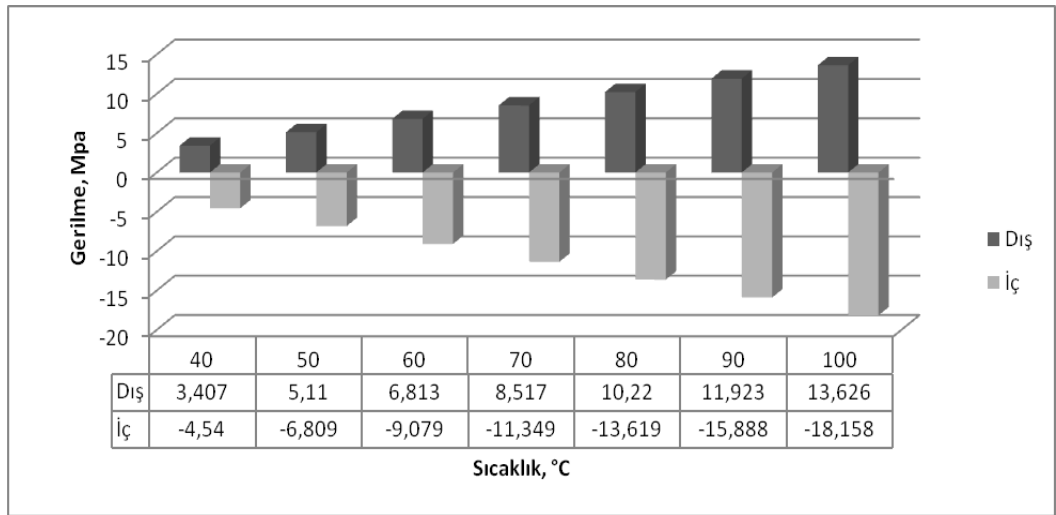
Çizelge 4.1. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan elastik çözüm normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

Sıcaklık (°C)	Yüzey	Normal Gerilmeler (MPa)		
		σ_r	σ_θ	σ_z
40	İç	-4.540	-4.540	-0.016
	Dış	3.407	3.407	0.006
50	İç	-6.809	-6.809	-0.025
	Dış	5.110	5.110	0.010
60	İç	-9.079	-9.079	-0.033
	Dış	6.813	6.813	0.013
70	İç	-11.349	-11.349	-0.041
	Dış	8.517	8.517	0.016
80	İç	-13.619	-13.619	-0.050
	Dış	10.220	10.220	0.020
90	İç	-15.888	-15.888	-0.058
	Dış	11.923	11.923	0.023
100	İç	-18.158	-18.158	-0.066
	Dış	13.626	13.626	0.026

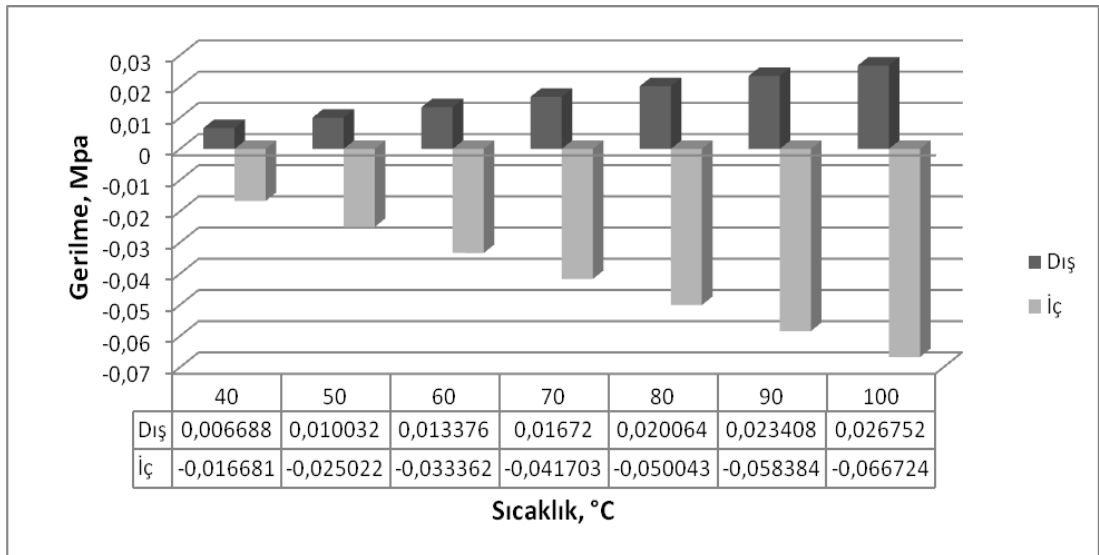
Uygulanan üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler; radyal yöndeki (σ_r), teğetsel yöndeki (σ_θ) ve z yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Çizelge 4.1.'de listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, üniform sıcaklık yükündeki artışa bağlı olarak, ısı gerilmelerinde meydana gelen artış açıkça görülebilmektedir.



a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)



b) Teğetsel yöndeki normal gerilme (σ_θ)



c) Z yönündeki normal gerilme (σ_z)

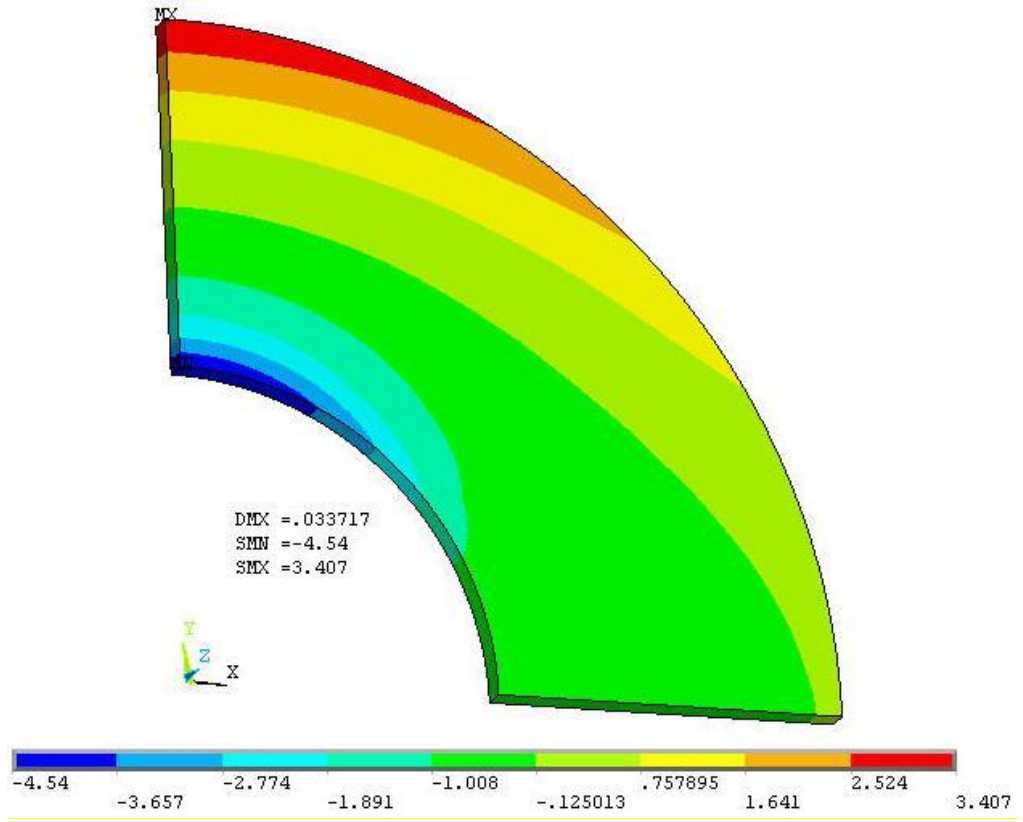
Şekil 4.1. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan elastik normal gerilmeler

Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin, radyal ve teğetsel yönlerde hesaplanan gerilmelerin değerlerinden, ihmal edilebilecek değerlerde, çok daha küçük olduğu görülmektedir.

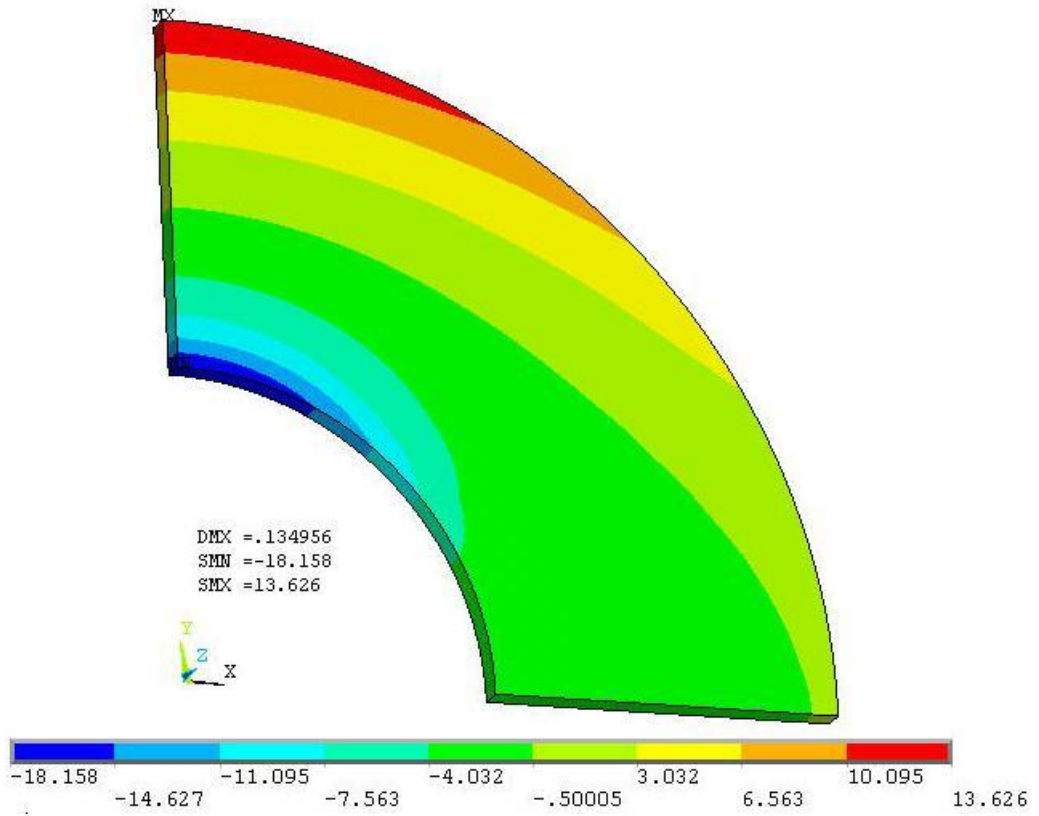
ANSYS sonlu elemanlar yazılımının avantajlarından bir tanesi de analizler sonucunda elde edilen gerilmelerin üç boyutlu kompozit disk üzerinde renkli kontur şeklinde gösterilebilmesidir. Böylelikle, kompozit disk üzerinde gerilme yığılmalarının meydana geldiği bölgeler rahatlıkla belirlenebilmektedir. Yapılan çalışmalarla alakalı en düşük ve en yüksek sıcaklık 40 °C ve 100 °C üniform sıcaklıklarındaki sonuçlar radyal gerilme, teğetsel gerilme 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 basma gerilmeleri dış yüzeyinde ise çekme gerilmeleri meydana geldiği görülmektedir. Bu şekillerden ayrıca basma gerilmelerinin değerlerinin mutlak değer olarak çekme gerilmelerinden daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir.

