



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

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ÇOK DELİKLİ VE DÖNEN
TERMOPLASTİK KOMPOZİT DİSKTEKİ
ISIL GERİLMELERİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özcan BORLAT

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

ŞUBAT 2012

AKSARAY

Her hakkı saklıdır



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

ÇOK DELİKLİ VE DÖNEN
TERMOPLASTİK KOMPOZİT DİSKTEKİ
ISIL GERİLMELERİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özcan BORLAT

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

ŞUBAT 2012

AKSARAY

Her hakkı saklıdır

ÖNSÖZ

Kompozit malzemelerin kullanım alanı günümüzde çok geniş boyutlara ulaşmıştır. Dünyamızda ana ham maddelerin kısıtlı olmasından ötürü, malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri teknolojide yaşanan gelişime ayak uyduramamıştır. Dolayısıyla bu durum nedeniyle bilim adamları mevcut malzeme özelliklerinden, günümüz şartlarına göre hem ekonomik ve hem de teknik bakımdan daha uygun malzemeler imal etme yolunu seçmişlerdir.

Kompozit malzemelere geçişin başlıca sebeplerinden bazıları, kompozit malzemelerin standart hafif/yüksek mukavemet özelliğine sahip malzemelere göre daha hafif/daha yüksek mukavemet seçeneği sunmasıdır. Bunun yanında, kompozit malzemelerin üretimlerindeki esneklik, iyi korozyon dayanımı ve aşınma dirençleri, uzun yorulma ömürleri ve düşük ısı iletkenlikleri ile birçok uygulama alanında geleneksel malzemelere göre üstün özellikler göstermektedir.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'na Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan "Çok Delikli ve Dönen Termoplastik Kompozit Diskteki Isıl Gerilmelerin Analizi" konulu çalışma ile kompozit malzemeler alanında yapılan çalışmalara bir katkı sağlanması hedeflenmektedir. 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.

Ayrıca, doğduğum günden bugüne kadar her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini biran bile esirgemeyen aileme teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA NO

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit Malzeme.....	1
1.2. Kompozit Malzemelerin Tarihi	2
1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.	4
1.3.1.Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	4
1.3.2.Tabaka Yapıda Olan Kompozit Malzemeler.....	5
1.3.3.Tane Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	6
1.3.4. Kompozit Malzemelerin Kombinasyonları	7
1.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Metotları.....	7
1.4.1. Sıvı Metal Emdirmesi (İnfiltrasyon).....	8
1.4.2. Sıkıştırılmalı veya Sıvı Dövme Döküm Tekniği	8
1.4.3. Basınçlı İnfiltrasyon	9
1.4.4. Sıvı Metal Karıştırması.....	9
1.4.5. Yarı Katı Karıştırma Yöntemi	10
1.4.6. Plazma Püskürtme	10
1.4.7. Toz Metalürjisi Tekniği	10
1.4.8. Difüzyon Bağlama ve Vakumda Presleme	11
1.4.9. Sıcak Presleme ve Sıcak İzostatik Presleme	11
1.5. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	11
1.6. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları.....	13
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	15
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	19
3.1. Çok Delikli Kompozit Problemi	19
3.2. Termoplastik Kompozit Malzeme Özellikleri.....	19

3.3. Sonlu Elemanlar ile Modelleme ve Çözüm.....	20
4. BULGULAR.....	26
4.1. Giriş.....	26
4.2. Farklı Üniform Sıcaklıklar Altındaki Kompozit Diskin Isıl Gerilme Analizi	26
4.3. Sıcaklık Etkisindeki Dönen Diskteki Gerilmelerin Analizi	31
4.3.1. Sıcaklık Etkisinde 20 rad/sn Hızla Dönen Diskteki Gerilmelerin Analizi...	31
4.3.2. Sıcaklık Etkisinde 40 rad/sn Hızla Dönen Diskteki Gerilmelerin Analizi	36
4.3.3. Sıcaklık Etkisinde 60 rad/sn Hızla Dönen Diskteki Gerilmelerin Analizi	40
4.3.4. Sıcaklık Etkisinde ve Dönen Diskteki Gerilme Bulguların	
Değerlendirilmesi.....	44
5. SONUÇLAR.....	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇOK DELİKLİ VE DÖNEN TERMOPLASTİK KOMPOZİT DİSKTEKİ ISIL GERİLMELERİN ANALİZİ

Özcan BORLAT

T.C.
Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk ŞEN

Bu çalışmada, üzerinde çok sayıda dairesel delik bulunan bir kompozit disk modellenmiştir. Kompozit malzeme, termoplastik matrise sahiptir ve çelik fiberlerle takviye edilmiştir. Çözüm için sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmıştır. Bu amaçla, modelleme ve analizler için ANSYS programı tercih edilmiştir. Kompozit disk önceki çalışmalardan farklı olarak, üç boyutlu olarak oluşturulmuştur. Üç boyutlu çok delikli kompozit disk üzerine çeşitli sınır şartları, uniform sıcaklıklar ve açısal dönmeler uygulanmıştır. Meydana gelen ısıl gerilmeler hesaplanmış ve disk üzerindeki dağılımları elde edilmiştir. Disk üzerindeki çok sayıdaki deliğin gerilmelerin değerleri ve dağılımlarına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, disk üzerinde oluşan gerilmelerin değerleri ve dağılımlarının, uygulanan uniform sıcaklık ve açısal hız değişimine bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca delikler çevresinde gerilme yığılmaları meydana gelmiştir.

2012, 52 Sayfa

**Anahtar kelimeler; Kompozit disk, Isıl gerilme, Dönen Disk, FEM, ANSYS
Bilim Kodu: 914**

ABSTRACT

Master of Science Thesis

ANALYSIS OF THERMAL STRESSES IN TERMOPLASTIC ROTATING COMPOSITE DISC WITH MULTIPLE HOLES

Özcan BORLAT

T.R.

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Faruk ŞEN

In this study, a composite disc was modeled with multiple holes. The composite material had thermoplastic matrix and it was reinforced via steel fibers. The finite element method (FEM) was used for solution. For this aim, the ANSYS code was preferred for both modeling and analysis. Composite disc was firstly created as three dimensional as a difference to compare with earlier studies. The various boundary conditions, uniform temperatures and angular velocities were carried out on three dimensional composite disc with multiple holes. The created thermal stresses were calculated and their distributions on the disc were obtained. The effect on distributions and magnitudes of stresses of multiple holes where created on the disc was investigated. According to obtained results, the values and distributions of stresses created on disc were changed by changing both applied uniform temperature and angular velocity. In addition, the stress concentrations were occurred around holes.

2012, 52 Pages

**Key Words: Composite disc, Thermal stress, Rotating disc, FEM, ANSYS.
Science Code: 914**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tarih boyunca malzemelerin gelişiminde birbirlerine göre önemi.....	3
Şekil 1.2.	Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	4
Şekil 1.3.	İnce tabakanın başlıca iki tipi.....	5
Şekil 1.4.	Tabakalı kompozitlerin yapılandırılmamış görüntüsü.....	6
Şekil 1.5.	Tanecikli kompozitlerin şematik gösterimi.....	7
Şekil 1.6.	Sıkıştırma döküm yöntemi	9
Şekil 3.1.	Çok delikli kompozit diskin şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.2.	Termoplastik kompozit diskin elde edilen katı modeli.....	21
Şekil 3.3.	Termoplastik Kompozit disk modeline sınır şartlarının uygulanması .	22
Şekil 3.4.	SOLID45 eleman tipi (ANSYS).....	23
Şekil 3.5.	Çok delikli kompozit diskin oluşturulan sonlu elemanlar ağ yapısı...	24
Şekil 3.6.	Sonlu elemanlara bölünmüş modelin büyütülmüş görüntüsü.....	25
Şekil 4.1.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile oluşan radyal gerilmeler (σ_r).....	28
Şekil 4.2.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile oluşan teğetsel gerilmeler (σ_θ)....	29
Şekil 4.3.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile oluşan z yönündeki gerilmeler (σ_z).....	30
Şekil 4.4.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında oluşan radyal gerilmeler (σ_r).....	33
Şekil 4.5.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında oluşan teğetsel gerilmeler (σ_θ).....	34
Şekil 4.6.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında oluşan z yönündeki gerilmeler (σ_z)	35
Şekil 4.7.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 40 rad/sn dönme hızında oluşan radyal gerilmeler (σ_r).....	37
Şekil 4.8.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 40 rad/sn dönme hızında oluşan teğetsel gerilmeler (σ_θ).....	38
Şekil 4.9.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 40 rad/sn dönme hızında oluşan z yönündeki gerilmeler (σ_z)	39
Şekil 4.10.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 60 rad/sn dönme hızında oluşan radyal gerilmeler (σ_r).....	41
Şekil 4.11.	Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 60 rad/sn dönme hızında oluşan	

teğetsel gerilmeler (σ_θ).....	42
Şekil 4.12. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 40 rad/sn dönme hızında oluşan z yönündeki gerilmeler (σ_z)	43
Şekil 4.13. 20, 40 ve 60 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak iç yüzeyde hesaplanan normal gerilmeler	46
Şekil 4.14. 20, 40 ve 60 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak dış yüzeyde hesaplanan normal gerilmeler	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Termoplastik kompozit malzemenin özellikleri	20
Çizelge 4.1.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z).....	27
Çizelge 4.2.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 20 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z).....	32
Çizelge 4.3.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 40 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z).....	36
Çizelge 4.4.	Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 60 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z).....	40

SİMGELER DİZİNİ

E	Elastisite Modülü (MPa)
E_r	Radyal yöndeki Elastisite Modül(MPa)
E_θ	Teğetsel yöndeki Elastisite Modül(MPa)
ν	Poisson oranı
σ_r	Radyal doğrultudaki normal gerilme
σ_θ	Teğetsel doğrultudaki normal gerilme
σ_z	Z doğrultusundaki normal gerilme
T	Üniform sıcaklık
ε_r	Radyal doğrultudaki şekil değiştirme
ε_θ	Teğetsel doğrultudaki şekil değiştirme
ε_z	Z doğrultusundaki 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 ($1/^\circ\text{C}$)
α_r	Radyal yöndeki ısı genleşme katsayısı
α_θ	Teğetsel yöndeki ısı genleşme katsayısı

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

1.1. Kompozit Malzeme

Günümüzde kullanılan kompozit malzemelerin tanımı çok geneldir. Tanım olarak kompozit malzemeler; “Dizayn amacına uygun olarak (ısı, mekanik, fiziksel, işletme vb.) istenilen bir veya birden fazla özelliği içeren bileşenlerin bir araya makro ve/veya mikro olarak getirilmesi ile oluşturulan, istenen özellikleri baskın, istenmeyen özelliklerin yok edilmesini sağlayan malzemelere” verilen genel addır (Hoskin, 1986).

Bir başka şekilde tarif yapmak gerekirse; en iyi özelliklerini bir araya getirmek ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak, iki veya daha fazla malzeme kullanılarak mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla oluşan malzemeye *bileşik* ya da *kompozit malzeme* denir. Kompozit malzeme, doğrudan talep edilen maksatla kullanılmayan en az iki ayrı malzemedен özellikli bir özelliği elde edebilmek için bu malzemelerin belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak kombine edilmesi ile elde edilir (Deniz, 2005).

İlk çağlardan beri insanlar, kırılğan malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak bu kırılğanlık 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 artırmaktadır (URL-1).

Kullanımda, alışlagelmiş malzemelerden kompozit malzemelere geçişin başlıca nedenlerinden biri, kompozitlerin standart *hafif / yüksek mukavemet* özellikli malzemelere göre *daha hafif / daha yüksek mukavemet* alternatifi getirmesidir. Buna ilave olarak üretimlerindeki esneklik, iyi korozyon ve aşınma dirençleri, uzun yorulma ömürleri ve düşük ısı iletkenlikleri ile birçok uygulama alanlarında konvensiyonel malzemelere göre üstünlük sağlamaktadırlar (Durman, 1991).

Farklı türdeki malzemeleri bir araya getirip kompozit malzeme üretmekteki amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğın elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle, kompozit malzemeye, “Çok

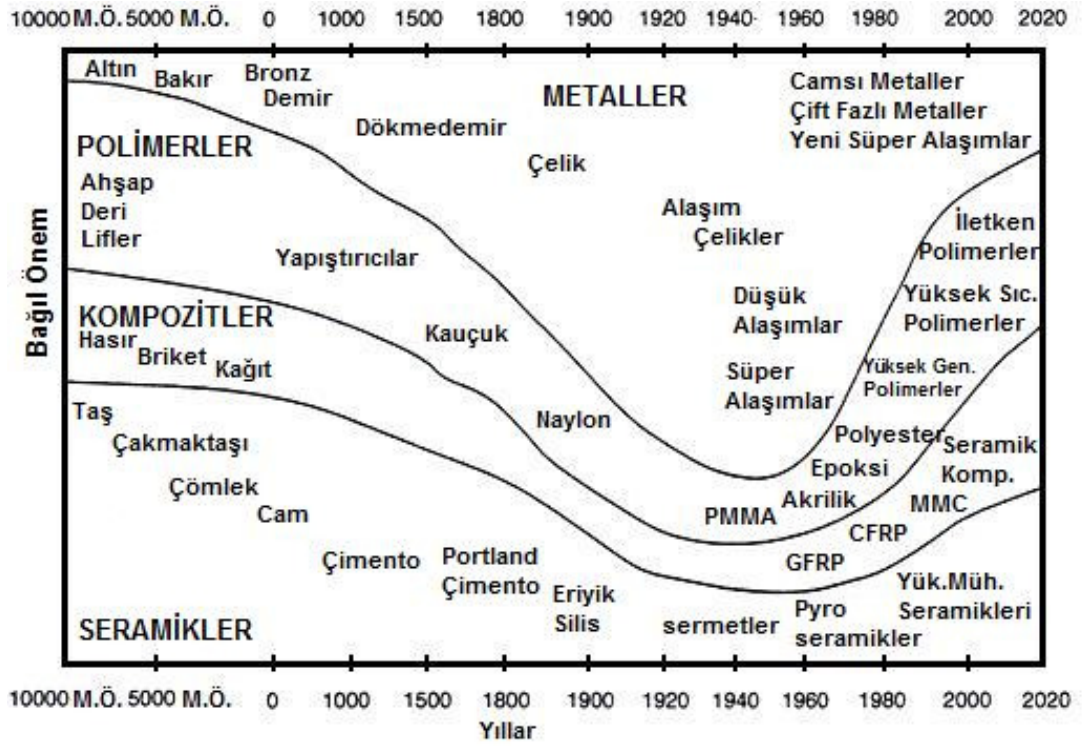
Bileşenli Malzeme”, “Çok Fazlı Malzeme”, “Donatılı Malzeme” ve “Pekiştirilmiş Malzeme” gibi adlar da verilmektedir (Ersoy, 2001). Bununla birlikte, bir malzemenin kompozit malzeme olarak ele alınabilmesi için öncelikle fazlardan bir tanesi diğer faz içerisinde miktar olarak en az % 5 olmalı ve ayrıca ilave fazın özellikleri diğer fazdan daha iyi olmalıdır (Chawla, 1995).

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).

1.2 Kompozit Malzemelerin Tarihi

II. Dünya savaşı esnasında, hali hazırdaki alışlagelmiş malzemelerin tek başlarına gelişen teknoloji karşısında belli gereksinimleri karşılayamaz hale gelmesi ile başlamış ve o zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri konusunda araştırma ve geliştirme faaliyetleri artarak devam etmektedir. Yaşanan bu gelişmeler için teşvik edici güç malzemelerde *yüksek dayanım/yoğunluk* ve *yüksek elastiklik modülü/yoğunluk* oranı elde etmek olmuştur. Bu nedenle de belirli uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Bu malzemeler, çok özel uygulama alanlarında üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla belirli tanımlanmış düzenleme biçimlerinde değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarından, çok fazlı malzeme olarak da adlandırılırlar (Şahin, 2006).

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 malzemelerin gelişmelerin birbirine göre önemi (Staab,1999)

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).

Kompozit malzemeler çok uzun zamandan beri var olan malzemeler olup, insanlar tarafından ilk kullanımlarının ne zaman olduğuna dair bir belge bulunmamaktadır. En yakın belgelerde Mısırlıların, kompozit malzemeleri kontrplak, kağıt hamuru, mukavemet kazandırmak için çamur içine hasır entegre ederek kullandıkları bilinmektedir. Buna benzer olarak, eski İnk ve Maya medeniyetlerinde tuğla ve çömlükleri sağlamlaştırmak için bitki liflerini kullanmışlardır. Kılıçlar ve zırhlar

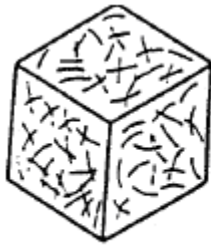
ortaçağda mukavemeti artırmak için kaplanmışlardır. Bunun bir örneği olarak, çok katmanlı kompozite dönüştürmek için tekrarlanmış katlama ve yeniden şekil verme ile üretilmiş Samuray Kılıcı gösterilebilir. Eskimolor, igloları inşa ederken buza mukavemet vermek için yosun kullanmışlardır. Otomotiv endüstrisinde, Chevrolet Corvette modeli ile kompozitler büyük ölçekte kullanılmıştır. Tüm bu örnekler insan yapımı kompozit malzemelerdir. Bambo, kemik, kereviz doğada var olan gözenekli kompozitlere birer örnektir. Öte yandan, kas dokusu, çok yönlü elyafli katmandır. Hem doğal ve hem de insan yapımı kompozit malzemelerin çok sayıda örnekleri bulunmaktadır (Staab, 1999).

1.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

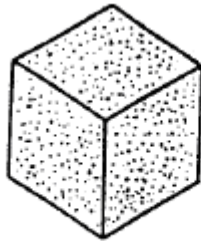
Mühendislikte kullanılan kompozit malzemeler genel olarak takviye tiplerine göre sınıflandırılmakta olup, en yaygın şekildeki sınıflandırma, fiber ve partikül şeklinde olanıdır (Staab, 1999).

Kompozit malzemelerin kabul edilen en yaygın dört tipi şunlardır (Jones, 1999);

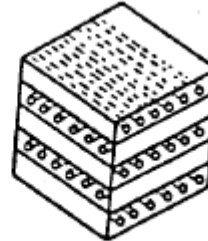
- Fiber takviyeli kompozit malzemeler
- Tabaka yapıda olan kompozit malzemeler
- Tane takviyeli kompozit malzemeler
- İlk üç tipin tümü ya da bir kısmını içeren kombinasyonlar



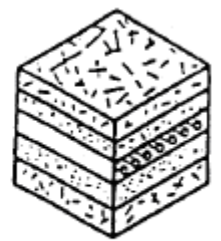
a) Fiber takviyeli



b) Partikül takviyeli



c) Tabakalı



d) Kombinasyon

Şekil 1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması (Aran, 1988)

1.3.1 Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

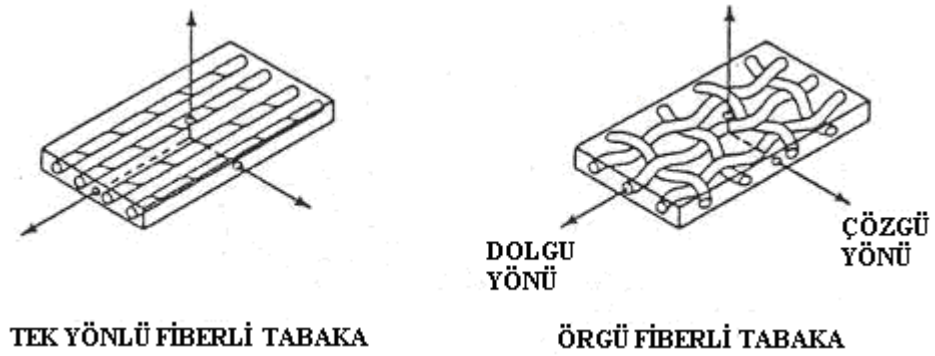
Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti

açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir (URL-2).