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

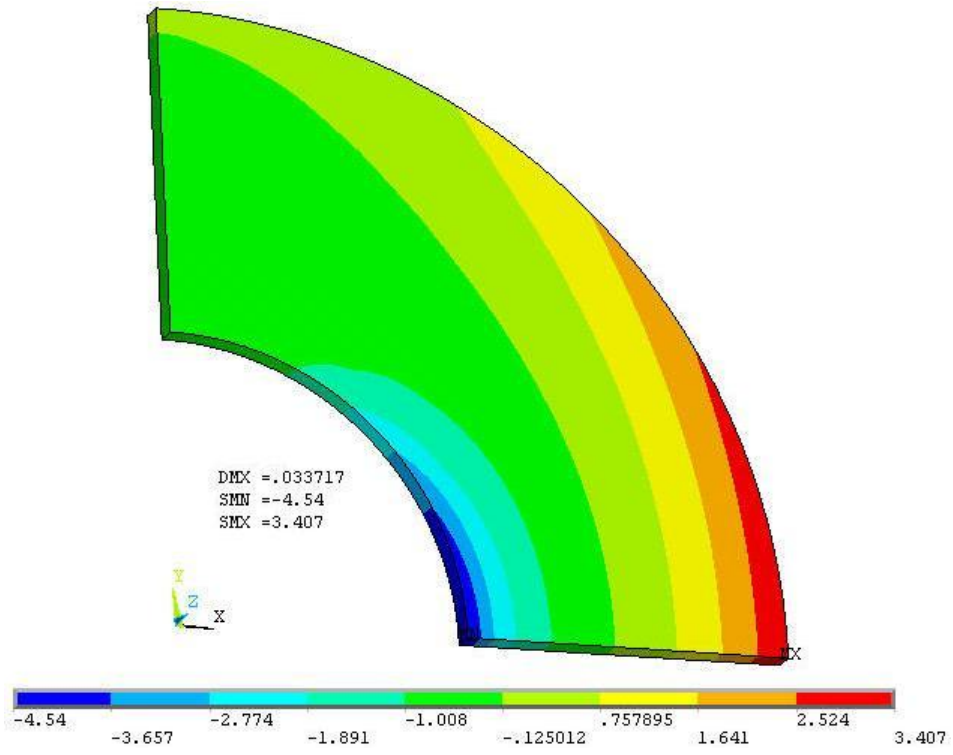


a) 40 °C

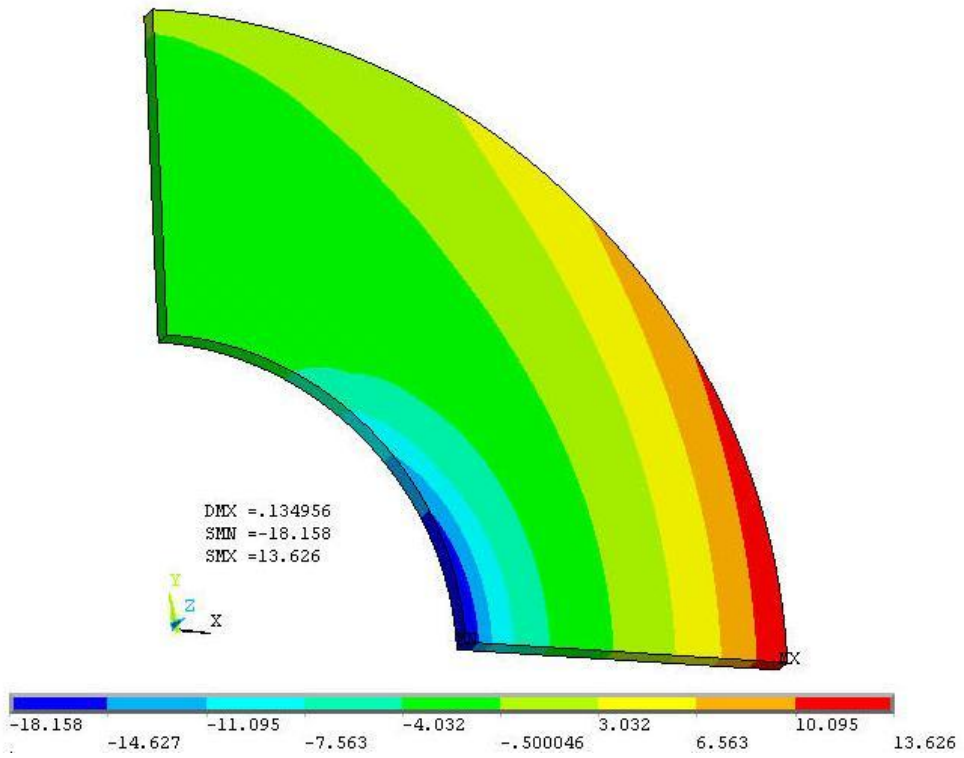


b) 100 °C

Şekil 4.2. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde hesaplanan radyal gerilmeler (σ_r)

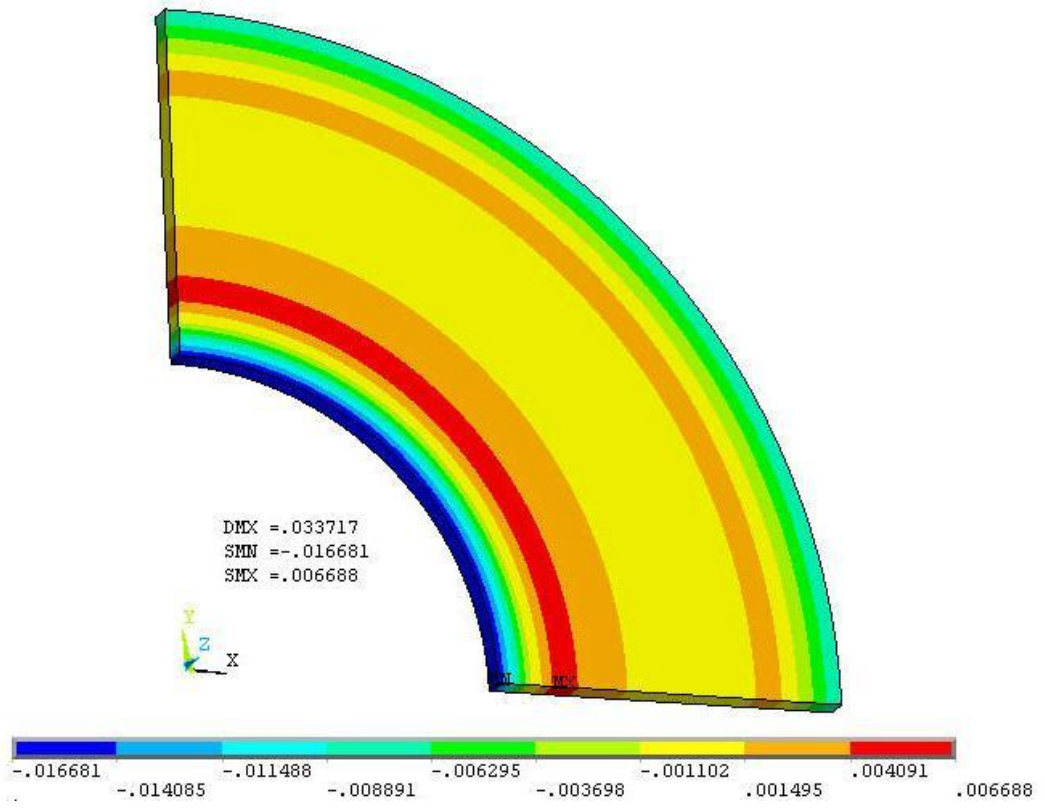


a) 40 °C

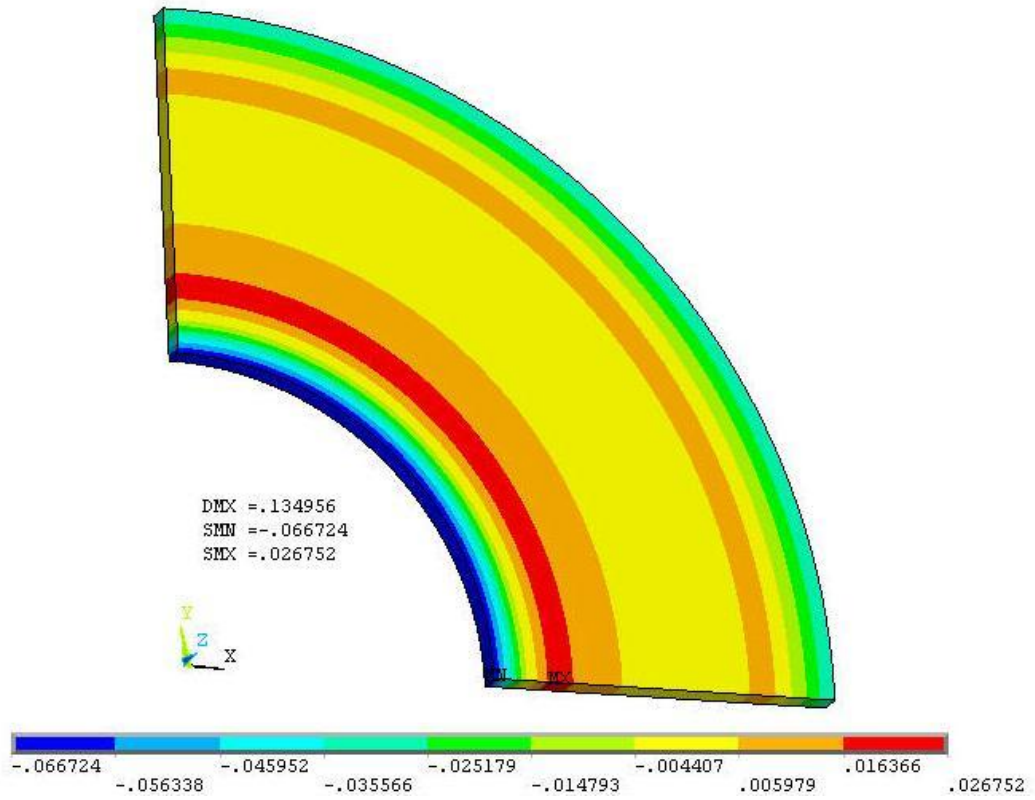


b) 100 °C

Şekil 4.3. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde hesaplanan teğetsel gerilmeler (σ_θ)



a) 40 °C



b) 100 °C

Şekil 4.4. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde hesaplanan z yönü normal gerilmeler (σ_z)

4.3 Elastik-Plastik Çözüm

Çalışmada ikinci olarak, farklı üniform sıcaklıklar etkisindeki kompozit disk için hesaplanan elastik-plastik çözüm sonucu elde edilen 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.

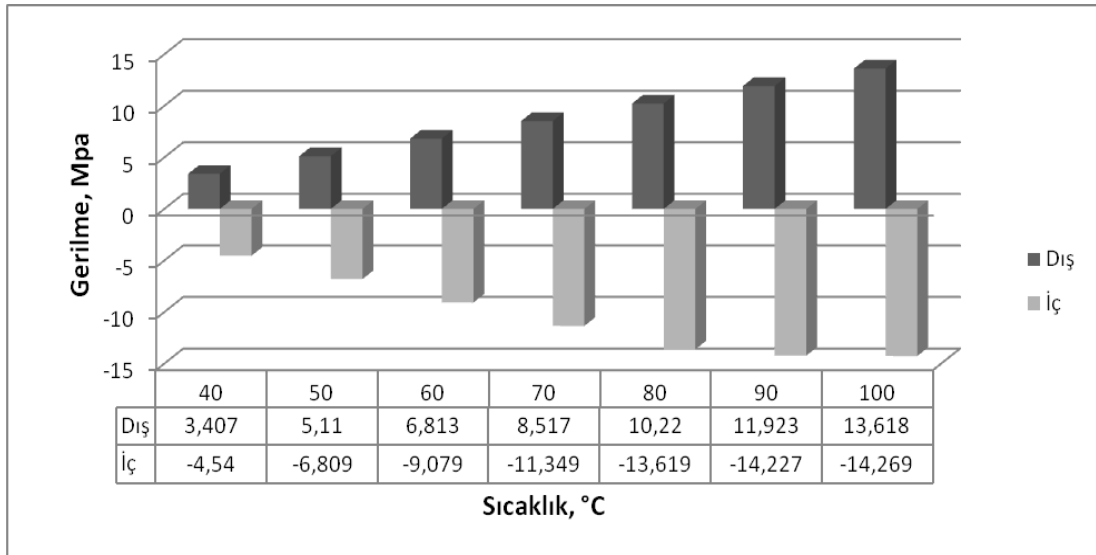
Çizelge 4.2. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan elastik-plastik çözüm normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

Sıcaklık (°C)	Yüzey	Normal Gerilmeler (MPa)		
		σ_r	σ_θ	σ_z
40	İç	-4.540	-4.540	-0.016
	Dış	3.407	3.407	0.006
50	İç	-6.809	-6.809	-0.025
	Dış	5.110	5.110	0.010
60	İç	-9.079	-9.079	-0.033
	Dış	6.813	6.813	0.013
70	İç	-11.349	-11.349	-0.041
	Dış	8.517	8.517	0.016
80	İç	-13.619	-13.619	-0.050
	Dış	10.220	10.220	0.020
90	İç	-14.227	-14.227	-0.032
	Dış	11.923	11.923	0.023
100	İç	-14.269	-14.269	-0.036
	Dış	13.618	13.618	0.027

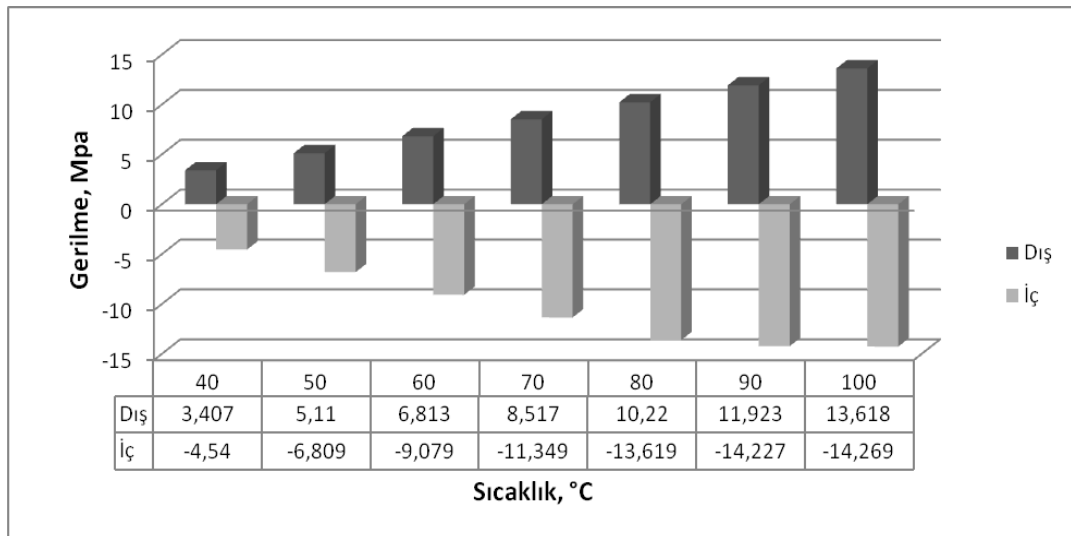
Bu çizelgeden görüldüğü gibi gerilmelerin değerlerinin uygulanan üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle en düşük ısı gerilmeleri, uygulanan 40 °C üniform sıcaklık yükü için hesaplanırken, en yüksek ısı gerilmeleri 100 °C üniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 100 °C üniform sıcaklık yükü

için çekme ve basma şeklindeki en yüksek ısı gerilme değerleri sırasıyla 13,618 MPa ve -14,269 MPa olarak hesaplanmıştır.

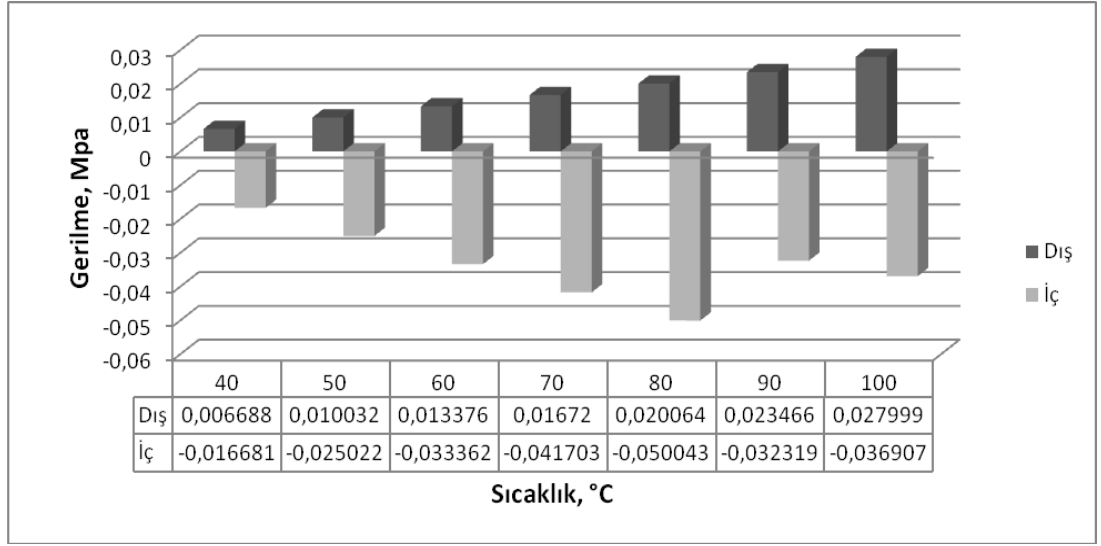
Uygulanan üniform sıcaklıklar ve elastik-plastik çözüme bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler; radyal yöndeki (σ_r), teğetsel yöndeki (σ_θ) ve z yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 4.5.'de gösterilmiştir. Çizelge 4.2.'de listelenen normal gerilme değerlerinin, bu şekilde grafiksel gösterimi neticesinde, üniform sıcaklık yükündeki artışa bağlı olarak, ısı 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_θ)



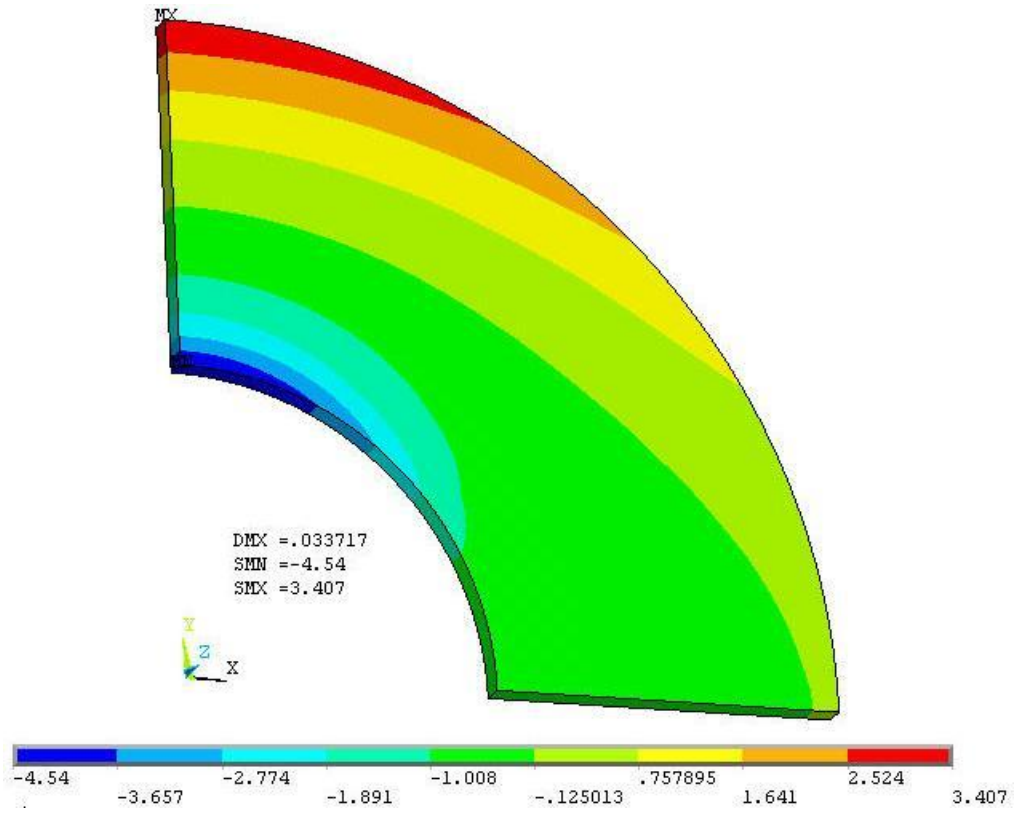
c) z-yönündeki normal gerilme (σ_z)

Şekil 4.5. Elastik-plastik çözüm için üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler

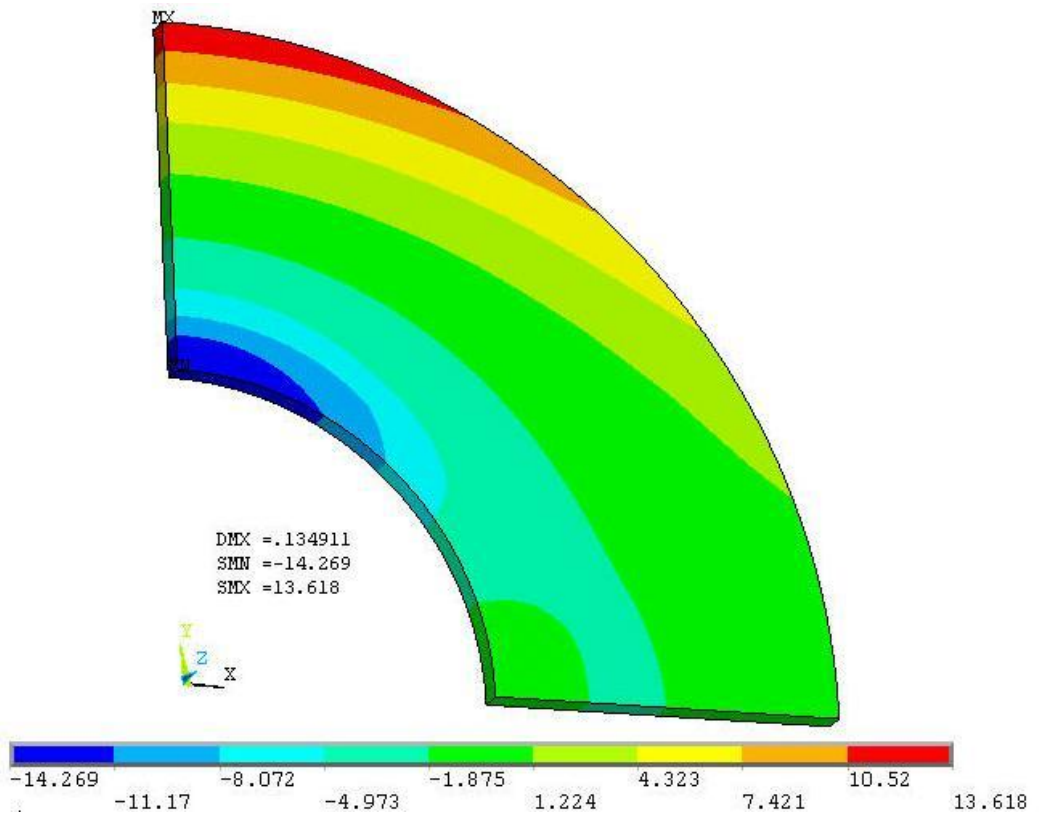
Elastik-plastik çözüm neticesinde 40 °C ve 100 °C üniform sıcaklıklar uygulandığında elde edilen konturlu normal gerilme dağılımları sırasıyla radyal, teğetsel ve z-yönleri için Şekil 4.6., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.

Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'den diskin iç yüzeyinde basma gerilmeleri dış yüzeyinde ise çekme gerilmeleri meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bu şekillerden ayrıca basma gerilmelerinin değerlerinin mutlak değer olarak çekme gerilmelerinden daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir.

Şekil 4.8.'de ise z-yönünde elde edilen gerilmelerin değerlerinin, radyal ve teğetsel doğrultularda elde edilen gerilmelerden daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Ayrıca, disk üzerindeki gerilme dağılımının diğer yönler için elde edilen gerilme dağılımlarından çok farklı şekilde ortaya çıktığı görülmektedir.

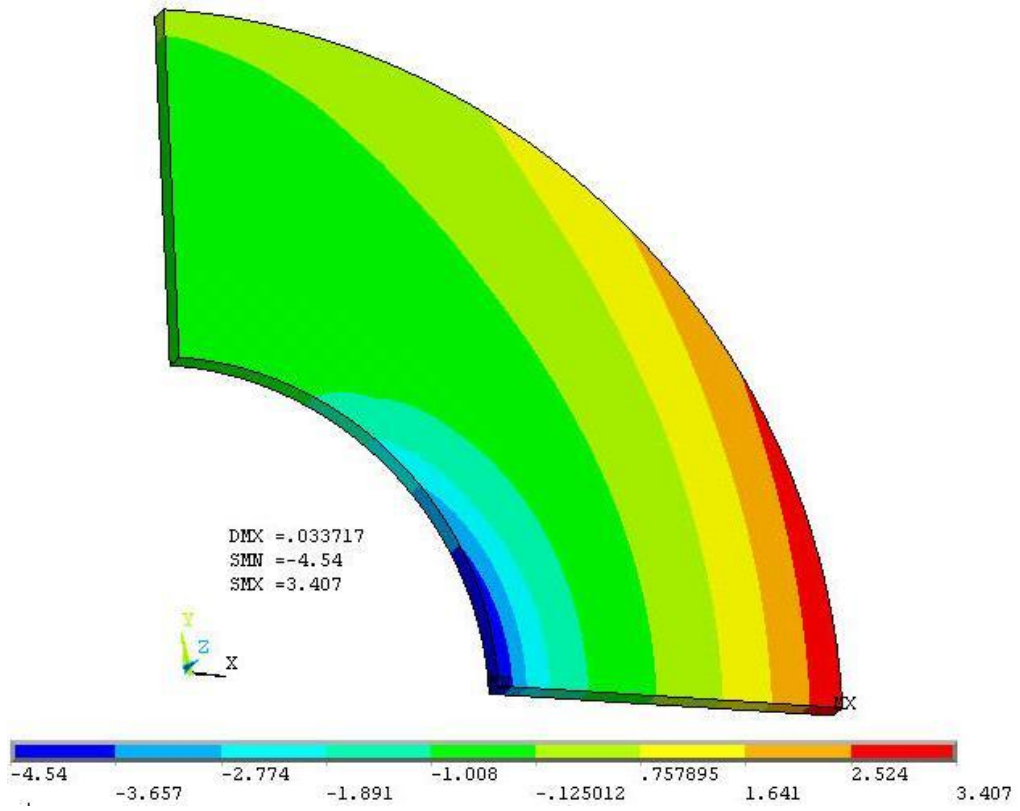


a) 40 °C

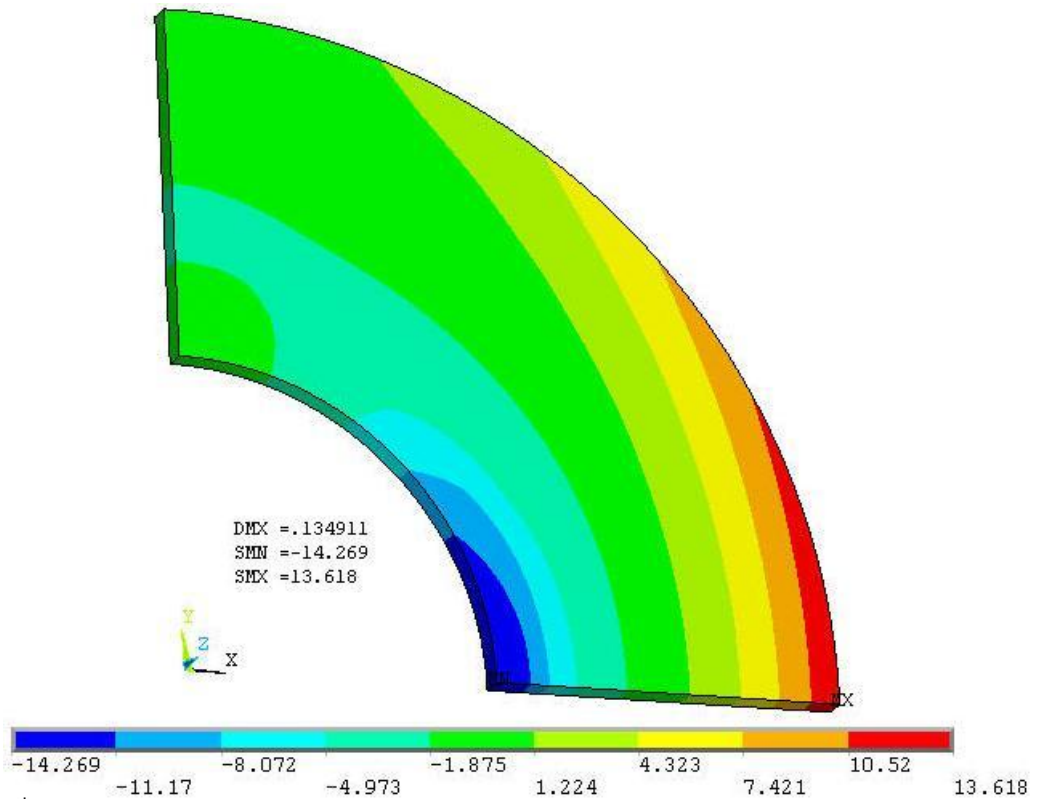


b) 100 °C

Şekil 4.6. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde elastik-plastik çözüm ile hesaplanan radyal gerilmeler (σ_r)