Çeşitli şekillerdeki uzun fiberler doğası gereği, aynı kitle formundaki malzemedan daha güçlü ve epeyce katı durumdadır. Lifçikler genel olarak, kısa, kalın fiberler olarak göz önünde bulundurulur. Doğal olarak, fiber ve lifçikler yük taşımak için yapısal bir eleman şeklini alacak şekilde birbirlerine yapışmadığı sürece az bir kullanımları bulunmaktadır. Bağlayıcı malzeme genel olarak *matriks* olarak adlandırılır (matematiksel bir kavram olan matriks ile karıştırılmamalıdır). Matriks malzemeleri; polimerler, metaller veya seramikler olabilir (Jones, 1999; Staab, 1999).

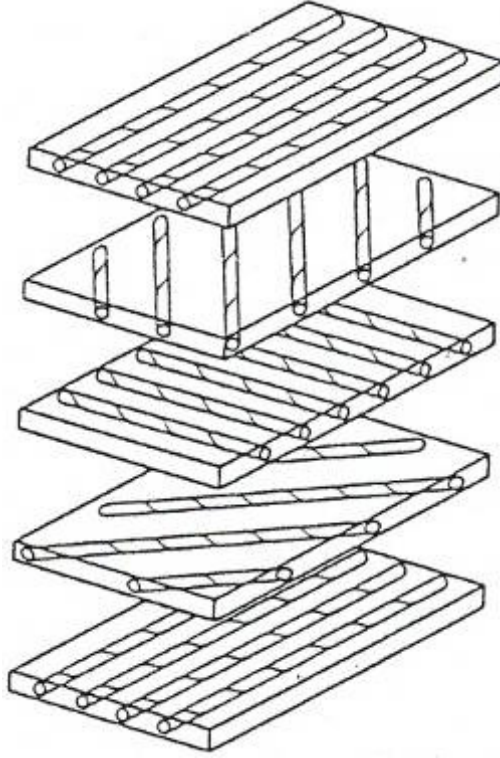
1.3.2 Tabaka Yapıda Olan Kompozit Malzemeler

Tabaka yapısında olan kompozit malzemeler, birbirine yapışmış en az iki farklı malzemenin katmanından oluşmaktadır. Katmanlaşma, bileşen katmanlarının en iyi yönü ve daha yararlı malzeme elde etmek için yapışmış malzeme kombine etmekte kullanılır. Katmanın temel yapı bloğu, tek yönlü fiberler veya matriks içinde örülmüş fiberlerin düzeninde olan ince tabakadır (kabukta bazen kavislidir). Matriks organik, metalik, seramik ya da karbon olabilir (Jones, 1999).



Şekil 1.3. İnce tabakanın başlıca iki tipi (Jones, 1999)

Tabakalı kompozit, Şekil 1.4' te gösterildiği gibi değişken olarak yönlendirilmiş malzeme yönleri ile ince katmanların bir dizisidir (Jones, 1999).



Şekil 1.4. Tabakalı kompozitlerin yapıştırılmamış görüntüsü (Jones, 1999)

1.3.3 Tane Takviyeli Kompozit Malzemeler

Tane takviyeli kompozitler sermetler ve dispersiyon ile sertleştirilmiş alaşımlar şeklinde iki grup içinde toplanabilir. Sermetler metalik matriks 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 ThO_2 dispersiyonu ile kuvvetlendirilmiş nikel Al_2O_3 dispersiyonu ile kuvvetlendirilmiş alüminyum alaşımı verilebilir (Kaw, 2006).

1. Metalik olmayan kompozit malzemelerdeki metalik olmayan tanecikler,
2. Metalik olmayan kompozit malzemelerdeki metalik tanecikler,
3. Metalik matriks kompozit malzemelerdeki metalik tanecikler,

4. Metalik matriks kompozit malzemelerdeki metalik olmayan tanecikler.

Tanecikli kompozitlerin birkaç tipinin şematik gösterimi Şekil 1.5' te gösterilmiştir (Staab, 1999).



Şekil 1.5. Tanecikli kompozitlerin şematik gösterimi (Staab, 1999)

1.3.4 Kompozit Malzemelerin Kombinasyonları

Sayımsız çok fazlı kompozit malzemeler, daha önce de tartışıldığı gibi çeşitli sınıflandırmalar, fiber, katmanlı veya tanecikli kompozit malzemelerin birden fazla karakteristiğini sergiler. Örneğin, güçlendirilmiş beton hem tanecikli (çünkü beton çimento karışımındaki bağlayıcı maddedeki çakıllardan oluşur) ve hem de fiber (çelik güçlendiricilerden ötürü) yapıdadır. Aynı zamanda, tabakalı güçlendirilmiş fiber kompozit malzemeler açık olarak hem tabakalı ve hem de fiber kompozit malzemelerdir. Bu durumdan ötürü, herhangi bir sınıflandırma sistemi rastlantısal ve kusurludur. Tabakalı güçlendirilmiş fiber kompozit malzemeler, hem fiber kompozit malzeme ve hem de tabakalaştırma tekniklerini barındıran kompozit malzemelerin karma bir sınıfıdır. Burada, birlikte yapıştırılmış fiber güçlendirilmiş malzemenin katmanları çeşitli yönlerdeki tabakanın farklı rijitlik ve mukavemet vermek için, her bir tabaka tipik olarak farklı yönlerde yönlendirilmiştir (Şen, 2007).

1.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Metotları

Kompozit malzemeleri üretim tekniği; elyafa, matrikse, parça şekline ve istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere göre belirlenmekte olup, Bunlar (Şahin, 2006);

- Sıvı hal üretim teknikleri
- Katı hal üretim teknikleri olarak çok genel biçimde sınıflandırılabilir.

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, elyaf ve matriksin uygun özelliklerini tek bir malzemede toplamak amacıyla makro seviyede birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. (Şahin, 2006);

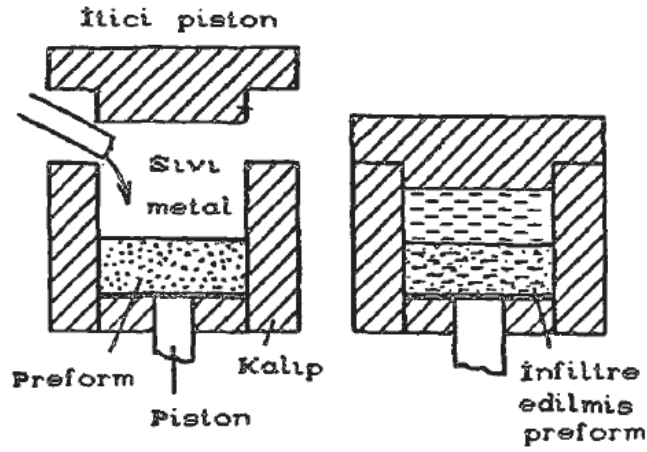
1. Elyafların eşit aralıklı dağılım göstermesi
2. Elyafların homojen bir dağılım göstermesi
3. Yüksek dayanımlı elyaflar mekanik temaslara karşı hassas olduğundan elyafların kırılmasının önlenmesi
4. Elyaf ve matriks arasında kuvvetli bir ara yüzey bağının oluşturulması

1.4.1 Sıvı Metal Emdirmesi (İnfiltrasyon)

Sıvı metal emdirmesi tekniği, hem kısa elyaf, hemde sürekli elyaf takviyeli metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılan metoddur. Metodta önce istenilen şekilde uygun bağlayıcı kullanılarak preform hazırlanır. Hazırlanan preform kalıp içerisine yerleştirilmekte ve ergimiş metal enjekte edilerek bu mastarın ıslatılması sıvı metal emdirilerek sağlanır, bu sırada organik bağlar yanar ve katılaşmaya bırakılır. Emdirme işlemi, sıvı dövme döküm tekniğinde olduğu gibi basınçla gerçekleştirilebilir (Şahin, 2000).

1.4.2 Sıkıştırılmalı veya Sıvı Dövme Döküm Tekniği

Bu yöntem, basınç altında katılaştırma ilkesine dayanmaktadır. İstenilen şekilde ve fiber hacmine sahip önşekil ısıtılarak alıp boşluğuna bırakılır ve sonra ısıtılmış kalıba sıvı metal dökülür. Bu işlemin ardından hidrolik baskı uygulanır ve sıvı metal katılaşana kadar bu işlem devam ettirilir. Konvensiyonel dökümlere nazaran daha fazla basınç gerektirmektedir. Sisteme uygulanan basınç değeri yaklaşık 100 MPa kadardır. Yüksek basınç ihtiyacından ötürü istenilen parçanın ebatları sınırlayıcı etkindir (Kurnaz, 1993).



Şekil 1.6. Sıkıştırma döküm yöntemi (Kurnaz, 1993)

1.4.3 Basıncılı İnfiltrasyon

Tekniğinin sıkıştırma dökümden farkı, sıvının önşekil veya yatak içerisine bir zımba ile değil de basınçlı soygaz ile iletilmesidir. Bir ucu basınç ünitesi içerisine yerleştirilmiş pota içerisindeki sıvı metale daldırılmıştır. Diğer ucu normal atmosfer veya vakuma bağlanmış ve içerisinde takviye malzeme bulunan bir silindirden meydana gelmektedir. Takviye geçişi engelleyecek şekilde silindir içerisine yerleştirilir. Silindir içerisindeki bu parçacıklar sıvı metale daldırılır veya başka bir yerde ön ısıtmaya tabii tutulur. Bu işlemde proses değişkenleri (Şahin,2006);

- a) Kalıp ön ısıtma sıcaklığı,
- b) İnfiltrasyon basıncı,
- c) Sıkıştırılmış takviye yoğunluğu,
- d) Takviye parçacık boyu,
- e) İnfiltrasyon hızı,
- f) Sıvı metal sıcaklığı, olarak sıralanabilir.

1.4.4 Sıvı Metal Karıştırması

Bu üretim yönteminin oldukça değişik versiyonu var olmakla beraber takviye malzemenin tamamıyla sıvı haldeki matris içerisine girmesini sağlamak için bazı yaklaşımlar şu şekilde özetlenebilir (Swhartz, 1992):

- a) Bir enjeksiyon tabancası kullanarak sıvı içerisine taşıyıcı soygaz ile tozların enjeksiyonu,
- b) Kalıp dolarken sıvı içerisine seramik parçacıkların ilave edilmesi,

- c) Mekanik hareket ile oluşturulan vorteks içerisinde parçacıkların sıvı metale ilave edilmesi,
- d) Sıvı içerisine, matriks alaşımı ve takviye toz karışımından meydana gelen, küçük briketlerin ilave edilmesi ve ardından karıştırılması,
- e) Karşılıklı hareket eden çubuklar kullanılarak parçacıkların sıvı içerisine itilmesi,
- f) Merkezkaç etkisi ile ince parçacıkların sıvı içerisine dağıtılması, veya ultrasonik ile sıvı sürekli hareket halinde iken parçacıkların sıvı içerisine enjeksiyonu,
- g) Sıfır yerçekimi prosesin uygulanması. Bu proses uzun bir zaman dilimi için çok yüksek vakum ve sıcaklıkların birlikte etkisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

1.4.5 Yarı Katı Karıştırma Yöntemi

Bu yöntem bazen “Compocasting” veya “Rheocasting” olarak da anılmaktadır. Bu yöntemde katı ile sıvı arasındaki sıcaklığa sahip yarı katı karıştırmak suretiyle yapılan takviye ilave tekniğidir. Alaşımın sıcaklığı, sıvı sıcaklığının 30-50 °C üzerine çıkarılıp şiddetli şekilde karıştırılarak, yarı-katı aralığa kadar soğumasına müsaade edilir (URL-1).

1.4.6 Plazma Püskürtme

Atomik yapıdaki ergimiş metal parçacıkların, takviye elemanları üzerine istenilen kalınlıkta püskürtülmesi işleminden oluşmaktadır. Püskürtülen ergiyik metal parçacıkları takviye elemanlarına yapışır ve en kısa sürede katılaşmaya başlar. Bu tip üretim yöntemi alüminyum gibi ergime sıcaklığı nispeten düşük olan metallerde uygulanır. Bu üretim metoduyla takviye elemanı üzerine istenilen kalınlığı verecek şekilde ergimiş metal püskürtülerek kompleks şekilli parçalar üretilebilir. Bunlara ek olarak, fiberler arası mesafenin kontrolü ve fiberlerin daha rahat yönlendirilebilmesi gibi ek avantajlara sahiptir (Akorall, 2003).

1.4.7 Toz Metalurjisi Tekniğı

Toz metalurjisi tekniğı ile üretilen parçaların genellikle sıvı hal üretim yöntemiyle üretilmiş parçalardan daha üstün mekanik özelliklere sahip oldukları bilinmektedir. Düşük sıcaklıklarda çalışılması, homojen katkı elemanı dağılımının elde edilebilmesi, kompozit yapının kontrolüne imkân vermesi, katkı elemanlarının daha ekonomik olması gibi nedenlerden ötürü parçacık takviyeli metal matriksli kompozitlerin üretiminde tercih edilmektedir (Bahçeci, 2006).

1.4.8 Difüzyon Bağlama ve Vakumda Presleme

Bu metotla birleştirme, yüksek basınç ve sıcaklıkta altında yapılır. Bu teknikte ilk önce, levha şeklindeki metal veya metal alaşımları ile elyaf şeklindeki takviye elemanları etkili yayılma sağlamak için kimyasal yüzey işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra elyaflar önceden belirlenen yönlerde, açılarda ve istenilen aralıklarda metal tabakalar üzerine yerleştirilir. Levha halinde hazırlanan bu malzemeler metal bir kaba yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanır ve vakuma alınır. Daha sonra belirli sıcaklıkta genellikle erime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ısıtılarak difüzyon ile birleşmesinin gerçekleşmesi için preslenir veya haddelenir. Ancak bu işlemde metal levhalar ile elyaf yüzeylerinin çok temiz ve oksitsiz olması gerekir. Aksi durumda ara yüzeyde istenilen bir difüzyon bağı oluşturulamaz. Çünkü kompozitin dayanımı bu oluşacak difüzyon bağına bağlıdır (Şahin, 2000).

1.4.9 Sıcak Presleme ve Sıcak İzostatik Presleme

Bu yöntem, Al, Mg ve Ti gibi metal matrisli kompozit malzemeleri üretmek için başarılı bir şekilde kullanılır. Numuneler, metal matristen oluşan ince folyo tabakalar arasına yerleştirilir ve kompoziti yerinde tutmak için bir bağlayıcı ile spreylenebilir ve daha sonra bağlayıcı yakılarak yok edilir. Bu işlemin ardından şekillenmiş kompozit tamburdan çıkarılır, istenilen ölçüde kesilir ve sıcak pres kalıp içine istiflenir. İstiflenmiş kütle üzerine hafif basınç uygulanır ve bağlama sıcaklığına ulaşıldığında gerekli zaman için tam bağ basıncı uygulanır. Daha sonra basınç kaldırılır ve ısıl uzamalarda uyumsuzluklardan ileri gelen kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için, parça komple yavaş bir biçimde soğumaya bırakılır. Sıcak izostatik preslemenin iki işlemde meydana geldiği, fakat MMK'nın mikroyapı ve özellikleri üzerine daha az bir etkisinin olduğu bilinmektedir. Sıcak presleme ile ilgili üretilen kompozitlerin; yüksek dayanım göstermesi, dayanım/yoğunluk oranının geleneksel malzemelerden 2-4 kat daha yüksek olması, yüksek sıcaklıklarda dayanımı muhafaza etmesinin mükemmel olması, yorulma dayanımının iyi olması ve karışımlar kuralına tam uyum göstermesi gibi üstün özellikleri bulunmaktadır (Ejiofor, 1997).

1.5 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin çok çeşitli kullanım alanları olmakla birlikte, başlıca kullanım alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz (Deniz, 2005);

- a) Otomobil, kamyon, otobüs kaporta parçaları, tampon, ön ve arka far yuvaları, çeşitli motor aksamı, rüzgarlık, gösterge panelleri, izole tanklar, treyler panelleri, dorse parçaları gibi otomotiv sektöründe,
- b) Balistik başlık ve yelek, araçlar için balistik koruyucu parçalar, roket gövdeleri, fırlatma tüpleri, roket motor korumaları, burun konileri, cihaz gövdeleri, taşıma sandıkları, cephane parçaları gibi savunma sektöründe,
- c) Kimyasal yakıt tankları, basınçlı tanklar, borular, depolama tankları, pompa ve valf parçaları, atık ve taşıma boruları, asit banyoları gibi kimya sektöründe,
- d) Panolar, dış kaplama giydirme elemanları, döşeme elemanları, beton kaplama elemanları, direkler, ses perdeleri, kapı pencere elemanları, zemin döşemeleri, mutfak ve banyo malzemeleri, çatı kaplama malzemeleri, prefabrik birimler, mobilyalar, mimari parçalar, bahçe birimleri, karayolu işaretlemeleri gibi inşaat sektöründe,
- e) Tekne gövdeleri, yakıt tankları, su elemanları, mobilyalar, motor kapakları, arıtma tankları, basınçlı tanklar, iskele elemanları gibi denizcilik sektöründe,
- f) Golf, hokey sopaları, kar ve su kayakları, baretler, el mobilyaları, oyun bahçesi ve park elemanları gibi diğer sektörlerde kullanılırlar,
- g) 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. (Margolis, 1986).
- h) Otomobil firması müşterilerinin ihtiyaçlarına karşılık vermek 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.
- i) Kompozit malzemeler, elektriksel izolasyonu sayesinde elektrik sanayisinde üretim malzemesi olarak elektronik aletlerin yapımında kullanılırlar (Yağcı, 2007).
- j) İnşaat sektöründe 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.

- k) 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 racketleri, kayak, balık oltaları, bisiklet vb. ürünlerin üretiminde kullanılırlar (Mazumdar, 2002).
- l) 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).
- m) Dolap, masa, sandalye, süs eşyaları, çerçeve, televizyon dolabı gibi çok sık kullanılan ev aletlerinde kompozit malzemeler kullanılır..

1.6. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

- 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 elektriksel 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 metallerden öndedirler.
- Kompozit malzemeye, kalıplama sırasında reçineye ilave edilen pigmentlerle istenen renk verilebilir. Buda işçilikten ve ek bir masraftan kazanç sağlar (Vatangül, 2008).

- 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).

BÖLÜM II

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Fomey (1986), kompozit malzemelerin tasarımcı ve mühendislere sağladığı olanağın sadece farklı özelliklerdeki malzemelerin bir araya getirilmesi değil, aynı zamanda malzeme özelliklerinin belirli bir yapı içerisinde, hatta bu yapının belirli noktaları ve doğrultuları üzerinde değişebilirliğinin sağlanması olduğunu tespit etmiştir. Taşgetiren (1999) dört temel unsurun kompozit malzemelerin özelliklerini belirlediğini saptamıştır. Bunlar matris, fiber, ara yüzey ve mikro yapı özellikleridir. Kompozit malzeme genel olarak sürekli bir fiber ve bir matris malzemedan meydana gelmektedir. Kompozit malzemelerin isimlendirilmesi, kullanılan matris ve fiber malzemelerin çeşitli kombinasyonları ile oluşturulan fiber/matris malzemelerine göre yapılır.