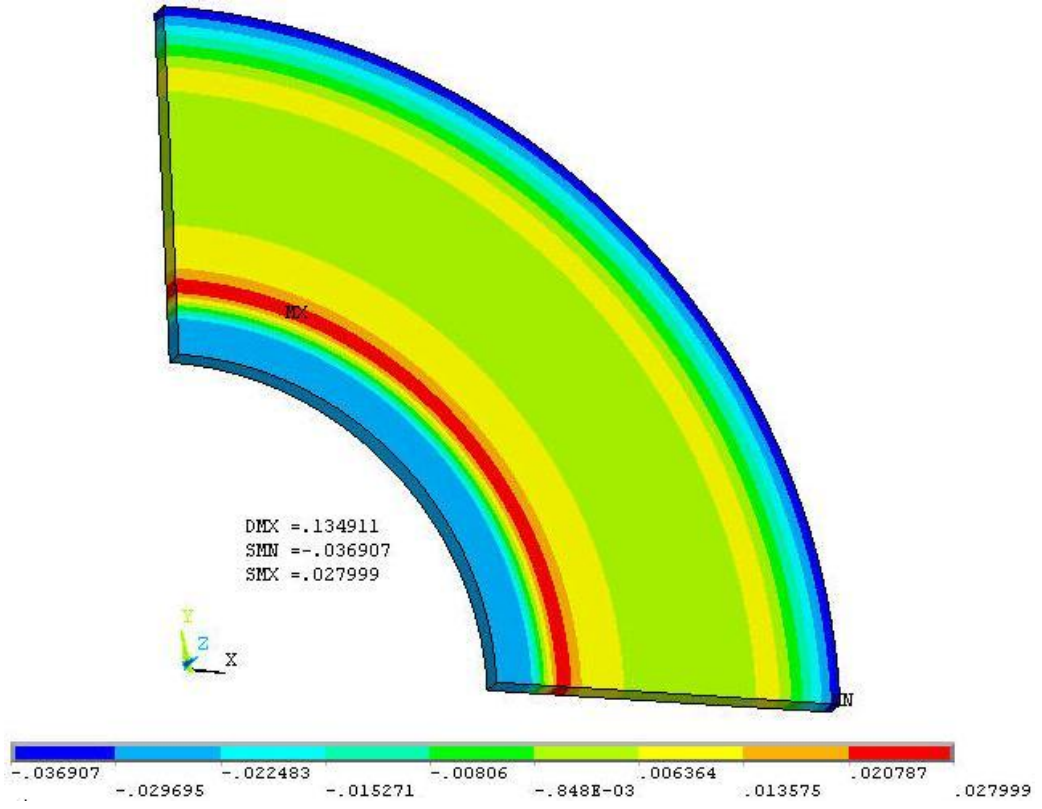


a) 40 °C

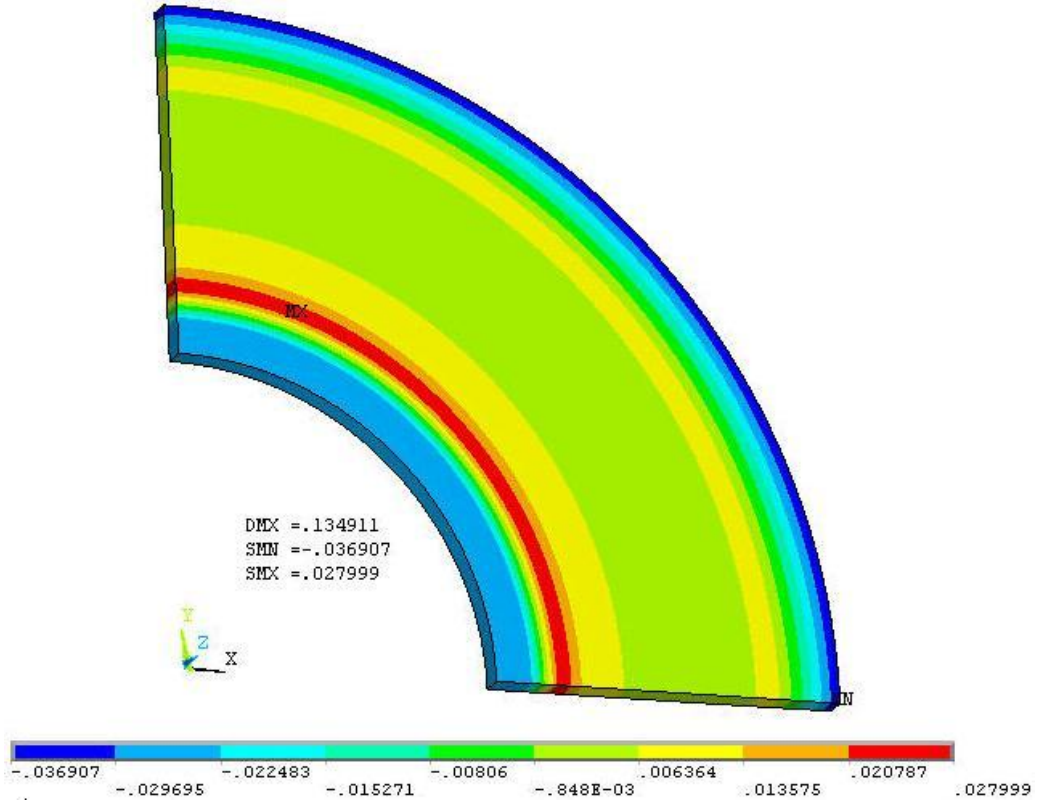


b) 100 °C

Şekil 4.7. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde elastik-plastik çözüm ile hesaplanan teğetsel gerilmeler (σ_θ)



a) 40 °C



b) 100 °C

Şekil 4.8. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde elastik-plastik çözüm ile hesaplanan z yönünde normal gerilmeler (σ_z)

4.4 Artık Gerilmeler

Artık gerilmeler; elastik ve elastik-plastik çözümlerden elde edilen sonuçlar kullanılmak suretiyle hesaplanmıştır. Artık gerilmelerin hesaplanmasında Denklem 4.1. kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan artık gerilmeler

Sıcaklık (°C)	Yüzey	Elastik Gerilmeler (MPa)			Elastik-Plastik Gerilmeler (MPa)			Artık Gerilmeler (MPa)		
		σ_r	σ_θ	σ_z	σ_r	σ_θ	σ_z	$(\sigma_r)_r$	$(\sigma_\theta)_r$	$(\sigma_z)_r$
40	İç	-4,54	-4,54	-0,017	-4,54	-4,54	-0,017	0	0	0
	Dış	3,41	3,41	0,007	3,41	3,41	0,007	0	0	0
50	İç	-6,81	-6,81	-0,025	-6,81	-6,81	-0,025	0	0	0
	Dış	5,11	5,11	0,010	5,11	5,11	0,010	0	0	0
60	İç	-9,08	-9,08	-0,033	-9,08	-9,08	-0,033	0	0	0
	Dış	6,81	6,81	0,013	6,81	6,81	0,013	0	0	0
70	İç	-11,35	-11,35	-0,042	-11,35	-11,35	-0,042	0	0	0
	Dış	8,52	8,52	0,017	8,52	8,52	0,017	0	0	0
80	İç	-13,62	-13,62	-0,050	-13,62	-13,62	-0,050	0	0	0
	Dış	10,22	10,22	0,020	10,22	10,22	0,020	0	0	0
90	İç	-15,89	-15,89	-0,058	-14,23	-14,23	-0,032	1,66	1,66	0,026
	Dış	11,92	11,92	0,023	11,92	11,92	0,023	0	0	5,8E-05
100	İç	-18,16	-18,16	-0,067	-14,27	-14,27	-0,037	3,88	3,88	0,030
	Dış	13,63	13,63	0,027	13,62	13,62	0,028	-0,008	-0,008	0,001

$$(\sigma_r)_r = (\sigma_r)_p - (\sigma_r)_e$$

$$(\sigma_\theta)_r = (\sigma_\theta)_p - (\sigma_\theta)_e \quad (4.1.)$$

$$(\sigma_z)_r = (\sigma_z)_p - (\sigma_z)_e$$

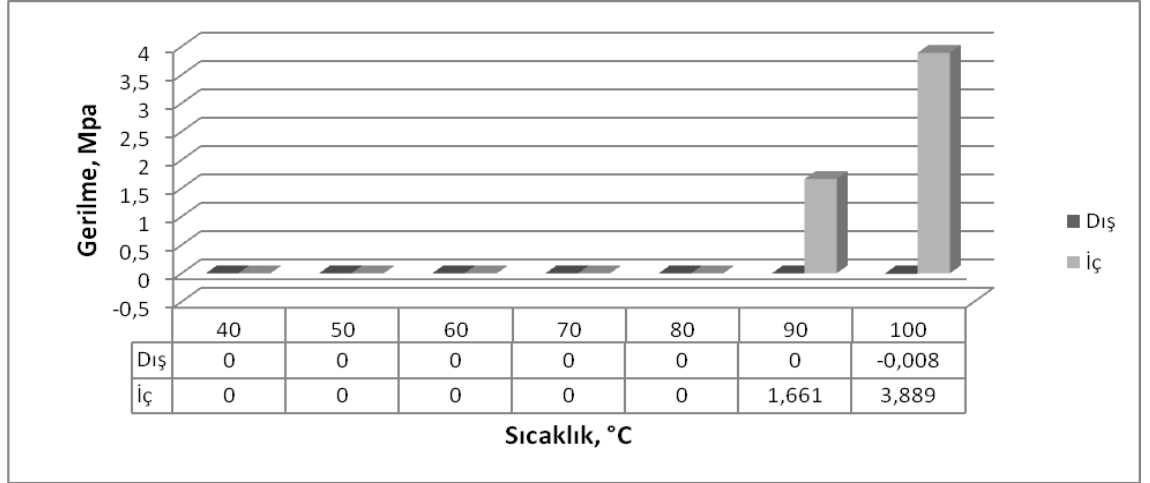
Burada:

$(\sigma_r)_r$: radyal yönde meydana gelen artık gerilme

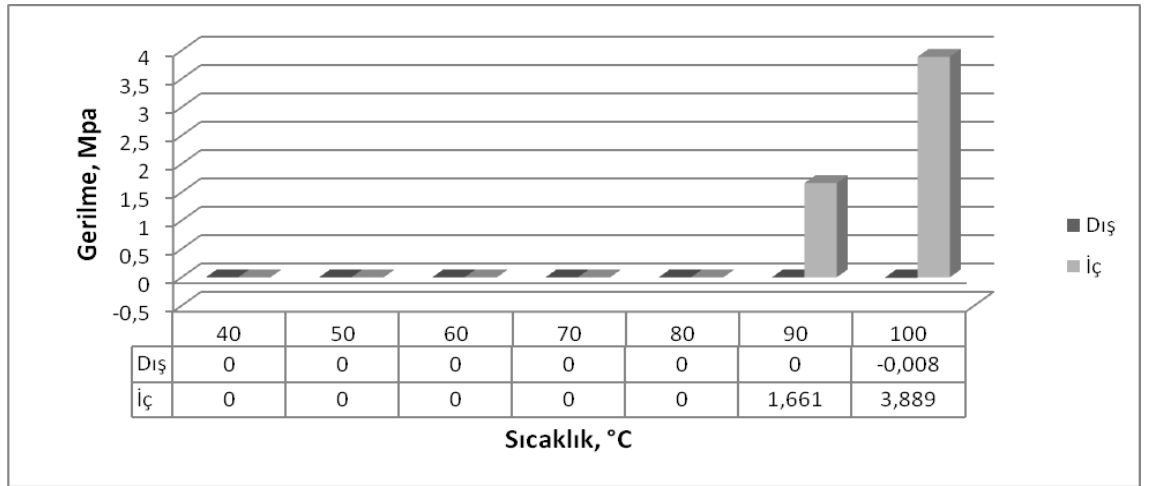
$(\sigma_\theta)_r$: teğetsel yönde meydana gelen artık gerilme

$(\sigma_z)_r$: z-yönünde meydana gelen artık gerilme

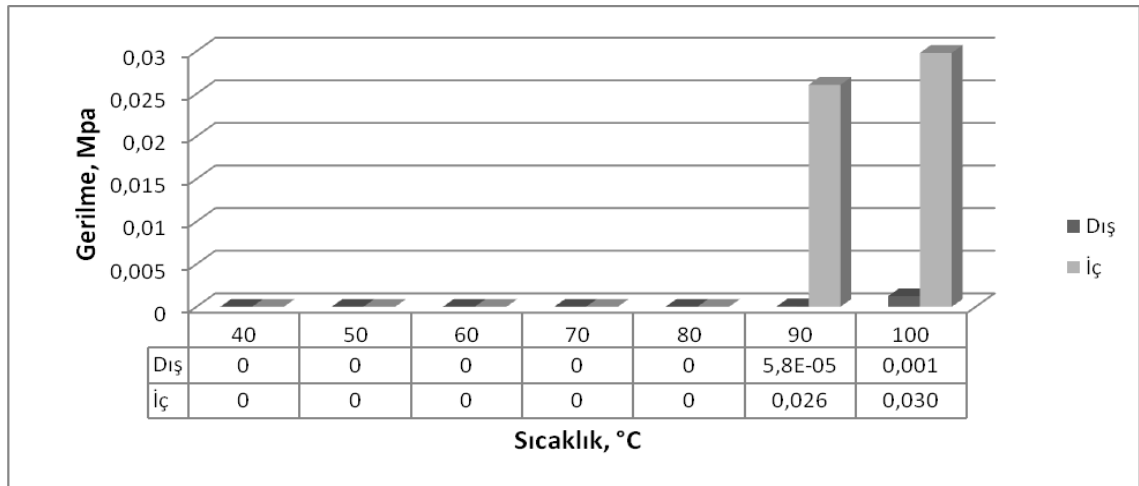
Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan artık gerilmeler grafiksel olarak Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Çizelge 4.3. ve Şekil 4.9. incelendiğinde artık gerilmelerin uygulanan 90 °C ve 100 °C sıcaklıklarda meydana geldiği görülmektedir. Elastik ve elastik-plastik gerilmelerde olduğu gibi, radyal ve teğetsel yönlerde daha büyük değerlerde artık gerilmeler meydana gelirken z-yönünde daha düşük değerlerde artık gerilmeler meydana gelmiştir. En büyük değerli artık gerilme, 100 °C üniform sıcaklık uygulandığında ve üç boyutlu kompozit diskin iç yüzeyinde, 3.88 MPa değerinde ve çekme formunda elde edilmiştir.