Shabana ve arkadaşları (2001), sonlu elemanlar tekniği ile kompozitlerde, termo elasto-plastik gerilmeleri tespit etmiştir. Güven ve Altay (1998), sabit sıcaklıkta katı bir kompozit diskte meydana gelen ısıl gerilmeleri incelemiştir. Stanley ve Garroh (1999) çaptan bası yükü ile yüklenmiş fiber takviyeli kompozit bir diskin termoelastik davranışlarını inceleyen bir test şekli tarif etmiştir.

Tong (2002), 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 kaldırılabilmektedir. Bunun yanı sıra, maliyetlerinin düşük olması nedeniyle özellikle otomotiv, tasarım ve mobilya endüstrilerinde yaygın bir kullanım alanına sahiptirler.

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.

Sayman (2005) tarafından yapılan çalışmada, ankastre mesnetli ve çelik tellerle takviye edilmiş alüminyum metal-matriksli tabakalı kompozitlerde meydana gelen ısıl

gerilmeler, hesaplanmıştır. Çalışmada ısı gerilmeler elastik-plastik analiz ile bulunmuştur. Sıcaklığın plakanın kalınlığı boyunca lineer olarak değiştiği kabul edilen bu çalışmada çözüm analitik olarak yapılmıştır. Sayman ve Özer (2001) yaptıkları çalışmada, bir önceki çalışmada kullanılan malzeme özelliklerine sahip alüminyum metal-matriksli sahip kompozit kullanarak bir başka çözüm gerçekleştirmişlerdir. Bu yeni çalışmada öncekinden farklı olarak sıcaklığın lineer değil parabolik olarak değiştiği kabulü ile ısı gerilmeler bulunmuştur. Bununla birlikte benzer çözüm yöntemi ile çözüm yapılmıştır.

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 ısı gerilme analizini gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklık yükü olarak, üniform sıcaklık uygulanmıştır. Üniform sıcaklık tesiriyle oluşan, ısı gerilmeler incelenmiştir. Problemin modellenmesinde, sonlu elemanlar çözümünde etkin bir paket program olan ANSYS paket programından yararlanılmıştır.

Kaynak ve Şen (2005) yaptıkları çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş polimer matrisli bir kompozit diskteki ısı gerilmeleri hesaplamışlardır. Isı gerilmeler üniform sıcaklık etkisiyle meydana getirilmiştir. Çözüm için iki boyutlu sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmıştır. Bu amaç için ANSYS yazılımından yararlanılmıştır. Analiz edilen kompozit malzemenin üretimi Kaynak (2005) tarafından gerçekleştirilmiş ve üretilen bu kompozit malzemenin özellikleri yine aynı araştırmacı tarafından deneysel olarak elde edilmiştir.

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

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. Isıl gerilme analizi ANSYS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan uniform sıcaklık artışına ve tabaka dizilişinde bağlı olarak, kompozit malzemelerdeki ısıl 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 ısıl gerilmeler elde edilmiştir. Modelleme ve çözüm ANSYS programı yardımıyla yapılmıştır. Sıcaklık uniform olarak etki ettirilmiştir ve 80 ° C ile 120 ° C arasında farklı sıcaklıkların ısıl gerilmeler üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre radyal yöndeki ısıl gerilmelerin, teğetsel yöndeki ısıl gerilmelerden daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte ısıl gerilmelerin uniform sıcaklık yükünün değişimine bağlı olarak değiştiği görülmüştür

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

Çallıoğlu (2007) uniform ve lineer gibi azalan veya artan sıcaklıklar etkisindeki dönen kompozit bir diskteki ısıl gerilmeleri hesaplamıştır. Dönen 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 anlaşılmıştır. 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 (2008) tarafından kompozit disklerle ilgili yapılan bir çalışmada, ısı gerilmeler üzerine parabolik sıcaklık değişimin 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.

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

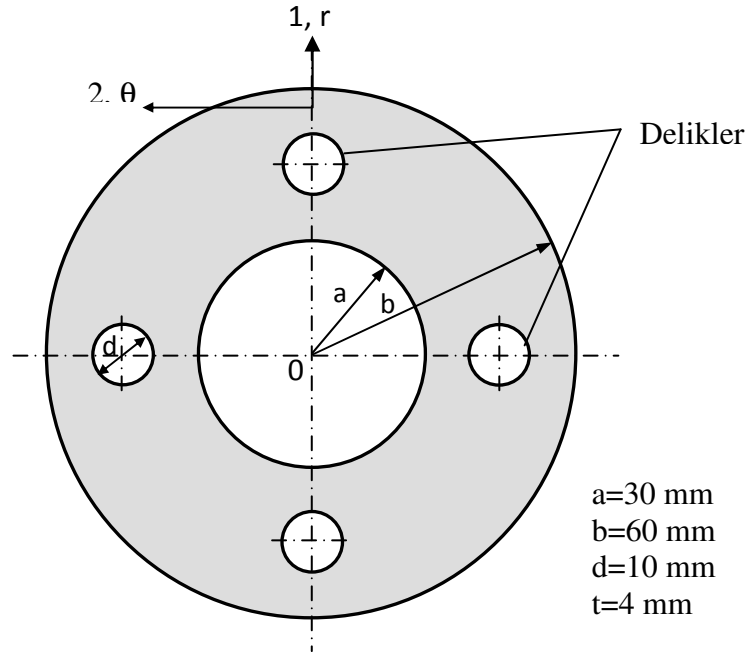
Örçen ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada, düşey yayılı yük etkisinde çalışan kare şeklinde ortasında eliptik delik bulunan tabakalı kompozit plaka kullanılmıştır. Bu plakanın boyutları ve sınır şartları gösterilmiştir. Sayısal çözüm için plakanın $\frac{1}{4}$ ' ü alınmıştır. Matris malzemesi termoplastik (PVC), fiber malzemesi olarak da paslanmaz çelik seçilmiştir. Takviye malzemesi dokuma şeklindedir. Plakayı oluşturan her bir tabaka 2.1 mm kalınlığında olup, farklı takviye açlarına sahiptir. Bu tabakalardan 4'er tanesi bir araya getirilerek tabakalı kompozit plakalar elde edilmiştir. İnce tabakaların birleştirilmesiyle oluşan tabakalı kompozit plakalar gelişmiş bir yapı örneğidir. Bu yeni yapıyı oluşturan her bir plaka, uygulanan yükü asal doğrultularda taşıdığı için plakanın yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Plakada akma meydana getirecek düşey yükler uygulanarak, değişik takviye açıları için plastik bölge dağılımı ve plastik gerilme değerleri elde edilmiştir.

BÖLÜM III

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Çok Delikli Kompozit Problemi

Bu çalışmada, Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen çok delikli kompozit disk modellenmiştir ve analiz edilmiştir. Dış yarıçapı $b=60$ mm olan kompozit diskin ortasında $a=30$ mm yarıçapında dairesel bir delik ve ayrıca üzerinde her birinin çapı 10 mm olan 4 adet delik olduğu varsayılmıştır. Kompozit disklerle ilgili daha önce yapılan ve bir kısmı Bölüm 2’de bahsedilen çalışmalarda modelleme ve çözümlerin iki boyutlu olarak yapılmış olduğu anlaşılmaktadır. Fakat, bu yeni çalışmada bu alanda bir yenilik olarak kompozit disk üç boyutlu olarak modellenmiş ve çözülmüştür. Dolayısıyla, modelleme sürecinde kompozit disk üç boyutlu olarak modellenmiş ve $t=4$ mm kalınlığında olduğu varsayılmıştır. Böylece üç boyutlu bir çalışma ortaya konulmuştur.



Şekil 3.1 Çok delikli kompozit diskin şematik görünümü

3.2. Termoplastik Kompozit Malzeme Özellikleri

Termoplastik kompozit diskin malzeme özellikleri için literatürden faydalanılmıştır. Hatırlanacağı üzere Bölüm 1’de genel olarak kompozit malzemelerin tanımlanmalarından, çeşitlerinden, sınıflandırılmalarından ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Bölüm 1’den anlaşıldığı üzere, kompozit malzemeleri meydana getirirken, çeşitli takviye elemanları (cam fiber, çelik teller, karbon fiber vb.) ile takviye edilen termoplastik matrise sahip, termoplastik kompozitler oldukça önemli bir

kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle, kullanım alanlarının çokluğu nedeniyle bu çalışmada kompozit malzeme olarak, termoplastik matrise sahip bir kompozit malzeme kullanılması tercih edilmiştir. Dolayısıyla, Çallıoğlu (2007) tarafından yapılan önceki bir çalışmada üretilen termoplastik kompozit malzeme özellikleri kullanılmıştır. Çallıoğlu yaptığı çalışmada (2007), kompozit malzemenin; termoplastik (Nylon 6) matrisin içerisine %40 oranında konulan kısa cam fiberler ile enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretildiğini açıklamaktadır. Üretimini gerçekleştirdiği termoplastik matrise sahip cam fiberler ile takviye edilmiş olan bu kompozit malzemenin mekanik özelliklerini deneysel olarak bulduğunu ifade etmektedir. Termoplastik kompozit malzeme özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir (Çallıoğlu, 2007). Termoplastik kompozit malzemenin yoğunluğu ise $\rho=1,6 \text{ g/cm}^3$ ve ergime derecesi $280 \text{ }^\circ\text{C}$ ’dir (Çallıoğlu, 2007).

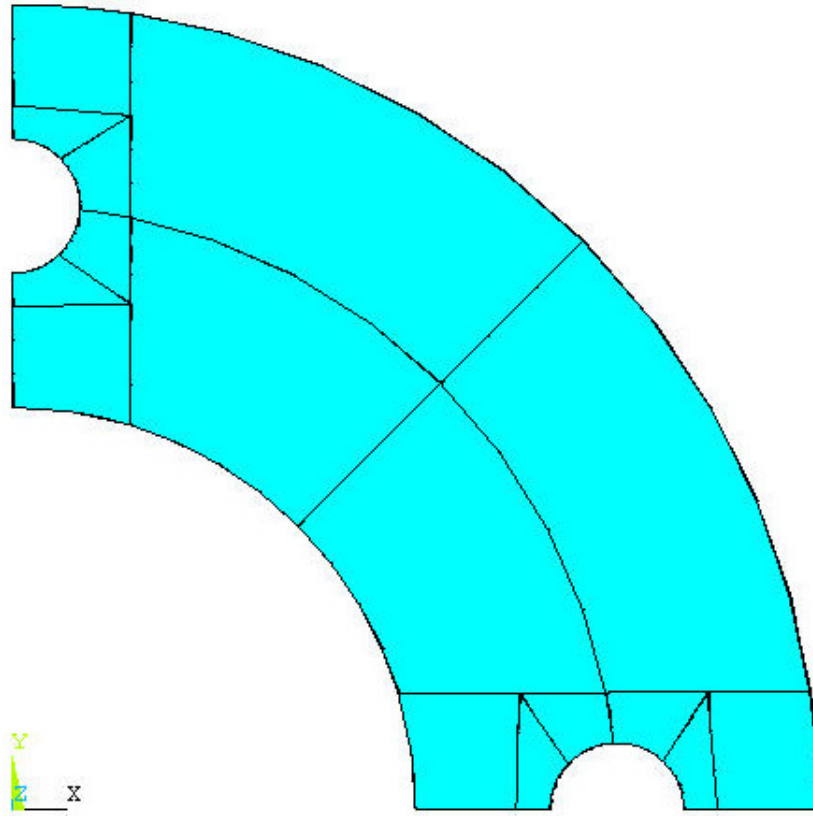
Çizelge 3.1 Termoplastik kompozit malzemenin özellikleri (Çallıoğlu 2007)

E_1 (MPa)	E_2 (MPa)	G_{12} (MPa)	ν_{12}	X (MPa)	α_1 ($1/^\circ\text{C}$)	α_2 ($1/^\circ\text{C}$)
20,000	12,000	8000	0,35	235	9×10^{-6}	114×10^{-6}

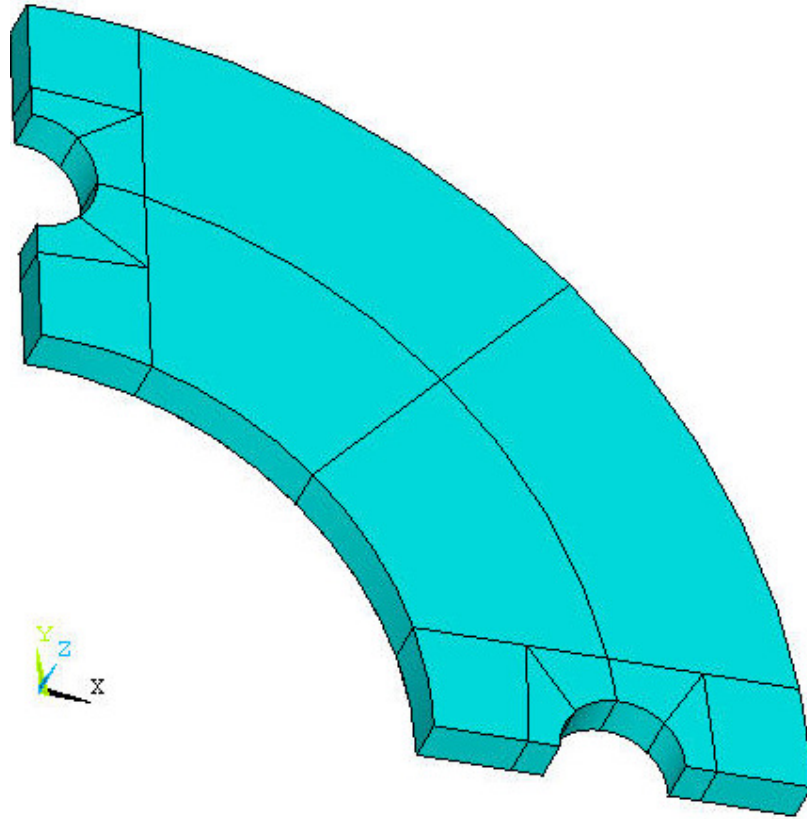
3.3. Sonlu Elemanlar ile Modelleme ve Çözüm

Son zamanlarda birçok farklı alanda ve mühendislik problemlerinin çözümünde sonlu elemanlar metodunun tercih edildiği anlaşılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, sonlu elemanlar metodundan yararlanılmıştır. Bu nedenle bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programı kullanılmıştır. ANSYS programının tercih edilmesinin en önemli nedeni hem çok çeşitli alanlardaki bilimsel çalışmalarda hem de ticari olarak faaliyet gösteren çeşitli sektörlerde oldukça fazla kullanıma sahip olmasıdır. Kısacası, bu çalışma için termoplastik matrisli cam fiberlerle takviye edilmiş termoplastik kompozit diskin hem modellenmesi hemde çözümü ANSYS programı kullanılmak suretiyle yapılmıştır.

Çalışmada öncelikle çok delikli kompozit diskin üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Şekil 3.2’de elde edilen katı disk modelin iki boyutlu ve üç boyutlu görüntüleri verilmiştir. Kompozit diskin simetri koşullarından dolayı, sadece $\frac{1}{4}$ kısmının modellenmesi yeterli olmuştur.



a) Çok delikli disk modelin önden görünüşü

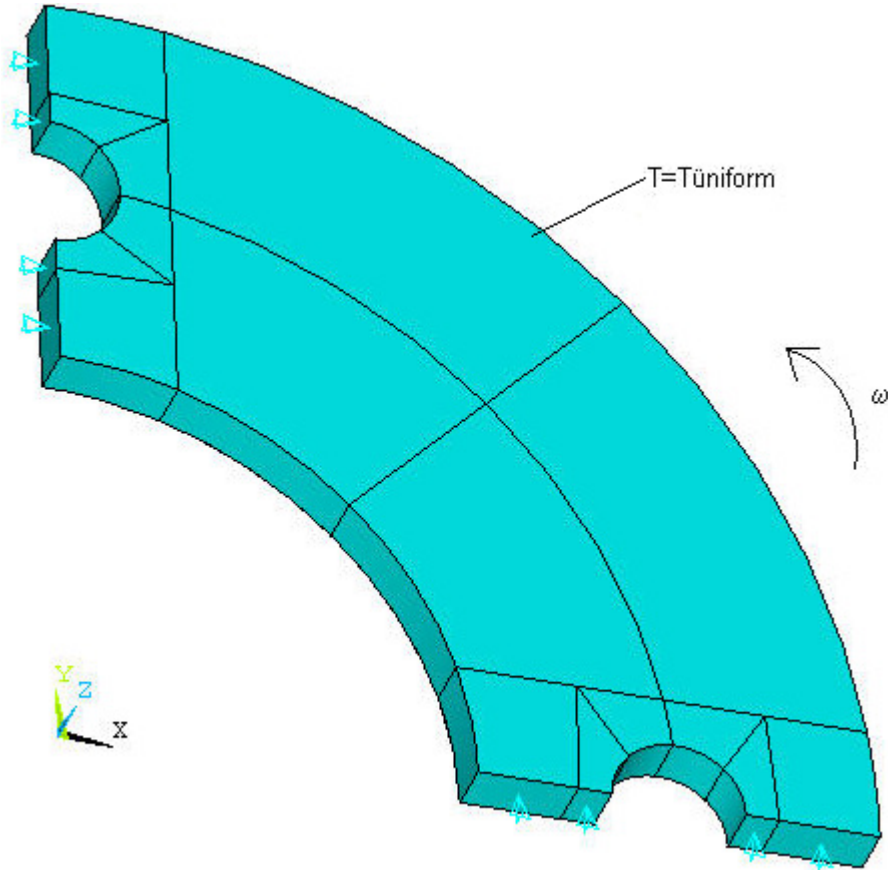


b) Çok delikli disk modelin üç boyutlu görüntüsü

Şekil 3.2 Termoplastik kompozit diskin elde edilen katı modeli

Böylece, katı disk model üzerindeki eleman sayısı ve düğüm noktasının daha az sayıda elde edilmesi amaçlanmıştır. Bilindiği üzere, eleman sayısı ve düğüm noktası sayısının azaltılması ile çözüm süresinin kısaltılması ve sonuç dosyalarının boyutlarının daha küçük olması sağlanabilmektedir. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi herhangi bir bütün diskin tamamı yerine, sadece bir kısmının modellenerek çözümlerinin yapılabilmesi, sonlu elemanlar metodunun ve ayrıca ANSYS programının kullanıcılarına sağladığı önemli bir avantajdır.

Elde edilen çok delikli kompozit disk katı modeline sınır şartlarının uygulanması Şekil 3.3’te gösterildiği gibi yapılmıştır. Bu şekilden görüldüğü gibi diskin $\frac{1}{4}$ ’üne uygun ve simetri şartlarına uygun olarak yapısal sınır şartları etki ettirilmiştir.

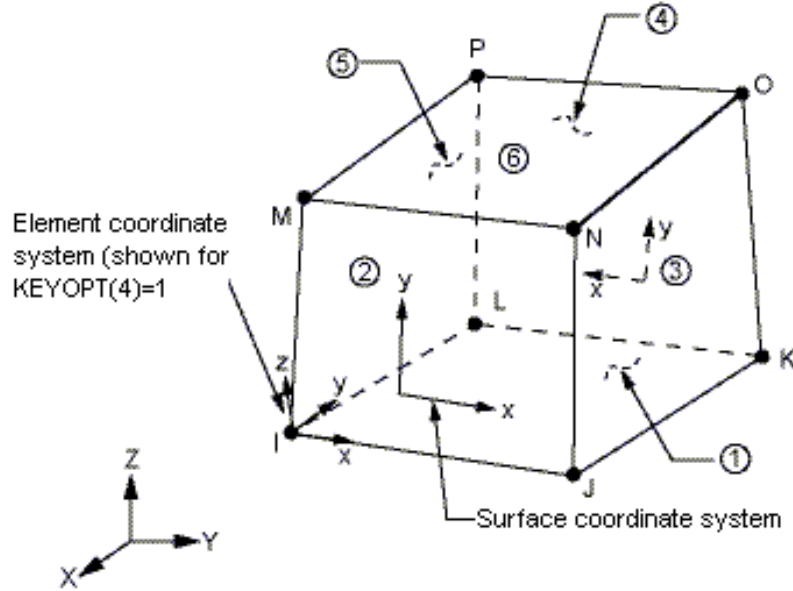


Şekil 3.3 Termoplastik kompozit disk modeline sınır şartlarının uygulanması

İlk önce kompozit disk üzerine ısı yükü olarak üniform sıcaklık yükü etki uygulanmıştır. Fakat gerçek uygulamalarda tek yük yerine genellikle iki ve daha fazla yükün kompozit diskleri etki ettiği bilinmektedir. Bu nedenle, problemin çözümünün gerçek şartlara daha uygun olması amacıyla, uygulanan üniform sıcaklık yüküne ilave olarak kompozit diskin bir dönme hareketine sahip olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla, ikinci olarak

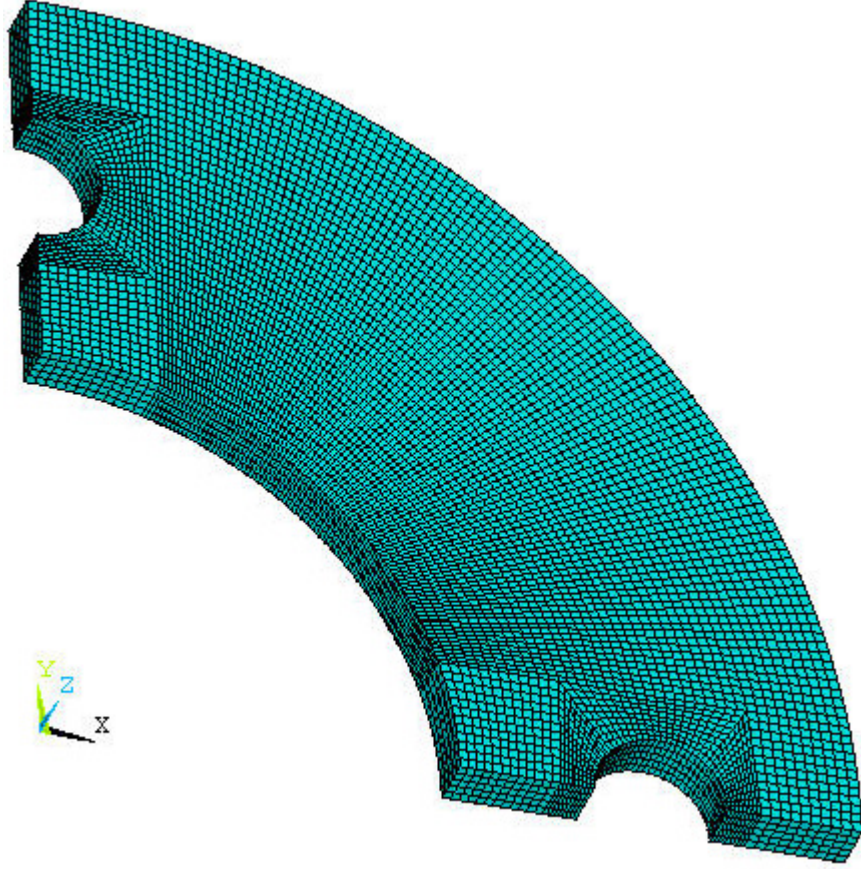
sırasıyla belirli uniform sıcaklıklar etkisindeki çok delikli termoplastik kompozit diske, ikinci yük olarak çeşitli değerlerde açısal hızlar (ω) uygulanmıştır.

Modelleme sürecinde, çok delikli katı disk modelin oluşturulması ve sınır şartlarının oluşturulan bu modele uygulanmasından sonra, sonlu elemanlarla çözüm yönteminin en önemli aşaması olan, model üzerinde sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Bu amaçla ilk olarak, ANSYS programında var olan ve Şekil 3.4'te görülen SOLID45 eleman tipi seçilmiştir. Bu eleman tipi, üç boyutlu modele uygun olarak, üç boyutlu ağ yapısının model üzerinde oluşturulmasına imkan sağlayacak olan bir eleman tipidir.



Şekil 3.4 SOLID45 eleman tipi (ANSYS)

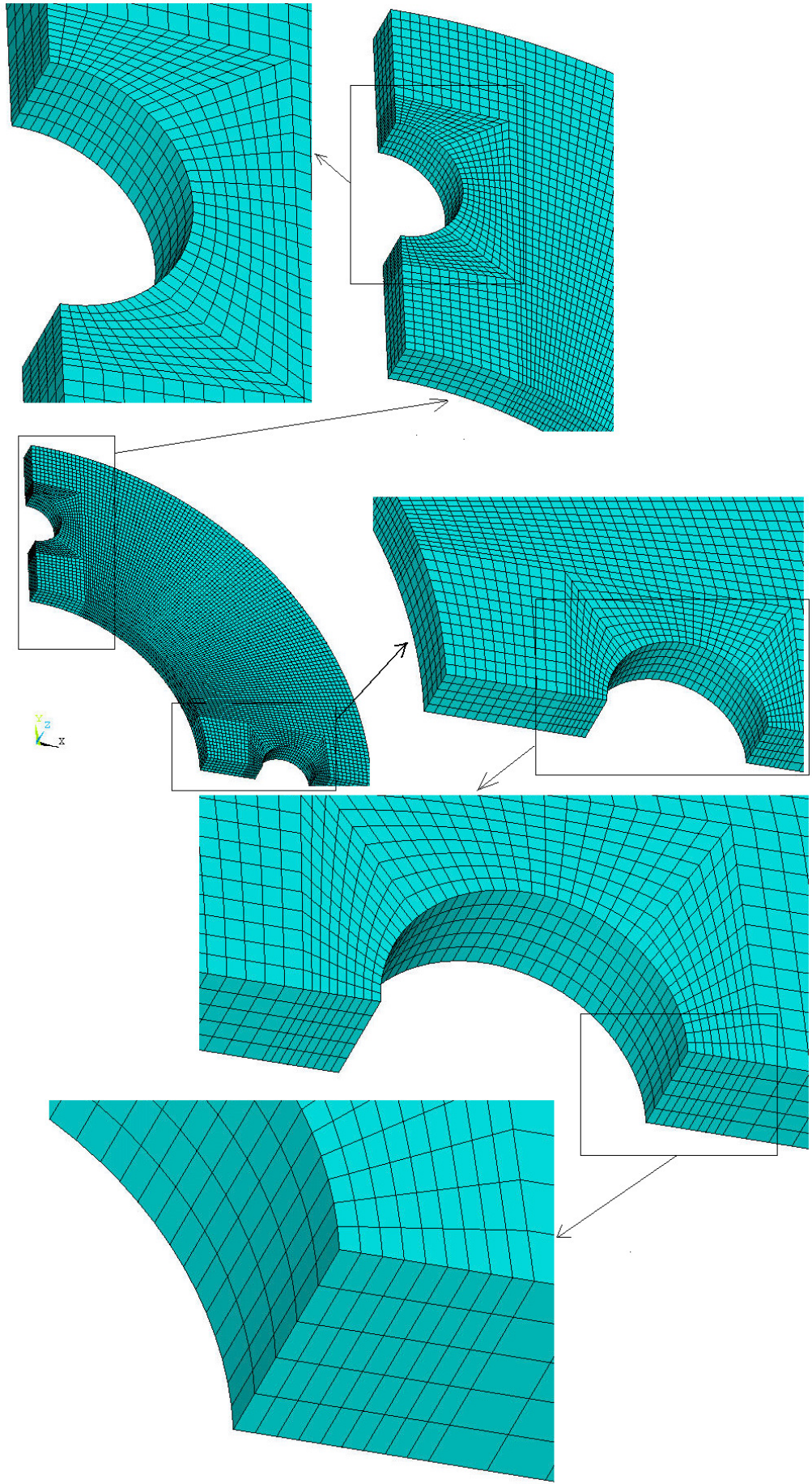
Üç boyutlu katı modele uygun olan SOLID 45 eleman tipinin seçilmesinden sonra, çok delikli kompozit diskin sonlu elemanlara bölme işlemi yapılmıştır. Kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmüş hali Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bununla birlikte, Şekil 3.6'da ise model üzerindeki bazı kısımlar büyütülmüş olarak verilmiştir. Sonlu elemanlar ağ yapısı oluşturulmuş olan modelin, bu şekilde detaylandırılmış görüntülerinin verilmiş olmasının nedeni ise disk üzerinde oluşturulan sonlu elemanlar ağ yapısının daha iyi görülebilmesi ve anlaşılabilmesinin amaçlanmış olmasıdır.



Şekil 3.5 Çok delikli kompozit diskin oluşturulan sonlu elemanlar ağ yapısı

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'dan açıkça görüldüğü üzere, çok delikli disk modeli üzerinde dörtgen elemanlardan oluşturulmuş düzgün bir ağ yapısı elde edilmiştir. Dairesel çok delikli model ve dairesel disk yapısı ve ayrıca iç kısmında oluşturulan dairesel deliğin varlığı nedeniyle düzgün dörtgen elemanlardan oluşan düzgün bir ağ yapısı elde etmek aslında zor bir işlemdir. Buna rağmen bu çalışmada, ANSYS programının sağladığı bazı özel avantajları da kullanmak suretiyle, bu şekilde düzgün bir ağ yapısının elde edilmesi mümkün olmuştur.

Sonuç olarak, sonlu elemanlara bölme işlemi sonucunda üç boyutlu olarak ve çok delikli $\frac{1}{4}$ termoplastik kompozit disk modeli üzerinde, 26190 eleman ve 32652 düğüm noktası elde edilmiştir.



Şekil 3.6 Sonlu elemanlara bölünmüş modelin büyütülmüş görüntüleri

BÖLÜM IV

4. BULGULAR

4.1 Giriş

Bu çalışmada, çözümler sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, üç boyutlu çok delikli modellemeler ve analizler bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışma, genel olarak değerlendirilecek olursa, iki aşamada tamamlanmıştır. İlk aşamada üzerinde çok sayıda delik bulunan kompozit diske artarak değişen uniform sıcaklık yükleri uygulanmış ve uniform sıcaklıklar etkisiyle kompozit diskte meydana gelen ısı gerilmelerin değerleri ve dağılımları elde edilmiştir. İkinci aşamada ise uniform sıcaklıklar altındaki kompozit disk modeline, çeşitli değerlerde açısal hızlar verilmiştir. Böylece, hem uniform sıcaklık yükü ve hem de dönme şartlarının birlikte uygulanması ile analizler gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, ikinci aşamada dönen ve uniform sıcaklık etkisindeki kompozit diskte meydana gelen ısı gerilmelerin değerleri ve dağılımları elde edilmiştir.

4.2. Farklı Üniform Sıcaklıklar Altındaki Kompozit Diskin Isıl Gerilme Analizi

Çalışmanın bu ilk aşamasında, uniform sıcaklık yükü olarak **35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 ve 105 °C** uniform sıcaklıklar, üç boyutlu ve üzerinde çok sayıda delik bulunan üç boyutlu kompozit disk modeli üzerine sırasıyla uygulanmıştır. Uygulanan her bir uniform sıcaklık yükü nedeniyle kompozit disk modeli üzerinde meydana gelen ısı gerilmeler ve ısıl şekil değiştirmeler tespit edilmiştir.

Yapılan çözümler neticesinde kompozit diskin iç ve dış yüzeylerinde ve ayrıca delikler çevresinde meydana gelen gerilmelerin, basma ve çekme şeklinde değişiklikler gösterdiği gözlenmiştir. Bu nedenle, bu Çizelge 4.1'de, analizlerden elde edilen değerler listelenirken, gerilme bileşenlerinin, maksimum basma ve maksimum çekme değerlerinin verilmesi uygun görülmüştür.

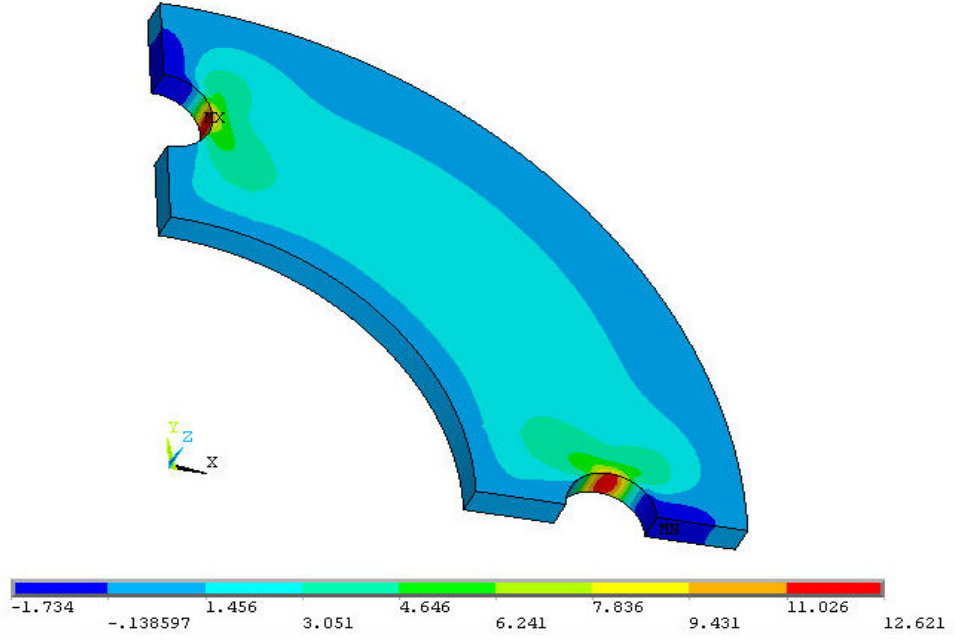
Çizelge 4.1'den çıkarılacak önemli sonuçlardan biri, gerilme değerlerinin uygulanan uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış gösterdiğidir. Bu nedenle, her üç doğrultu için en düşük ısı gerilmeler, 35 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanırken, en yüksek ısı gerilmeler 105 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

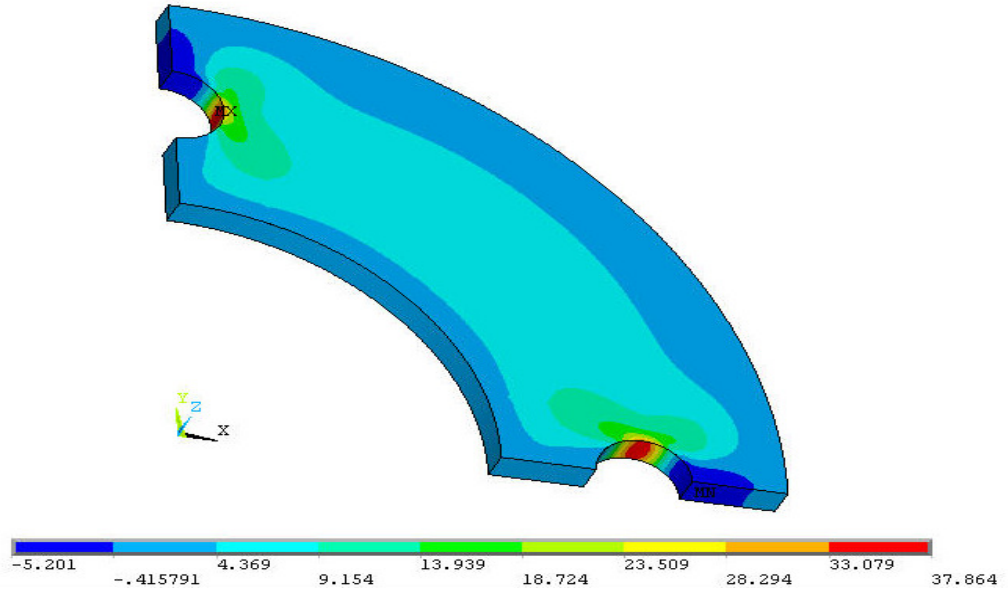
Sıcaklık (°C)		Normal Gerilmeler (MPa)		
		σ_r	σ_θ	σ_z
35	Max. Basma	-1.734	-14.845	-0.6529
	Max. Çekme	12.621	20.164	0.7508
45	Max. Basma	-2.229	-19.087	-0.8395
	Max. Çekme	16.228	25.925	0.9653
55	Max. Basma	-2.724	-23.328	-1.026
	Max. Çekme	19.834	31.686	1.18
65	Max. Basma	-3.22	-27.569	-1.213
	Max. Çekme	23.44	37.447	1.394
75	Max. Basma	-3.715	-31.811	-1.399
	Max. Çekme	27.046	43.208	1.609
85	Max. Basma	-4.21	-36.052	-1.586
	Max. Çekme	30.652	48.969	1.823
95	Max. Basma	-4.706	-40.294	-1.772
	Max. Çekme	34.258	54.73	2.038
105	Max. Basma	-5.201	-44.535	-1.959
	Max. Çekme	37.864	60.491	2.252

Çizelge 4.1'den görüldüğü üzere z-yönünde meydana gelen normal gerilmelerin değerleri, radyal ve teğetsel doğrultularda meydana gelen gerilmelerin değerlerinden daha düşük değerlerdedir. Ayrıca en yüksek değerlikli gerilmelerin, teğetsel doğrultularda elde edildiği açıkça görülmektedir. Her üç doğrultuda da çekme gerilmelerinin, mutlak değer olarak değerlendirildiğinde, basma gerilmelerinden daha büyük değerlerde olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte en yüksek çekme gerilmeleri teğetsel doğrultu için hesaplanmıştır. Tüm sonuçlar incelendiğinde, en yüksek değerlikli gerilmenin 105 °C uniform sıcaklık yükü için 60.491 MPa değerinde, çekme formunda ve teğetsel doğrultuda hesaplandığı görülmektedir.

Çizelge 4.1'de maksimum çekme ve basma gerilmeleri listelenmiş olmasına rağmen bu gerilmelerin üç boyutlu kompozit disk üzerinde olduğu bölge konusunda, bu çizelge herhangi bir fikir vermemektedir.