a) Radyal yöndeki artık gerilme (σ_r)_r



b) Teğetsel yöndeki artık gerilme (σ_θ)_r



b) Z yönündeki artık gerilme (σ_z)_r

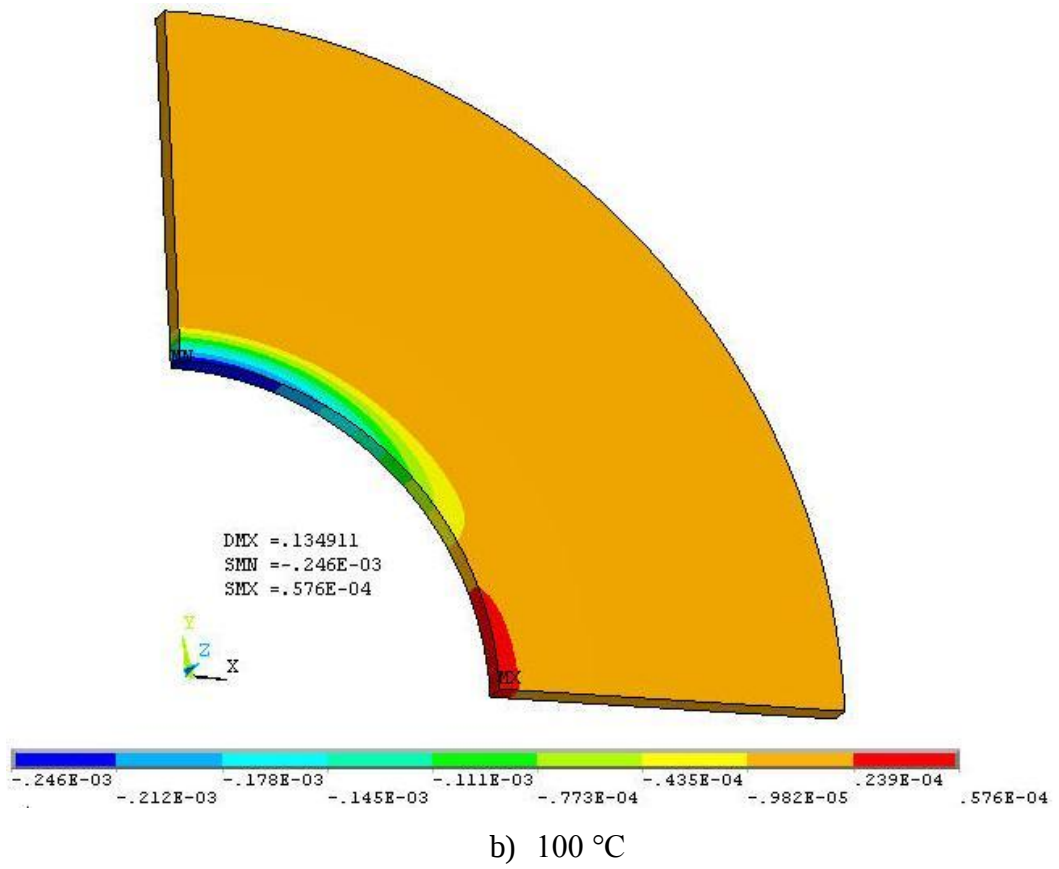
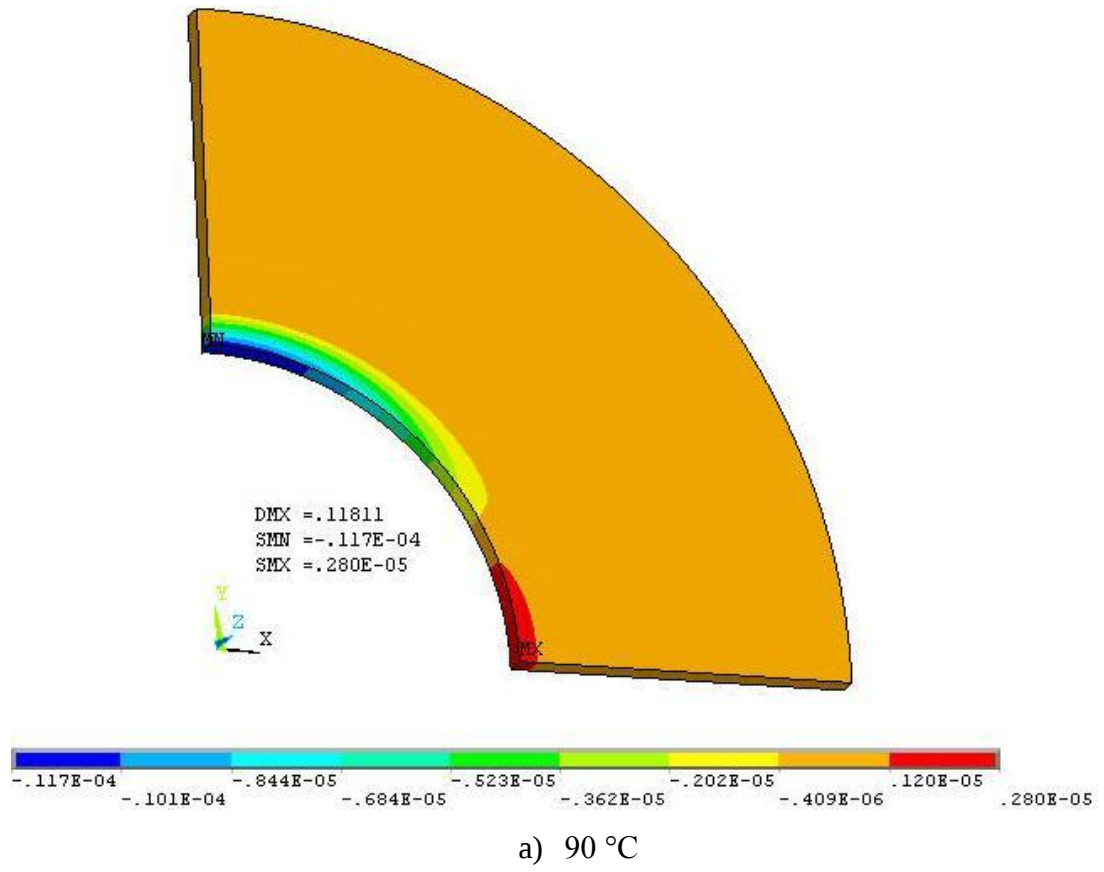
Şekil 4.9. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan artık gerilmeler

4.5 Plastik Şekil Değişiklikleri

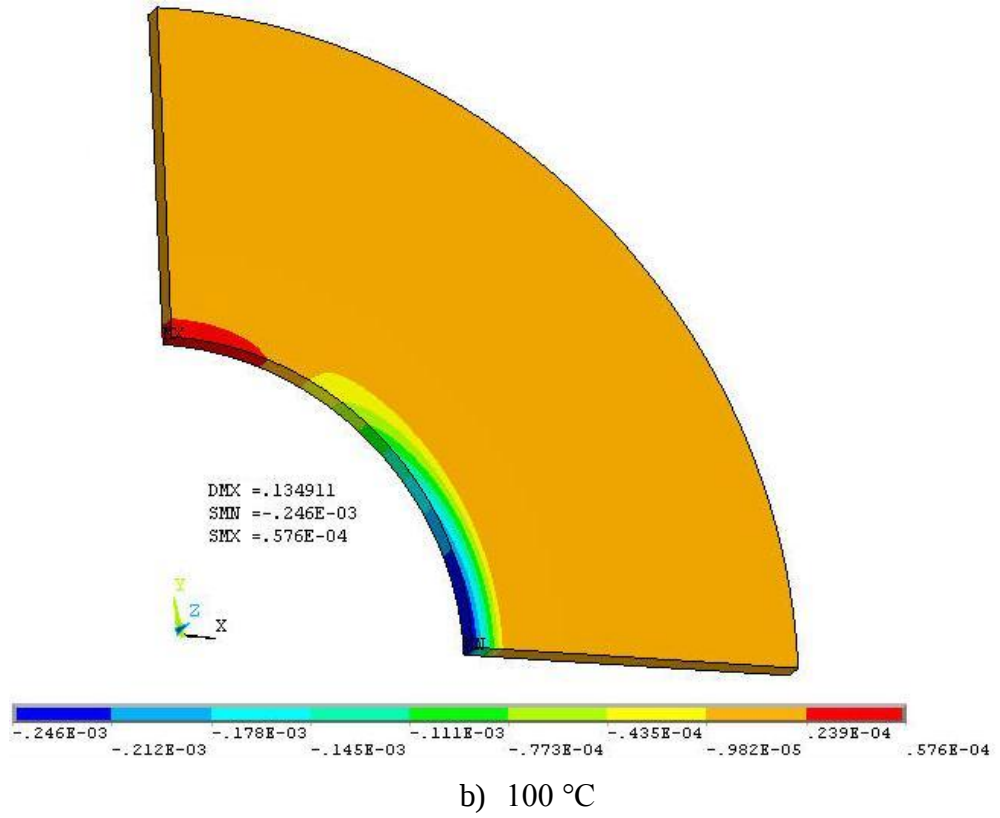
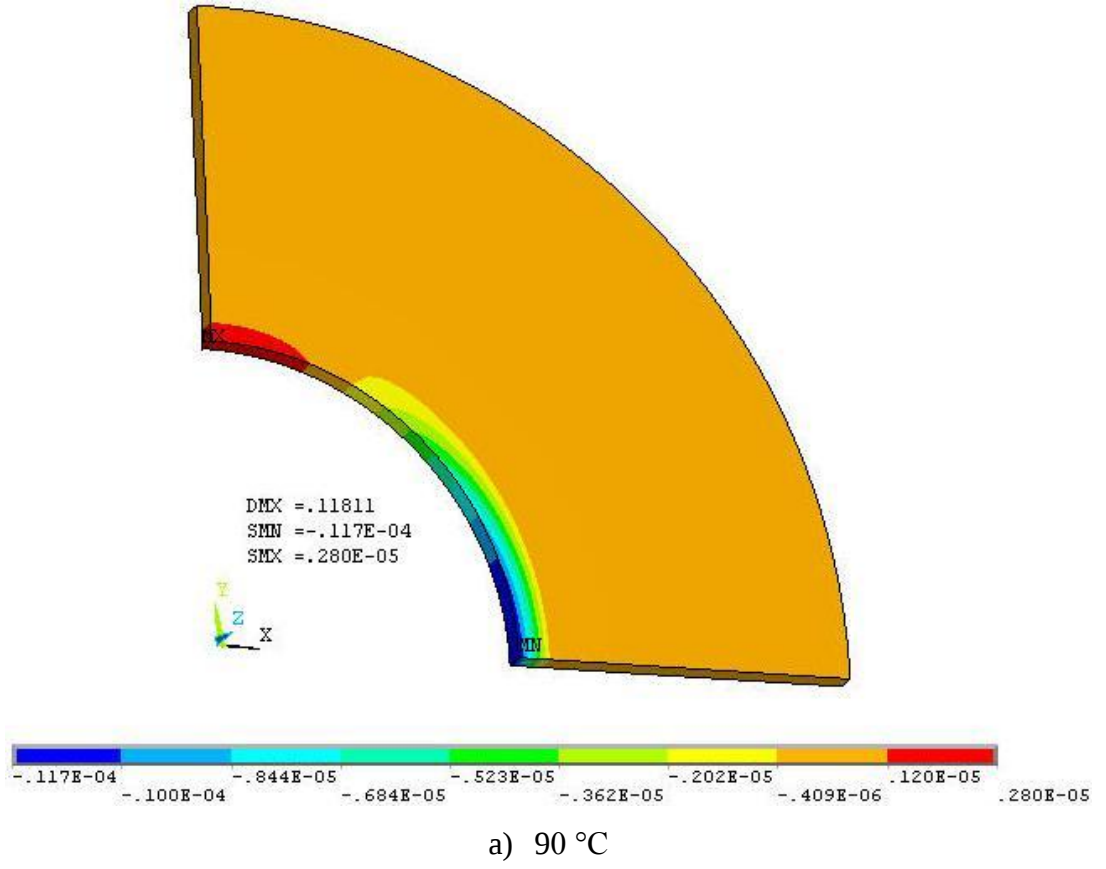
Yukarıda bahsedildiği gibi üç boyutlu kompozit disk üzerinde sadece 90 ve 100 °C sıcaklıklarda artık gerilmeler meydana gelmişti. Bunun anlamı, bu değerlere kadar uygulanan üniform sıcaklıklar etkisiyle kompozit disk üzerinde plastik deformasyon olarak adlandırılan herhangi bir kalıcı şekil değişiminin olmadığıdır.