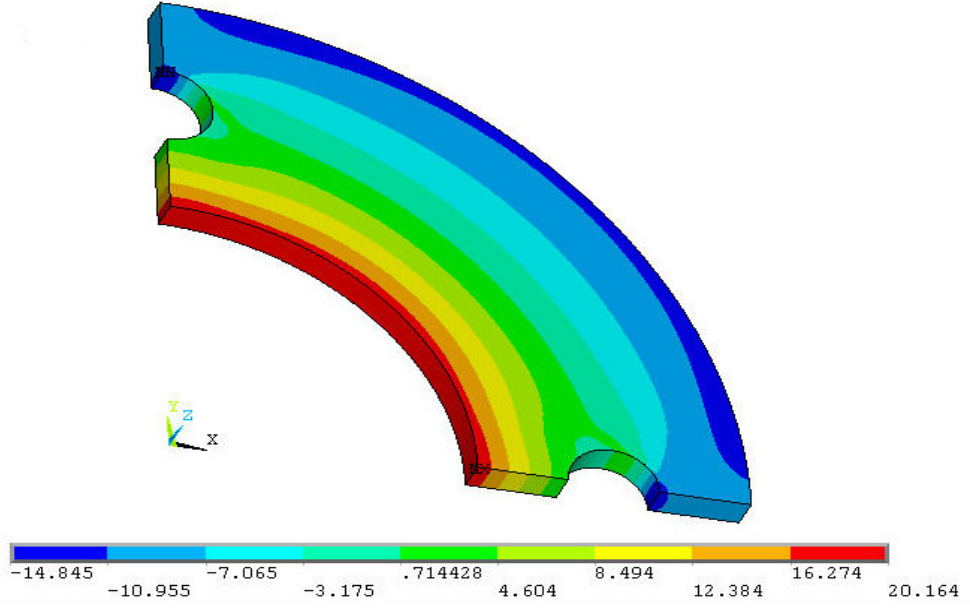
a) 35 °C



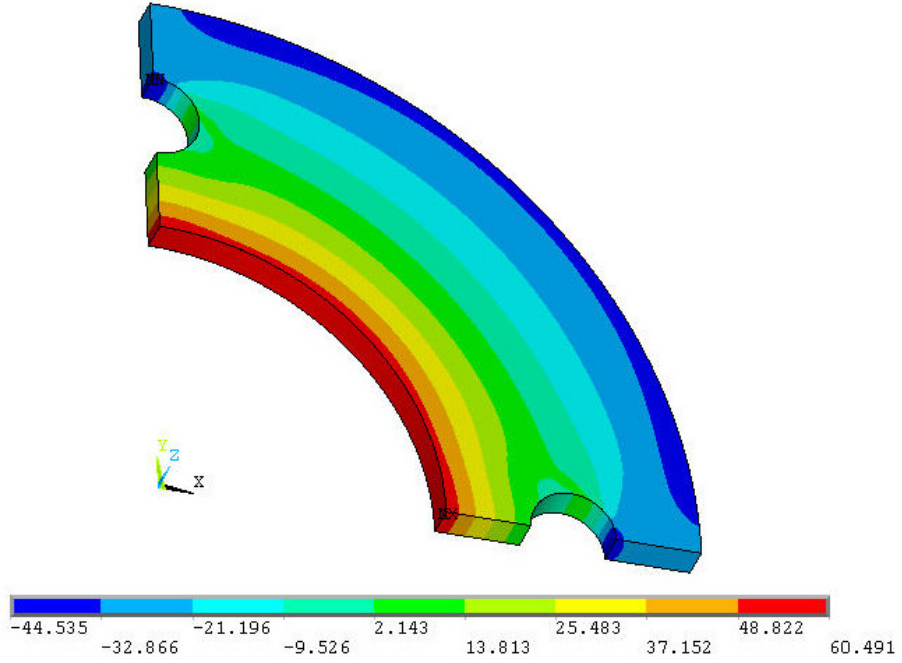
a) 105 °C

Şekil 4.1. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile oluşan radyal gerilmeler (σ_r)

Dolayısıyla, elde edilen sonuçların farklı şekillerde de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada, ANSYS sonlu elemanlar yazılımının kullanıcılarına sağladığı önemli avantajlarından biri olan ve analizler neticesinde elde edilen gerilmelerin model üzerinde eş gerilme eğrileri veya konturları ile gösterilebildiği sonuçların kullanılması gerekmektedir.



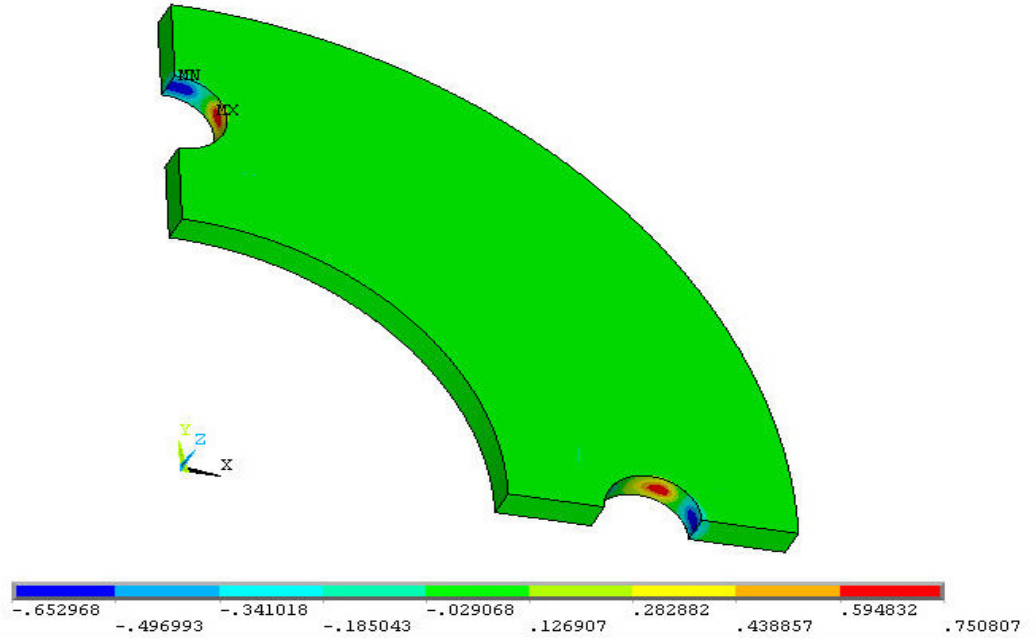
a) 35 °C



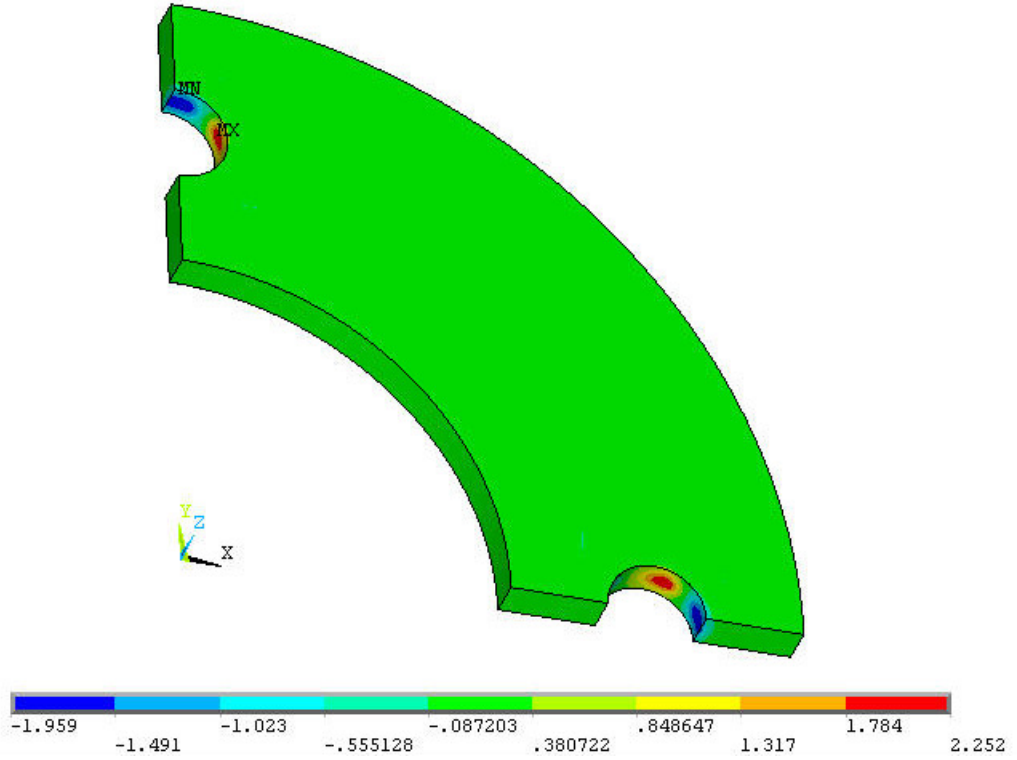
b) 105 °C

Şekil 4.2. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile oluşan teğetsel gerilmeler (σ_{θ})

ANSYS yazılımının sağladığı bu imkan vasıtasıyla, ısıl normal gerilmeler için radyal teğetsel ve z-yönleri olmak üzere (Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3), örnek olarak bazı sonuçlar verilmiştir. Bu şekillerde tüm analiz sonuçlarının verilmesi yerine, uygulanan en düşük uniform sıcaklık yükü olan 35 °C ve uygulanan en yüksek uniform sıcaklık yükü 105 °C için elde edilen dağılımlar verilmiştir.



a) 35 °C



b) 105 °C

Şekil 4.3. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile oluşan z-yönündeki gerilmeler (σ_z)

Tüm bu şekillerden, 35 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilen normal gerilmelerin değerlerinin 105 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilen değerlerden daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Radyal yönde ve z-yönünde oluşan gerilmelerin özellikle disk üzerinde oluşturulan delikler çevresinde yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 4.1 ve 4.2). Dolayısıyla en yüksek değerlikli basma ve çekme gerilmelerinin

delikler etrafında oluştuğu tespit edilmiştir. Fakat teğetsel doğrultuda, kompozit disk üzerindeki gerilme dağılımlarının oldukça farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır (şekil 4.3). Dolayısıyla, teğetsel doğrultu için en yüksek çekme gerilmeleri kompozit diskin iç yüzeyinde meydana gelmiştir. En yüksek basma formundaki gerilmelerin ise hem kompozit diskin dış yüzeyinde hem de deliklerin çevresinde oluştuğu görölmüştür. Fakat, delikler çevresinde yüksek değerli çekme gerilmeleri oluşmamıştır. Delikler çevresinde oluşan çekme gerilmelerinin değerleri, kompozit diskin iç yüzeyinde oluşan çekme gerilmelerinin değerlerinden daha düşük değerlerde meydana gelmiştir.

4.3. Sıcaklık Etkisindeki Dönen Diskteki Gerilmelerin Analizi

Çalışmanın ikinci aşamasında, uniform sıcaklık yükü altındaki üç boyutlu ve çok delikli kompozit diske farklı dönme hızları verilerek gerilme analizleri tekrar gerçekleştirilmiştir. Dönme hızları olarak sırasıyla; 20, 40, 60 rad/sn açısal hızları, üç boyutlu disk modeli üzerine sırasıyla ve ilk aşamadaki uniform sıcaklıklar (35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 ve 105 °C) ile birlikte uygulanmıştır. Böylece, dönen kompozit diske aynı anda uniform sıcaklık yükü etki ettirmiştir.

4.3.1. Sıcaklık Etkisinde 20 rad/sn Hızla Dönen Diskteki Gerilmelerin Analizi

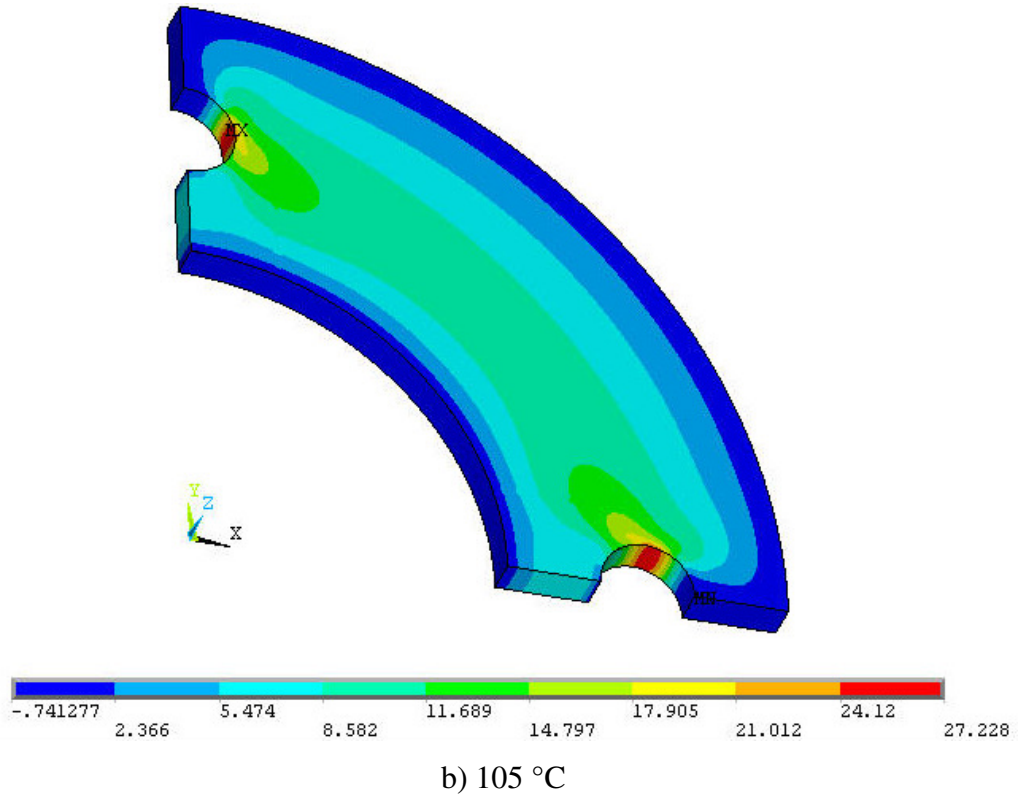
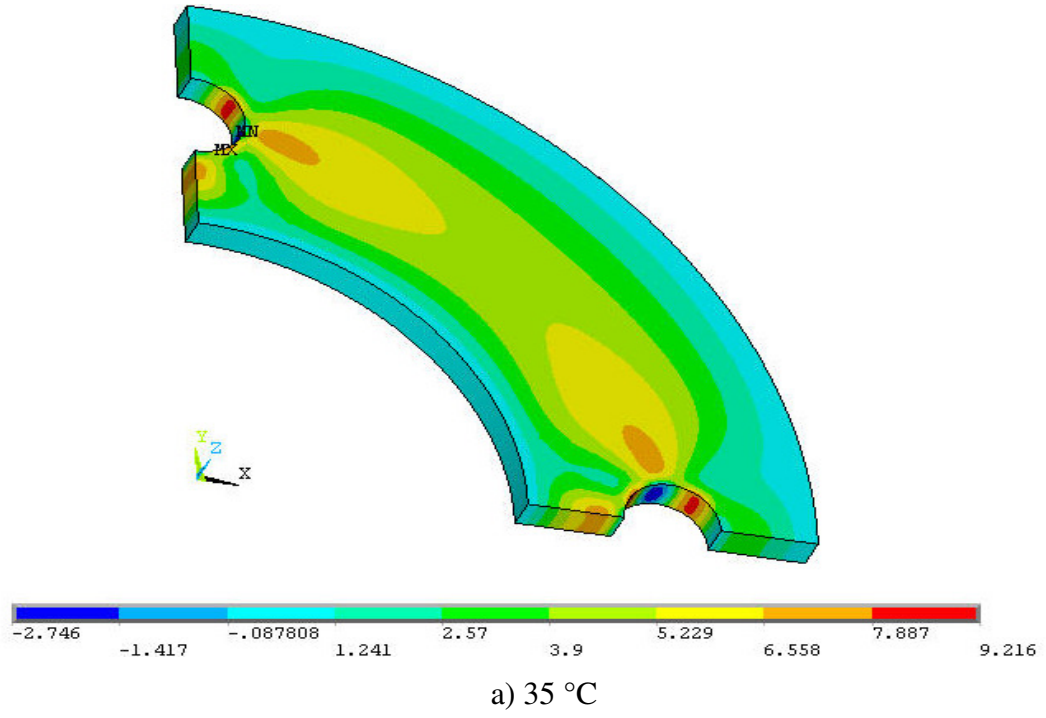
Çizelge 4.2'de, uniform sıcaklıklara bağlı olarak 20 rad/sn olarak uygulanan dönme hızında hesaplanan normal gerilmeler listelenmiştir. Kompozit diskin iç ve dış yüzeyinde oluşan gerilmelerin basma ve çekme olarak değişiklikler gözlenmiştir. Bu nedenle, çizelgede analizlerden alınan değerler listelenirken, gerilme ve şekil değiştirme bileşenlerinin, maksimum basma ve maksimum çekme değerlerinin verilmesi uygun görölmüştür.

Çizelge 4.2'de, uniform sıcaklıklara bağlı olarak 20 rad/sn olarak uygulanan dönme hızında hesaplanan normal gerilmeler listelenmiştir. Bu çizelgeden uniform sıcaklık artışına bağlı olarak gerilemelerde meydana gelen artış açıkça görölmektedir. Dolayısıyla, en yüksek değerlikli gerilmeler 105 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanırken, en düşük değerlikli gerilmeler 35 °C uniform sıcaklık yükü hesaplanmıştır.

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

Sıcaklık (°C)	Açısal Hız (rad/sn)		Normal Gerilmeler (Mpa)		
			σ_r	σ_θ	σ_z
35	20	Max. Basma	-2.746	-3.468	-1.07
		Max. Çekme	9.216	42.800	1.545
45	20	Max. Basma	0.0584	-6.801	-1.03
		Max. Çekme	9.732	47.348	1.532
55	20	Max. Basma	0.184	-10.176	-0.990
		Max. Çekme	11.803	52.698	1.519
65	20	Max. Basma	0.203	-13.564	-0.9499
		Max. Çekme	14.424	58.081	1.506
75	20	Max. Basma	0.106	-16.97	-0.924
		Max. Çekme	17.391	63.518	1.493
85	20	Max. Basma	-0.023	-20.418	-0.905
		Max. Çekme	20.508	69.031	1.487
95	20	Max. Basma	-0.344	-24.051	-0.886
		Max. Çekme	23.823	74.633	1.481
105	20	Max. Basma	-0.741	-27.808	-0.969
		Max. Çekme	27.228	80.327	1.511

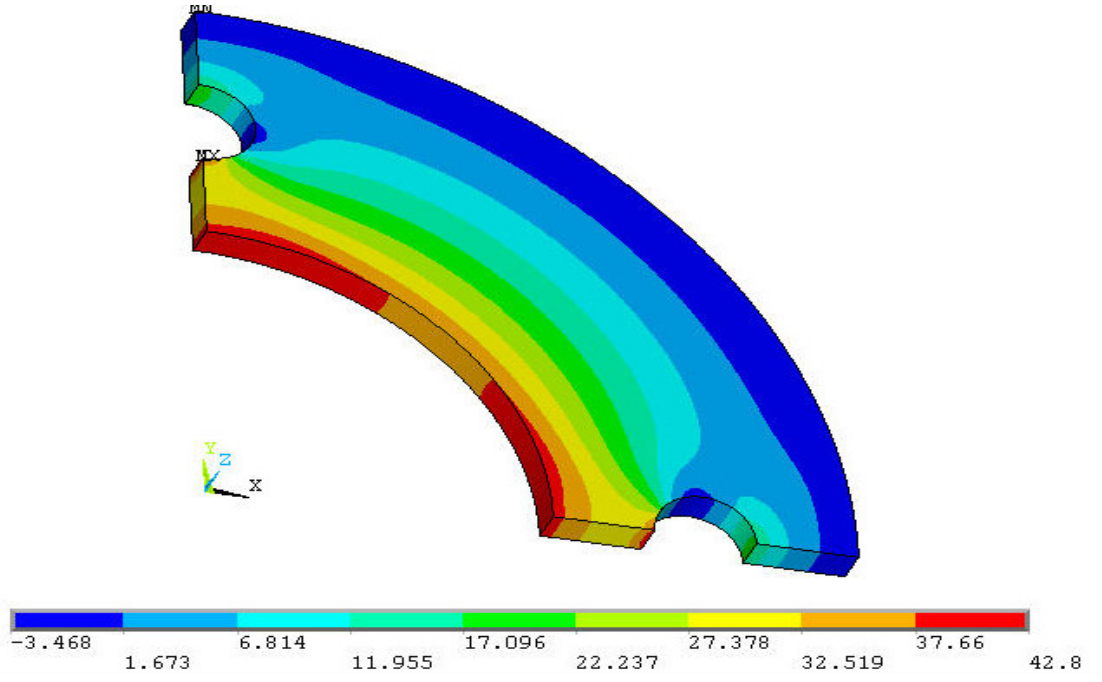
Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 20 rad/sn dönme hızında hesaplanan normal gerilmeler için radyal, teğetsel ve z-yönleri olmak üzere (Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6), örnek olarak bazı sonuçlar verilmiştir. Bu şekillerde tüm analiz sonuçlarının verilmesi yerine, uygulanan en düşük uniform sıcaklık yükü olan 35 °C ve uygulanan en yüksek uniform sıcaklık yükü 105 °C için elde edilen dağılımlar verilmiştir.