Uygulanan 90 °C ve 100 °C üniform sıcaklıklar etkisiyle üç boyutlu kompozit disk üzerinde radyal yöndeki (ϵ_r), teğetsel yöndeki (ϵ_θ) ve z-yönündeki (ϵ_z) plastik şekil değiştirme dağılımları sırasıyla, Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Bu şekillerden, z-yönünde meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin değerlerinin, radyal ve teğetsel yönlerde meydana gelen plastik şekil değiştirmelerden daha düşük değerlerde meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, z-yönünde meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin dağılımları diğer yönlerdeki dağılımlardan oldukça farklı olarak meydana gelmiştir.

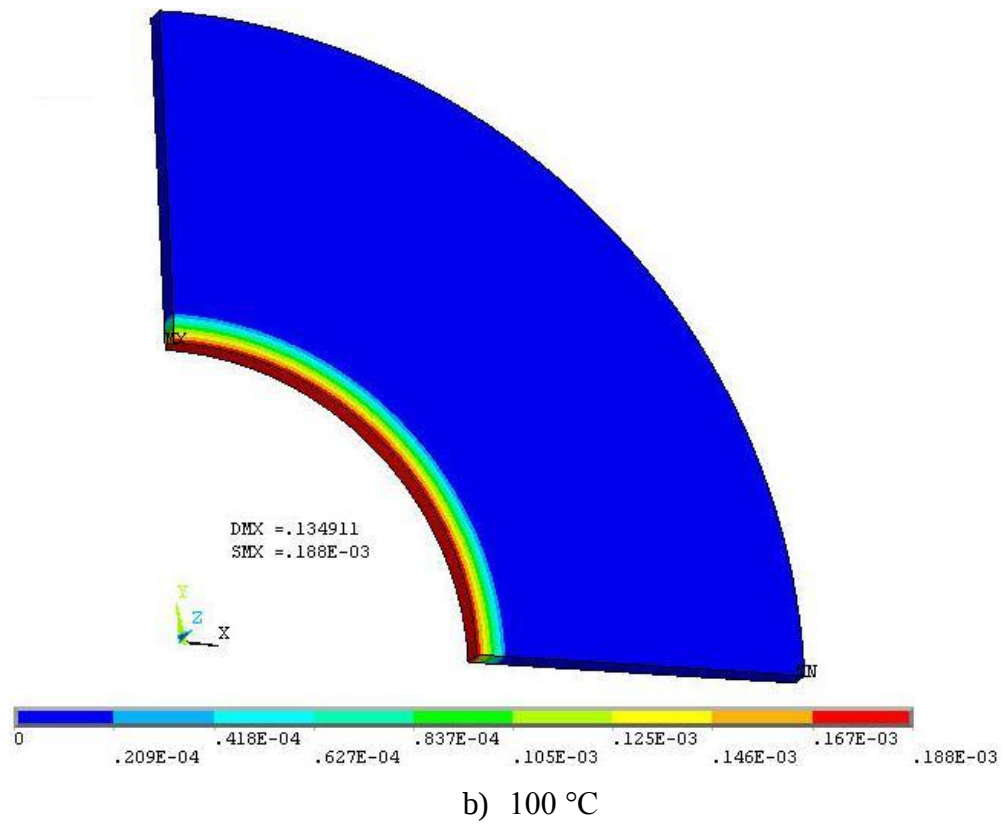
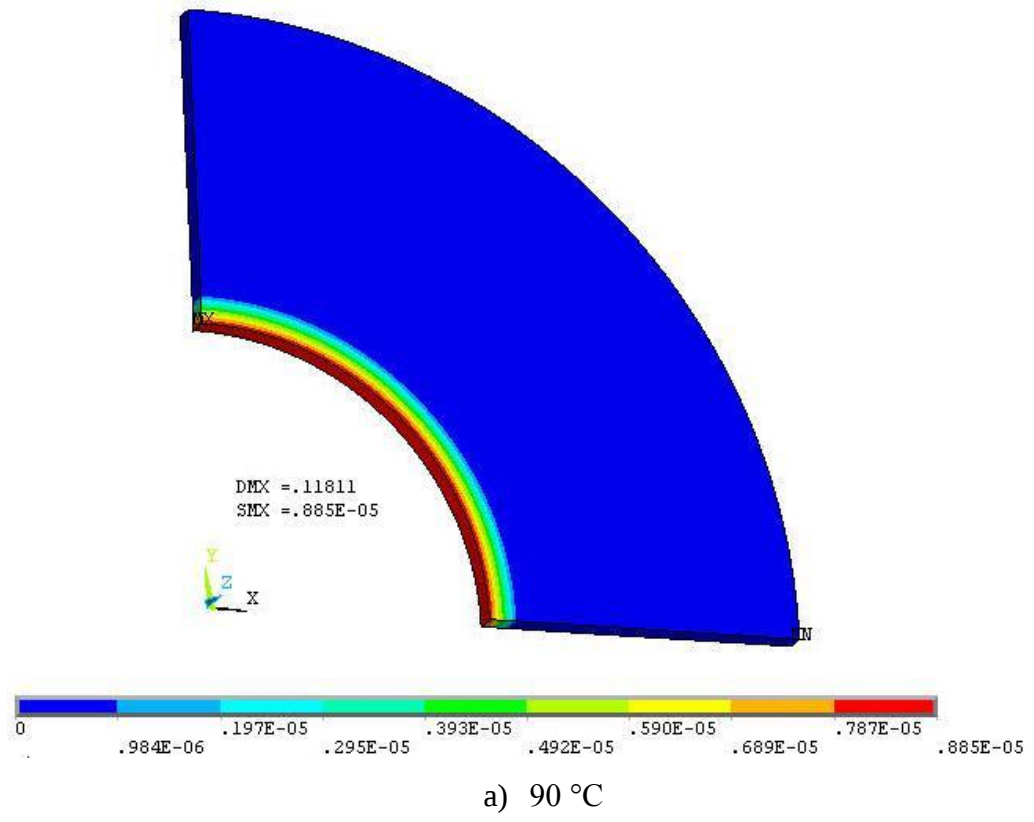
Uygulanan 90 °C ve 100 °C üniform sıcaklıklar etkisiyle, üç boyutlu kompozit disk üzerinde meydana gelen eşdeğer plastik şekil değiştirme dağılımları (ϵ_{eqv}) Şekil 4.13.'te gösterilmiştir. Plastik şekil değiştirmelerin değerlerinin üniform sıcaklık artışına bağlı olarak arttığı açıkça görülmektedir.



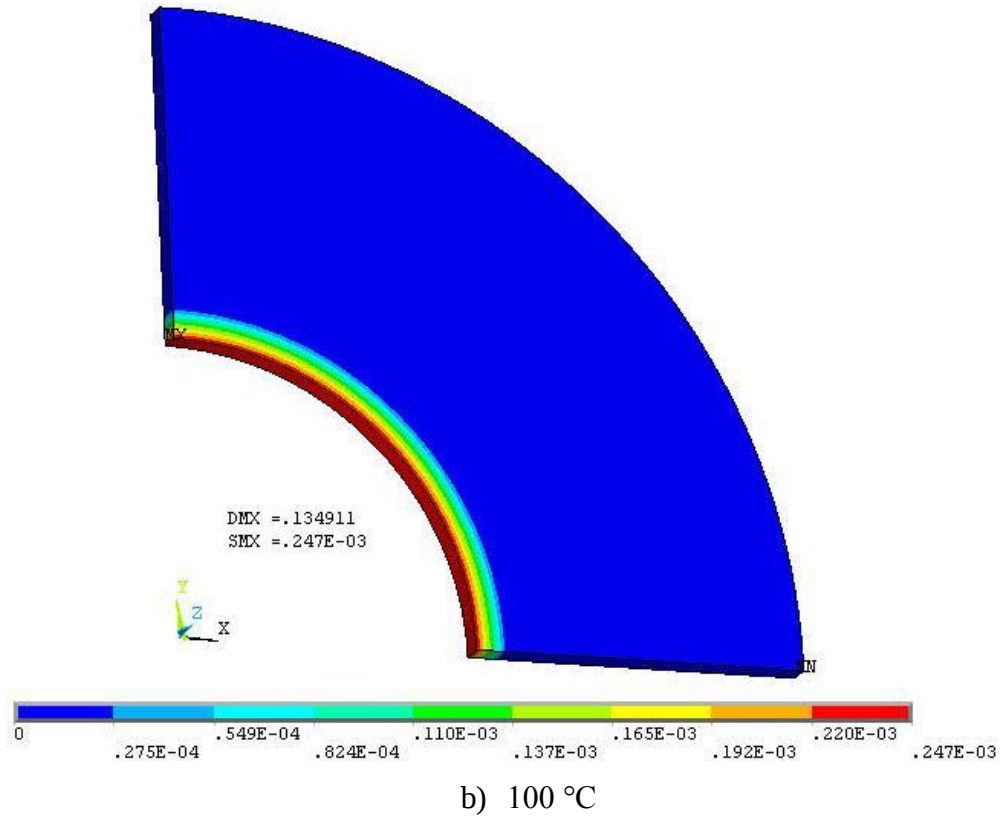
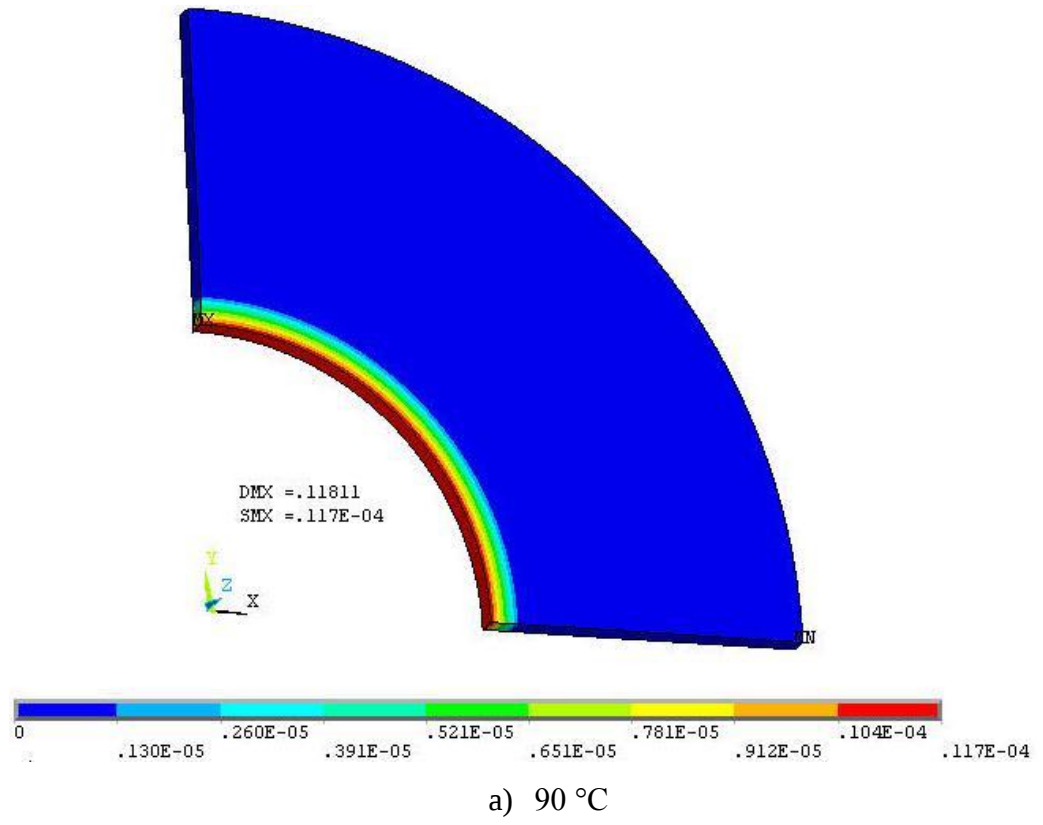
Şekil 4.10. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde radyal yöndeki plastik şekil değiştirme dağılımı (ϵ_r)



Şekil 4.11. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde teğetsel yöndeki plastik şekil değiştirme dağılımı (ϵ_θ)



Şekil 4.12. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde Z yönündeki plastik şekil değiştirme dağılımı (ϵ_z)



Şekil 4.13. Farklı üniform sıcaklıklar etkisinde eşdeğer plastik şekil değiştirme dağılımı (ϵ_{eqv})

BÖLÜM V

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, termoplastik matrise sahip çelik fiberlerle takviye edilmiş, ortasında dairesel bir delik bulunan kompozit bir disk modellenmiş ve gerilme analizleri yapılmıştır. Analizler hem elastik hem de elastik-plastik çözüm yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kompozit disk önceki benzer çalışmalardan çok farklı olarak, üç boyutlu olarak modellenmiştir. Dolayısıyla, üç boyutlu kompozit diske üç boyutlu duruma uygun olan sınır şartları ve sıcaklık değişiminin ısı gerilmeler üzerine etkisini belirlemek amacıyla çeşitli değerlerde üniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Çözümde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Çalışma başlıca üç adımda gerçekleştirilmiştir. Çözümler neticesinde, aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir.

İlk adım olarak, üç boyutlu olarak modellenen kompozit diskin elastik gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için kompozit diske sırasıyla 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 °C üniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Isıl gerilmelerin mutlak değer olarak değerleri, üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artmaktadır. Bundan dolayı, en düşük ısı gerilmeler uygulanan 40 °C üniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerlikli ısı gerilmeler 100 °C üniform sıcaklık etkisinde iken hesaplanmıştır. Çözüm üç boyutlu olarak gerçekleştirildiğinden, radyal, teğetsel ve z-doğrultularında ısı gerilmeler meydana geldiği görülmüştür. Fakat z-yönünde meydana gelen gerilmelerin değerlerinin radyal ve teğetsel yönlerde meydana gelen gerilmelerden daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmıştır. Üç boyutlu kompozit diskin iç yüzeyinde basma formunda ısı gerilmeler meydana gelirken, dış yüzeyinde çekme formunda ısı gerilmeler oluşmuştur. Ayrıca, iç yüzeyde meydana gelen ısı gerilmelerin mutlak değer olarak değerlerinin, diskin dış yüzeyinde oluşan çekme gerilmelerinin değerlerinden daha büyük olduğu anlaşılmıştır.

İkinci adım olarak, üç boyutlu olarak modellenen kompozit diskin elastik-plastik gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. İlk adımdaki değerlerle kıyaslama yapabilmek amacıyla analizler, sırasıyla 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 °C üniform sıcaklıklar uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Elastik çözümden elde edilen sonuçlara benzer şekilde, en düşük ısı gerilmeler uygulanan 40 °C üniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek ısı gerilmeler 100 °C üniform sıcaklık yükü uygulandığında elde edilmiştir. Üç

doğrultuda hesaplanan elastik-plastik ısı gerilemeler dikkat edildiğinde, z-yönünde meydana gelen gerilmelerin değerlerinin, radyal ve teğetsel yönlerde meydana gelen gerilmelerden daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin radyal ve teğetsel gerilmelerden çok daha küçük hatta ihmal edilebilecek değerlerde olduğu anlaşılmıştır.

Son adım olarak, elastik analiz ve elastik-plastik analiz sonuçları kullanılmak suretiyle, üç boyutlu kompozit disk üzerinde meydana gelen artık gerilmeler hesaplanmıştır. Artık gerilmelerin uygulanan 40, 50, 60, 70, ve 80 °C üniform sıcaklıklar için oluşmadığı, uygulanan 90 °C ve 100 °C üniform sıcaklıklar için meydana geldiği anlaşılmıştır. Dolayısıyla, 90 °C üniform sıcaklık yüklemesine kadar üç boyutlu kompozit disk üzerinde herhangi bir artık gerilme oluşmayacağı anlaşılmıştır. Elastik ve elastik-plastik ısı gerilmelerde olduğu gibi, radyal ve teğetsel yönlerde daha büyük değerlerde ısı artık gerilmeler meydana gelirken z-yönünde daha düşük değerlerde ısı artık gerilmeler meydana gelmiştir.

KAYNAKLAR

- Adin, H., 2007. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters z tipi kompozit malzeme bağlantılarının mekanik analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri, Elazığ.
- Altan, G. ve Topçu, 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*, 41/4, 604–610.
- Altınışik, F., 2007. Doğal kompozit malzemelerin otomotiv sanayinde kullanılması, Y. Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri, Mersin.
- ANSYS, Release 10.0 Documentation, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.
- Apalak, M. K., Aldas, M. ve Şen, F., 2001. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş metal bindirme bağlantılarının lazer nokta kaynağı esnasında meydana gelen ısı transferinin incelenmesi, ULIBTK'01 13.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Bildiri Kitabı , Konya, 267-273.
- Aydın M. D., 1997. Kompozit malzemelerde zamana bağlı ısı transferi ile oluşan termal gerilmelerin sonlu eleman yöntemi ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri, Erzurum.
- Bağcı, M., 2010. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışının incelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri, Konya.
- Becenen, N., 2008. Traktör kaportalarında kullanılan plastik matrisli kompozit malzemelerin yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri, Tekirdağ.
- Çallıoğlu, H., 2004. Stress analysis of an orthotropic rotating disc under thermal loading, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 23, 17, 1859-1867.

- Çallıoğlu, H., Topcu, M., ve Atlan, G., 2005. Stress analysis of curvilinearly orthotropic rotating discs under mechanical and thermal loading, *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, 24, 8, 831-838.
- Çallıoğlu, H., Topcu, M. ve 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 Materials*, 20, 357-369.
- Çallıoğlu, H. ve Karakaya, Ş., 2008. Tabakalı bir diskin termal gerilme analizi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 61–68.
- Demircioğlu, G., 2006. Kısa cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerde elyaf boyutunun etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri, Ankara.
- Eraslan, A. N. ve Orcan, Y., 2002. On the rotating elastic-plastic solid discs of variable thickness having concave profiles, *International Journal of Mechanical Sciences*, 44, 1445-1466.
- Ersoy, M. S., 2005. Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri, Kahramanmaraş.
- Günaydın, B., 2003. Yüzey çatlaklı cam/polyester kompozit malzemelerde yorulma çatlak ilerlemesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri, Konya.
- Jahed, H. ve Shirazi, R., 2001. Loading and unloading behavior of a thermoplastic disc, *Int. Pressure Vessel and Piping*, 78, 637-645.
- Kurnaz, S. C., 1993. Alümina(Saffil) takviyeli za 12 esaslı kompozit malzemelerin infiltrasyon yöntemi ile üretim ve özelliklerinin incelenmesi, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Moaveni, S., 2003. Finite element analysis: Theory and application with ANSYS, 2nd edition. Pearson Education. Inc. New Jersey. USA.

- You, L.H., Tang, Y.Y., Zhang, J.J. ve Zheng, C. Y., 2000. Numerical analysis in a thermoplastic composite disc with arbitrary variable thickness and density, *International Journal of Solids Structures*, 37, 7809-7820.
- Sayer, M., Topçu, M., Bektaş, N. B., ve Tarakçılar, A.R., 2005. Thermo-elastic stress analysis in a thermoplastic composite disc, *Science and Engineering of Composite Materials*, 12, 251-260.
- Sayman, O., 2004. Thermal stress analysis in an aluminium metal–matrix orthotropic disc, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23, 14, 1473-1479.
- Sayman, O., 2006. Stress analysis of a thermoplastic composite disc under uniform temperature distribution, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 19.
- Sayman, O., Yangıncı, S. ve Sayer, M., 2005. Thermoelastic-Plastic stress analysis in a thermoplastic composite disc, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 24, 21-33.
- Soy, U., 2009. Kompozit malzemeler, Uğur Soy, Sakarya. www.ugursoy.com, 19 Nisan 2010.
- Staab, G. H., 1999. *Laminar Composites* (1th ed.). US: Butterworth-Heinemann.
- Şen, F., 2001. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirme bağlantısının lazer nokta kaynağı esnasında meydana gelen sıcaklık dağılımı ve ısı gerilmelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi.
- Şen, F., 2006. 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. The estimation of elastoplastic thermal and residual stresses in a thermoplastic composite disc under uniform temperature effect, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25, 1485-1498.
- Şen, F., 2007. Elastic-Plastic thermal stresses in a composite disc with multiple holes, *Advanced Composite Letters*, 16/3, 95–103.

- Şen, F., 2007. Farklı açılarda takviye edilmiş kare delikli alüminyum metal matrisli kompozit plakalarda ısıl gerilmelerin hesaplanması, *Teknoloji*, 10/1, 21–30.
- 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, 1, 51–67.
- Şen, F., 2009. Dairesel delikli çapraz takviye edilmiş alüminyum metal-matrisli kompozit levhalarda ısıl gerilme analizi, *S.Ü. Müh-Mim. Fak. Derg.* 24, 2.
- Şen, F. ve Aldaş, K., 2009. Elastic-Plastic thermal stress analysis in a termoplastik composite disc applied liner temperature loads via FEM. *Advances in Engineering Software*, 40, 813–819.
- Şen, F., Pekbey, Y. ve Sayman, O., 2007. Elastic-plastic stress analysis of a termoplastik composite disc under parabolic temperature distribution. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 14, 282–288.
- Şen, F. ve Palancıoğlu, H., 2005. $[45^{\circ}/-45^{\circ}]$ 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. ve Sayer, M., 2006. Elasto-Plastic thermal stress analysis in a thermoplastic composite disc under uniform temperature using FEM, *Mathematical and Computational Applications*, 11, 1, 31-39.
- Şen, F. ve Sayer, M., 2010. Influence of multiple holes on thermal stresses in a thermoplastic composite disc, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 17, 157-168.
- Şen, F., Sayman, O. ve Kaynak, İ., 2008. Thermo-Elastic stress analysis of injection molding short glass fiber filled polymer composite disk with holes. *Journal of Reinforced Plastics And Composites*, 27, 1117–1134

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mesut SARKMAZ

Doğum Yılı : 1982

Eğitim Durumu

Lisans : 2000-2008 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü

Haberleşme Adresi

Adres : 7060 Sokak No:2c1 Yunusemre Mah. AKSARAY

Tlf : 0 382 2150176

E-posta: m_sarkmaz@hotmail.com