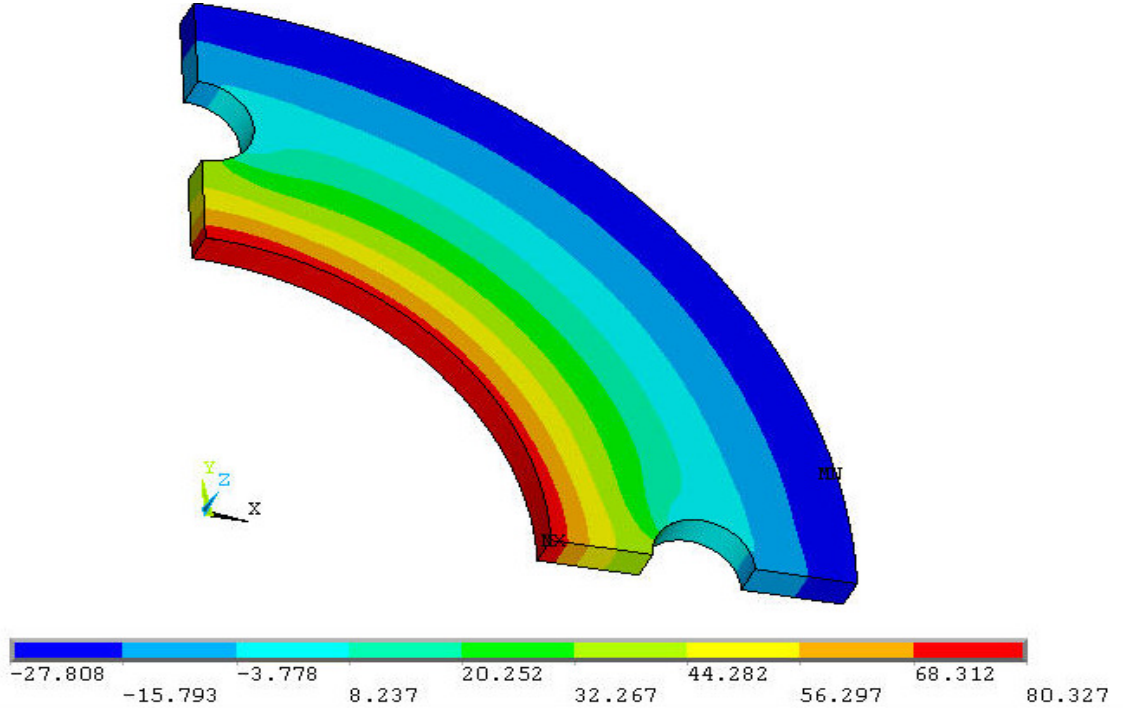
Şekil 4.4. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında oluşan radyal gerilmeler (σ_r)

Bu şekillerden (Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6), gerilmelerin özellikle delikler civarında yoğunlaştığı çekme gerilmelerin basma gerilmelerinden daha yüksek değerlerde

oluştugu görülmektedir. Z-yönünde hesaplanan gerilmeler diğer yönlerde hesaplanan gerilmelerden daha düşük değerlidir.

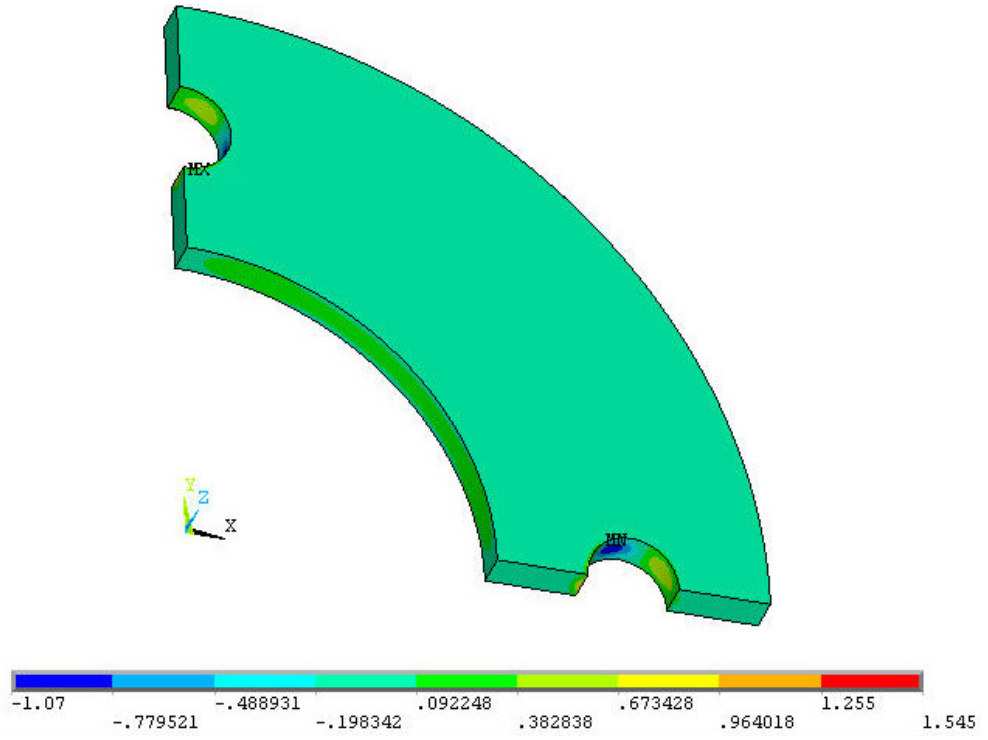


a) 35 °C

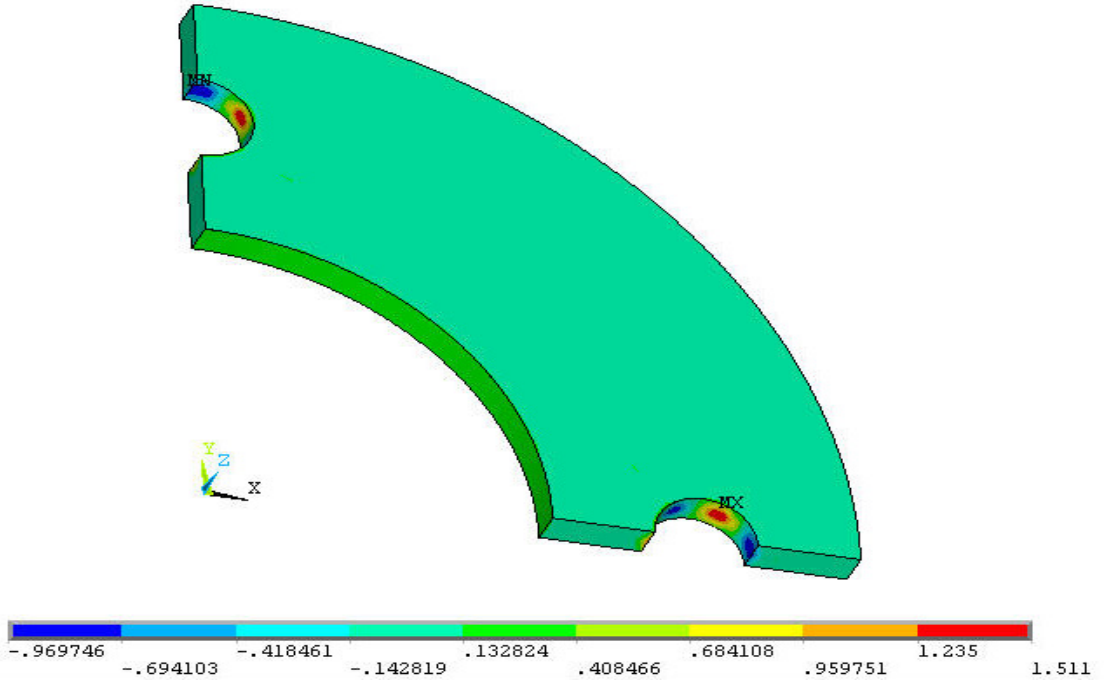


b) 105 °C

Şekil 4.5. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında oluşan teğetsel gerilmeler (σ_{θ})



a) 35 °C



b) 105 °C

Şekil 4.6. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 20 rad/sn dönme hızında oluşan z yönündeki gerilmeler (σ_z)

Teğetsel doğrultuda çekme gerilmelerin üç boyutlu kompozit diskin iç yüzeyinde meydana geldiği görülmüştür. Bir başka deyişle teğetsel yönde en büyük gerilmeler

özellikle diskin iç yüzeyinde elde edilmiştir. Fakat delikler çevresinde yüksek değerli çekme gerilmeleri oluştuğuna da dikkat edilmelidir.

4.3.2. Sıcaklık Etkisinde 40 rad/sn Hızla Dönen Diskteki Gerilmelerin Analizi

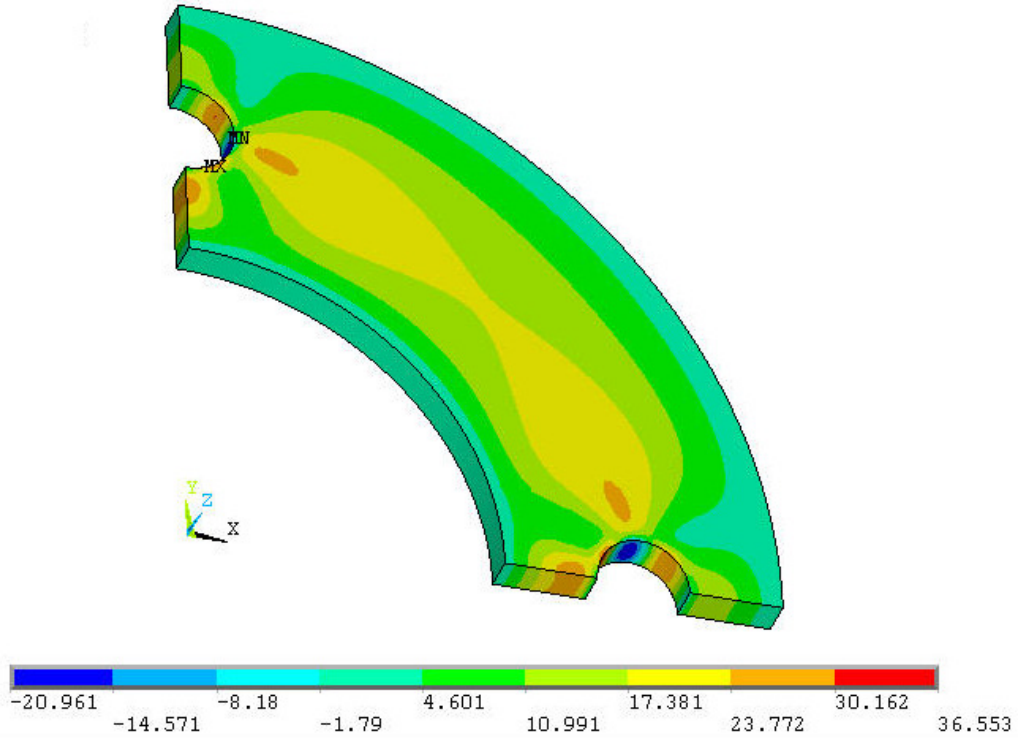
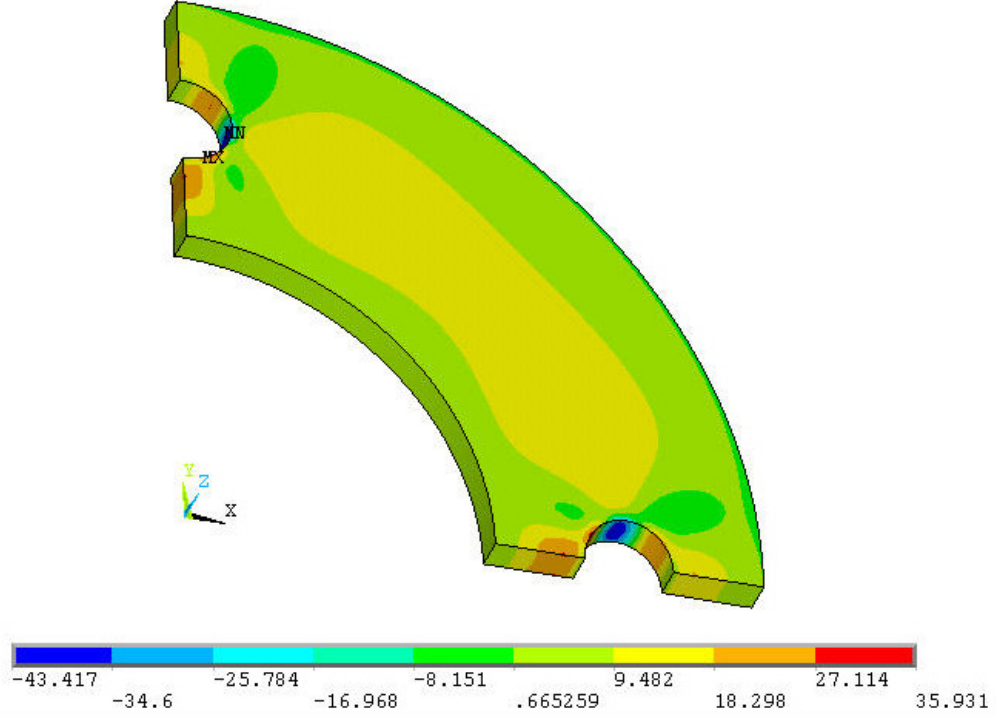
Çizelge 4.3'te uniform sıcaklıklara bağlı olarak 40 rad/sn olarak uygulanan dönme hızında hesaplanan normal gerilmeler listelenmiştir. Daha önceki çizelgelerde (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2) görülen ve uygulanan uniform sıcaklık artışına bağlı olarak gerilmelerde meydana gelen artışın tersine, bu çizelgede basma formundaki gerilmelerin değerlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Fakat çekme formundaki gerilmeler aynı önceki çizelgelerde olduğu gibi uygulanan uniform sıcaklık artışındaki artışa bağlı olarak artış göstermektedir.

Çizelge 4.3. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 40 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

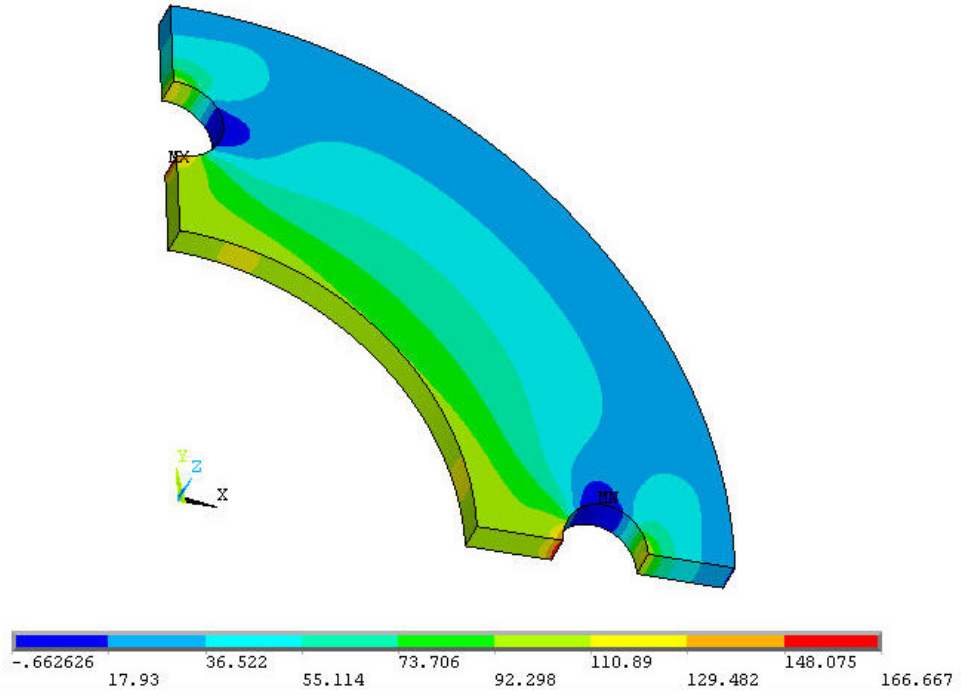
Sıcaklık (°C)	Açısal Hız (rad/sn)		Normal Gerilmeler (MPa)		
			σ_r	σ_θ	σ_z
35	40	Max. Basma	-43.417	-0.6626	-4.838
		Max. Çekme	35.931	166.667	6.392
45	40	Max. Basma	-40.209	-0.5380	-4.777
		Max. Çekme	36.020	167.099	6.37
55	40	Max. Basma	-37.001	-0.4135	-4.717
		Max. Çekme	36.109	167.531	6.348
65	40	Max. Basma	-33.793	-0.3103	-4.656
		Max. Çekme	36.197	167.963	6.327
75	40	Max. Basma	-30.585	-0.2142	-4.595
		Max. Çekme	36.286	168.394	6.305
85	40	Max. Basma	-27.377	-0.1181	-4.534
		Max. Çekme	36.375	168.826	0.283
95	40	Max. Basma	-24.169	-0.7574	-4.474
		Max. Çekme	36.464	169.258	6.261
105	40	Max. Basma	-20.961	-3.672	-4.421
		Max. Çekme	36.464	169.960	6.239

Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 40 rad/sn dönme hızında hesaplanan normal gerilmeler için radyal, teğetsel ve z-yönleri olmak üzere (Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9), örnek

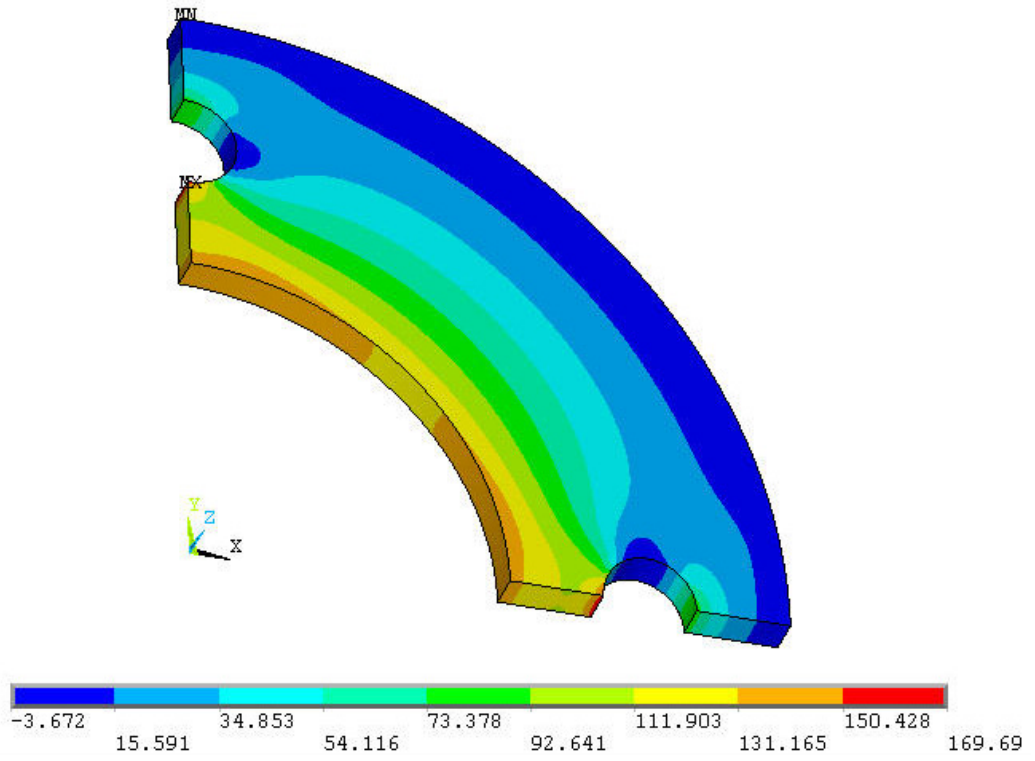
olarak bazı sonuçlar verilmiştir. Bu şekillerde tüm analiz sonuçlarının verilmesi yerine, uygulanan en düşük uniform sıcaklık yükü olan 35 °C ve uygulanan en yüksek uniform sıcaklık yükü 105 °C için elde edilen dağılımlar verilmiştir.



Şekil 4.7. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 40 rad/sn dönme hızında oluşan radyal gerilmeler (σ_r)

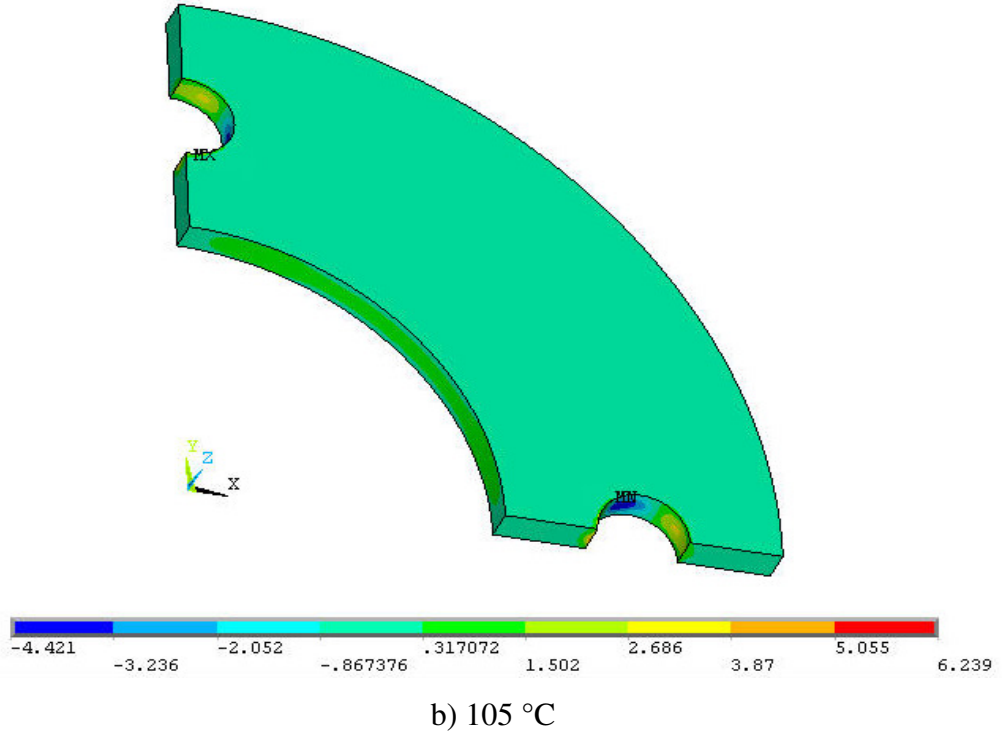
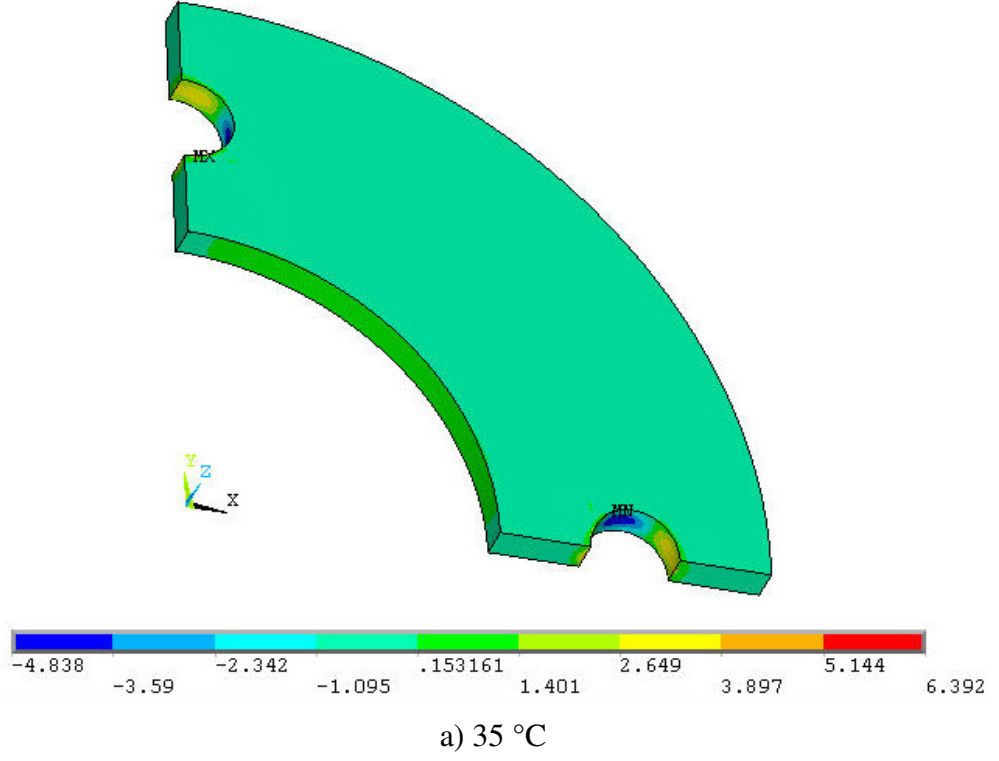


a) 35 °C



b) 105 °C

Şekil 4.8. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 40 rad/sn dönme hızında oluşan teğetsel gerilmeler (σ_{θ})



Şekil 4.9. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 40 rad/sn dönme hızında oluşan z yönündeki gerilmeler (σ_z)

Bu şekillerden (Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9), gerilmelerin özellikle delikler civarında yoğunlaştığı çekme gerilmelerin basma gerilmelerinden mutlak değer olarak daha

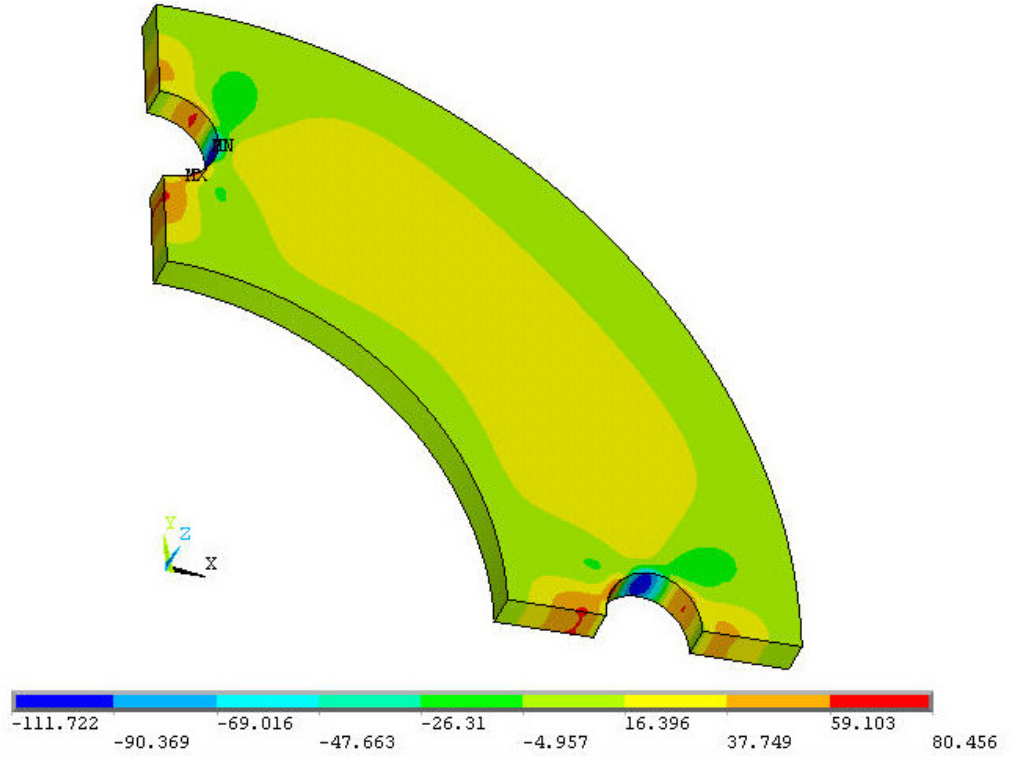
yüksek değerlerde oluştuğu görülmektedir. Z-yönünde hesaplanan gerilmeler diğer yönlerde hesaplanan gerilmelerden daha düşük değerlidir.

4.3.3. Sıcaklık Etkisinde 60 rad/sn Hızla Dönen Diskteki Gerilmelerin Analizi

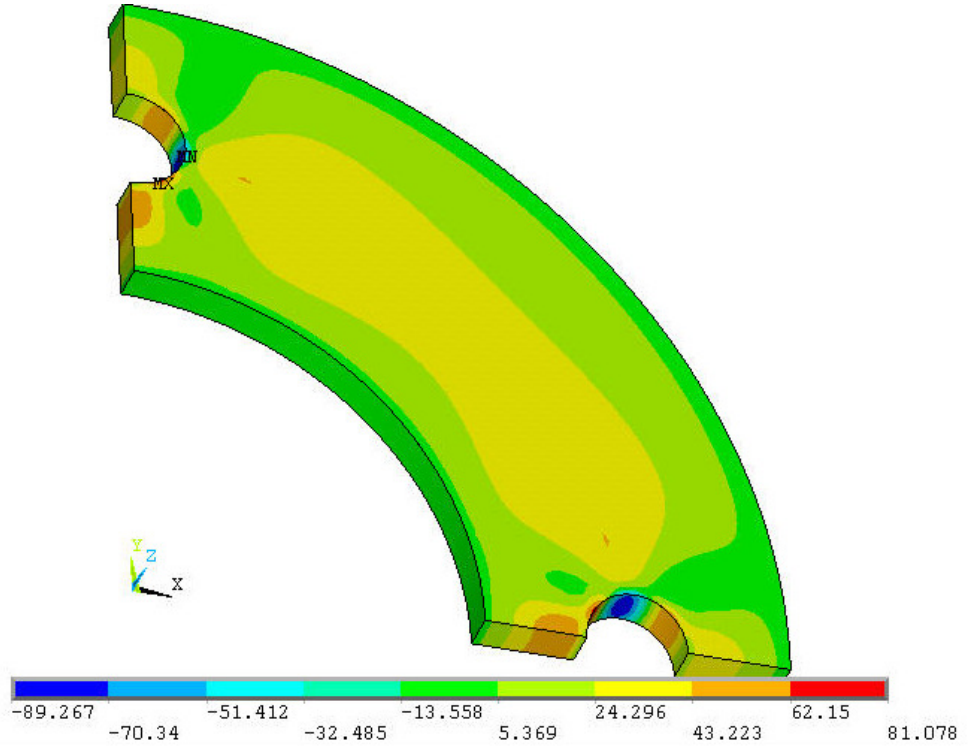
Çizelge 4.4'te uniform sıcaklıklara bağlı olarak 60 rad/sn olarak uygulanan dönme hızında hesaplanan normal gerilmeler listelenmiştir. Daha önceki çizelgelerde (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2) görülen ve uygulanan uniform sıcaklık artışına bağlı olarak basma formundaki gerilmelerde meydana gelen artışın tersine, bu çizelgede basma formundaki gerilmelerin değerlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Fakat çekme gerilmelerinde uygulana sıcaklık artışına bağlı olarak gerilmelerde meydana gelen artış devam etmektedir.

Çizelge 4.4. Uniform sıcaklıklara bağlı olarak 60 rad/sn dönme hızına bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

Sıcaklık (°C)	Açısal Hız (rad/sn)	Yüzey	Normal Gerilmeler (Mpa)		
			σ_r	σ_θ	σ_z
35	60	Max. Basma	-111.722	-2.190	-11.151
		Max. Çekme	80.456	373.110	14.478
45	60	Max. Basma	-108.514	-2.008	-11.090
		Max. Çekme	80.544	373.542	14.456
55	60	Max. Basma	-105.306	-1.826	-11.030
		Max. Çekme	80.633	373.974	14.434
65	60	Max. Basma	-102.098	-1.662	-10.969
		Max. Çekme	80.722	374.406	14.412
75	60	Max. Basma	-98.891	-1.538	-10.908
		Max. Çekme	80.811	374.838	14.390
85	60	Max. Basma	-95.683	-1.413	-10.787
		Max. Çekme	80.900	375.27	14.369
95	60	Max. Basma	-92.475	-1.289	-10.787
		Max. Çekme	80.989	375.702	14.374
105	60	Max. Basma	-89.267	-1.164	-10.726
		Max. Çekme	81.078	376.134	14.325

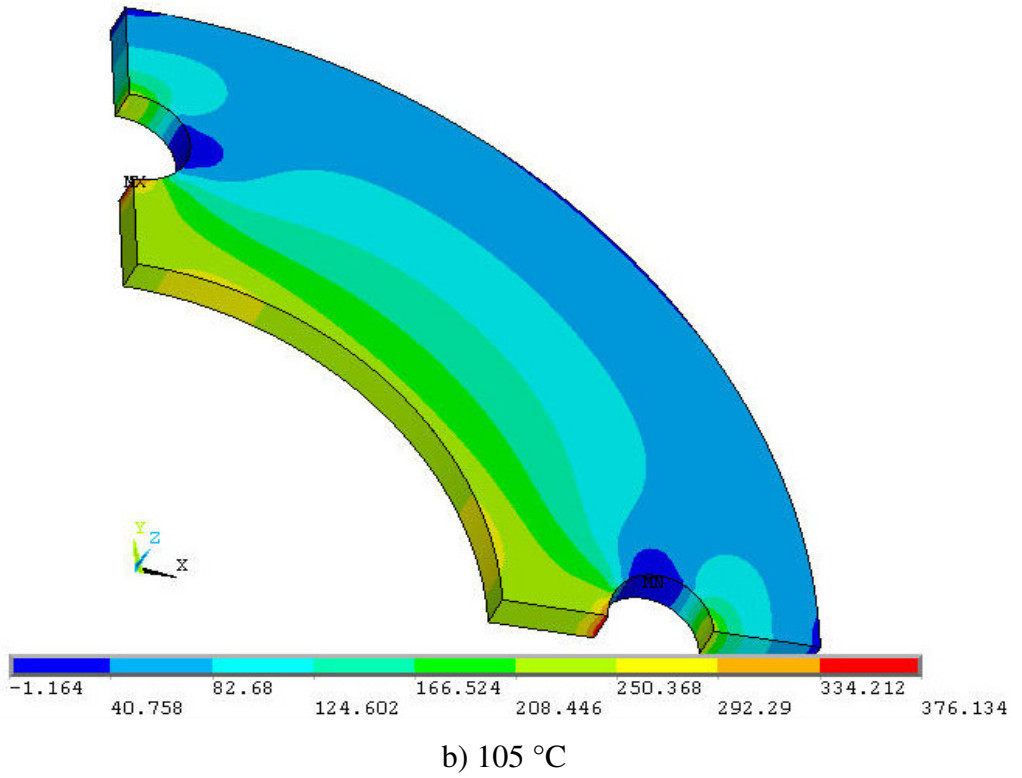
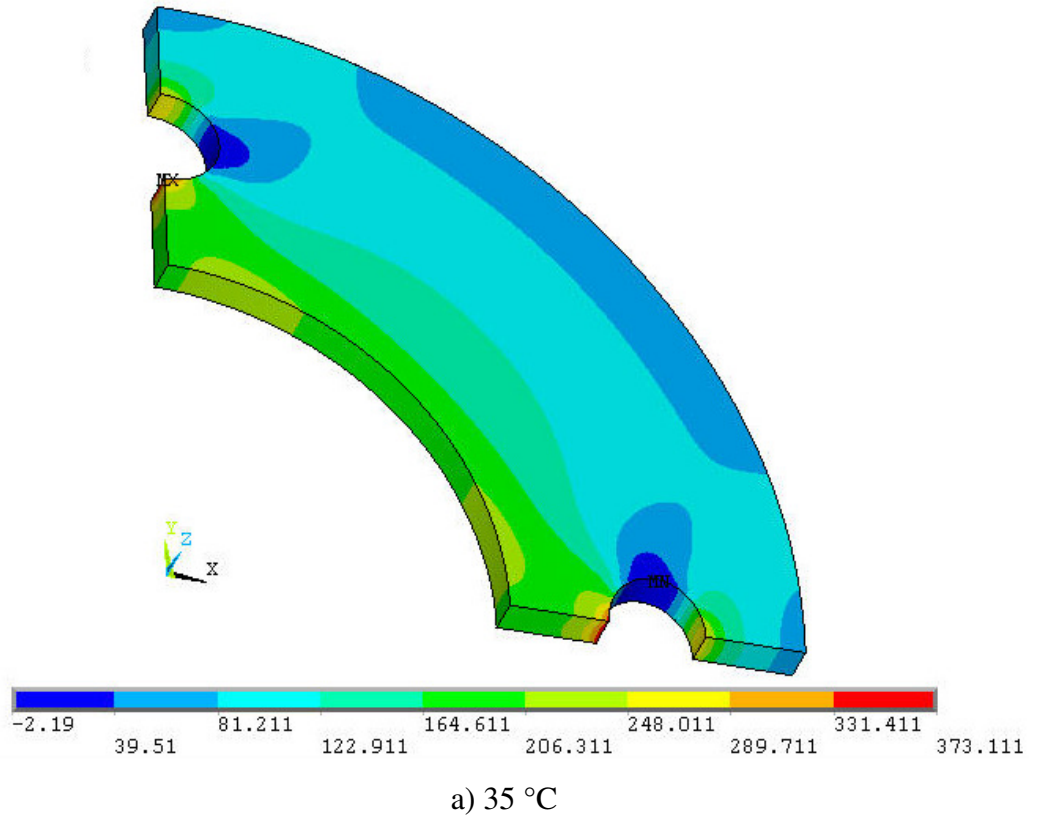


a) 35 °C

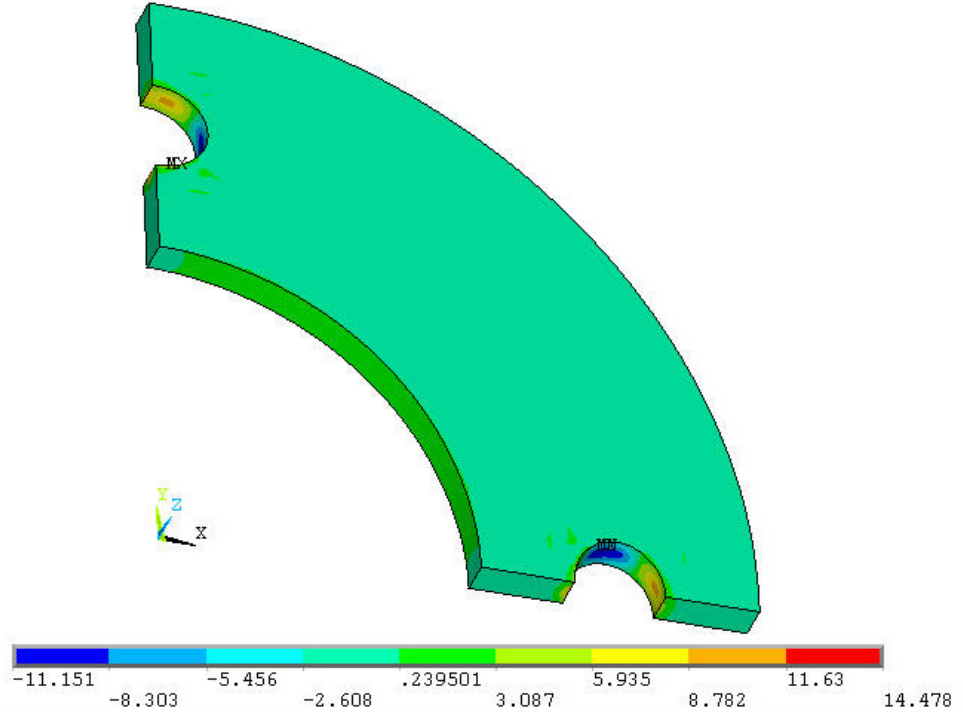


b) 105 °C

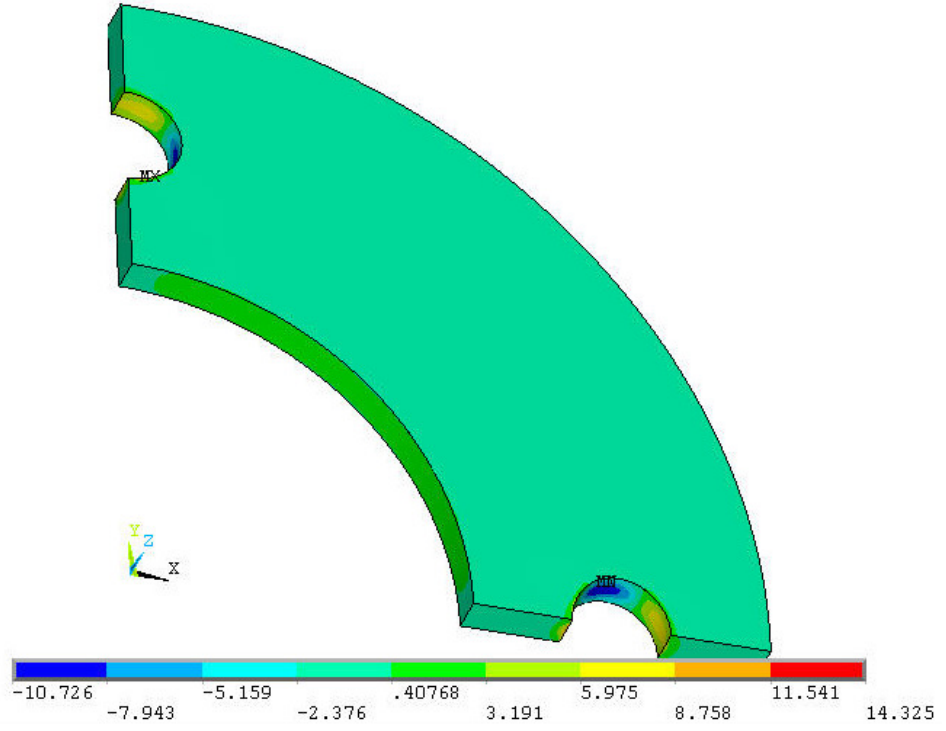
Şekil 4.10. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 60 rad/sn dönme hızında oluşan radyal gerilmeler (σ_r)



Şekil 4.11. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 60 rad/sn dönme hızında oluşan teğetsel gerilmeler (σ_{θ})



a) 35 °C



b) 105 °C

Şekil 4.12. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile 60 rad/sn dönme hızında oluşan z yönündeki gerilmeler (σ_z)

Uniform sıcaklıklara bağı olarak 60 rad/sn dönme hızında hesaplanan normal gerilmeler için radyal, teğetsel ve z-yönleri olmak üzere (Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12), örnek olarak bazı sonuçlar verilmiştir. Bu şekillerde, tüm analiz sonuçlarının verilmesi yerine, uygulanan en düşük uniform sıcaklık yükü olan 35 °C ve uygulanan en yüksek uniform sıcaklık yükü 105 °C için elde edilen dağılımlar verilmiştir.

Bu şekillerden (Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12), gerilmelerin özellikle delikler civarında yoğunlaştığı çekme gerilmelerin basma gerilmelerinden mutlak değer olarak daha yüksek değerlerde oluştuğu görülmektedir. Z-yönünde hesaplanan gerilmeler diğer yönlerde hesaplanan gerilmelerden daha düşük değerlidir. Uniform sıcaklık artışına bağı olarak çekme formundaki gerilmelerde meydana gelen artış ve basma formundaki gerilmelerde meydana gelen azalma bu şekillerdede görülmektedir.

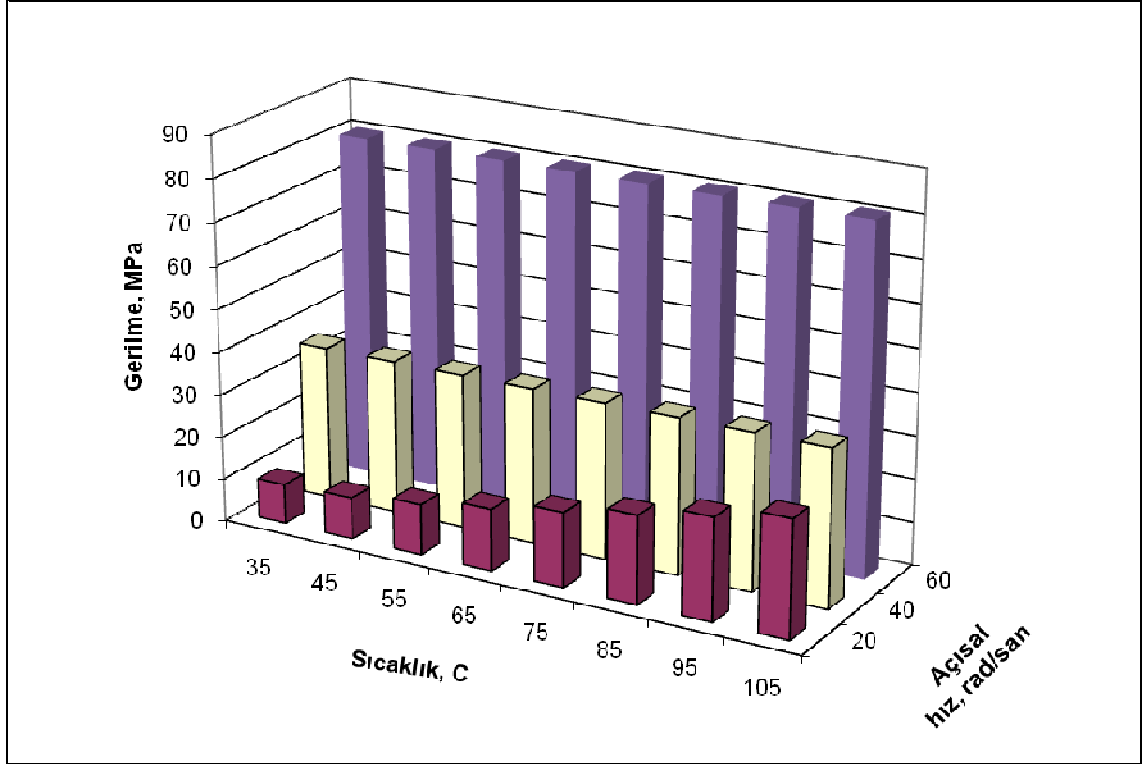
4.3.4. Sıcaklık Etkisinde ve Dönen Diskteki Gerilme Bulgularının Değerlendirilmesi

Üç boyutlu çok delikli kompozit diske uygulanan, 20 rad/sn, 40 rad/sn ve 60 rad/sn dönme hızları için ve ayrıca 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C, 85 °C, 95 °C ve 105 °C uniform sıcaklık yükleri için elde edilen maksimum normal çekme gerilme dağılımları Şekil 4.13'te ve maksimum normal basma gerilme dağılımları ise Şekil 4.14'te üç boyutlu grafikler ile verilmiştir.

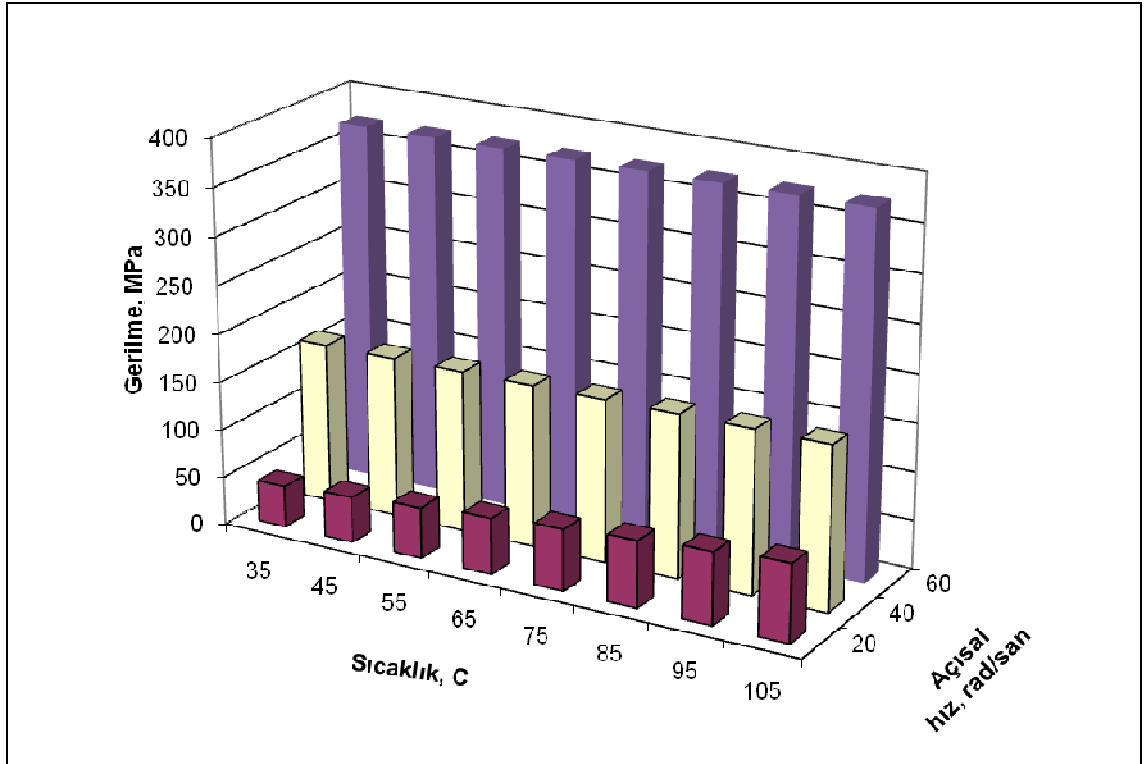
Şekil 4.13 incelendiğinde, sıcaklık artışına ve dönme hızı artışına bağı olarak çekme gerilmelerinin değerlerinin arttığı açıkça görülmektedir. Dolayısıyla en yüksek gerilmeler uygulanan 105 °C uniform sıcaklık ve 60 rad/sn dönme hızı için hesaplanmıştır. Bununla birlikte en düşük gerilmeler 35 °C uniform sıcaklık ve 20 rad/sn dönme hızı için hesaplanmıştır.

Şekil 4.13 incelendiğinde, radyal yönde (Şekil 4.13-a) açısal hızdaki artışa bağı olarak ısıl basma formundaki gerilmelerin artış gösterdiği fakat sıcaklık artışı dikkate alındığında sıcaklık artışına bağı olarak gerilmelerde bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Teğetsel yönde (Şekil 4.13-b) ise ısıl gerilemeler sıcaklık artışına bağı olarak artış göstermektedir. Fakat açısal hız arttırıldığında düşüş göstermektedir. Ayrıca z-yönünde (Şekil 4.13-c) ise, radyal yöndekine benzer şekilde, açısal hızdaki artışa bağı olarak ısıl basma formundaki gerilmelerin artış gösterdiği, fakat sıcaklık artışı

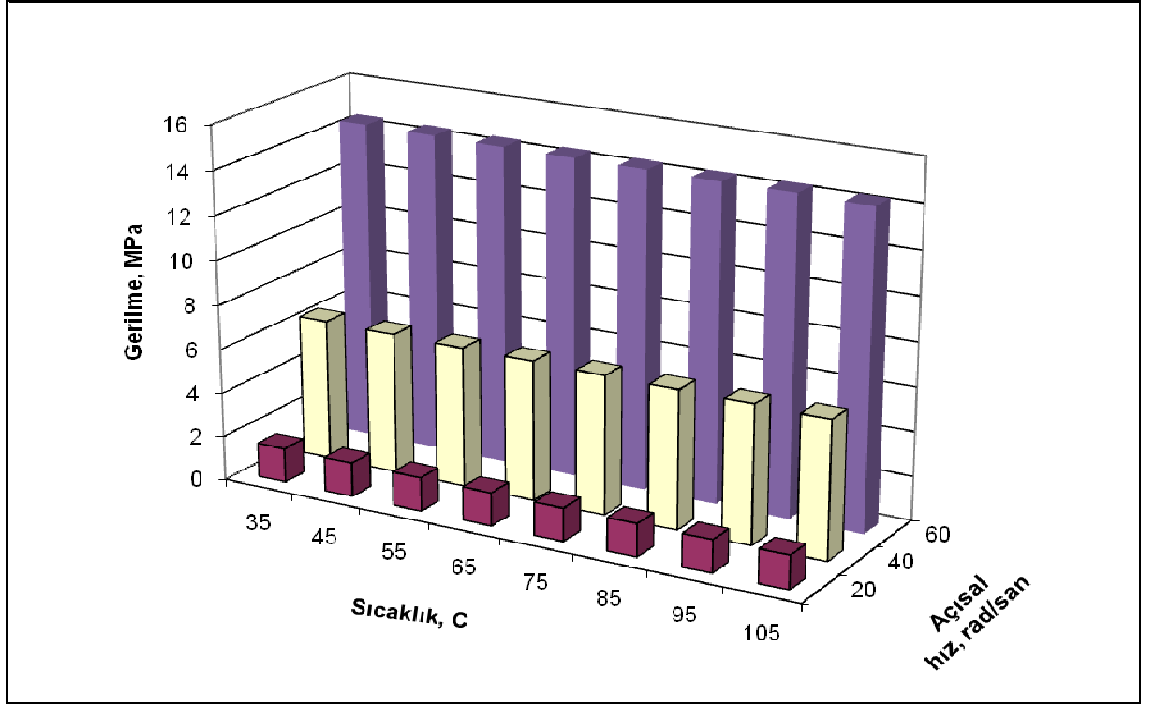
dikkate alındığında sıcaklık artışına bağlı olarak gerilmelerde bir düşüş meydana geldiği görülmektedir.



a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)

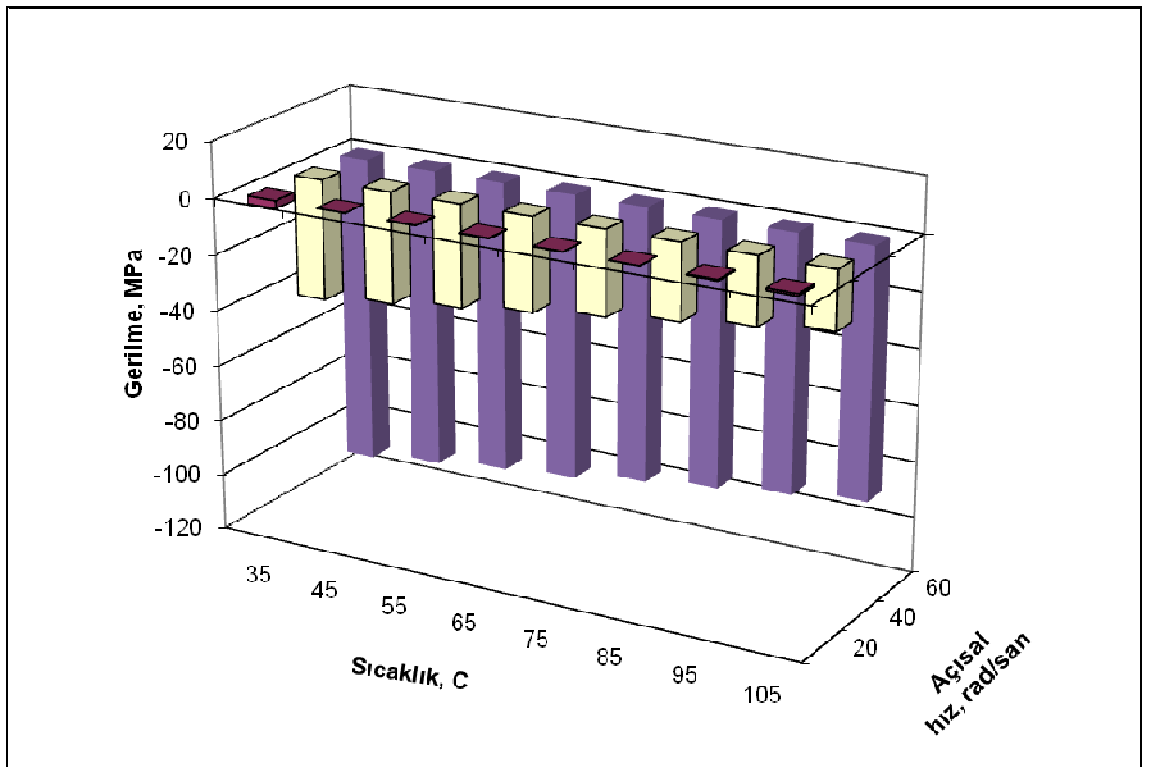


b) Teğetsel yöndeki normal gerilme (σ_θ)

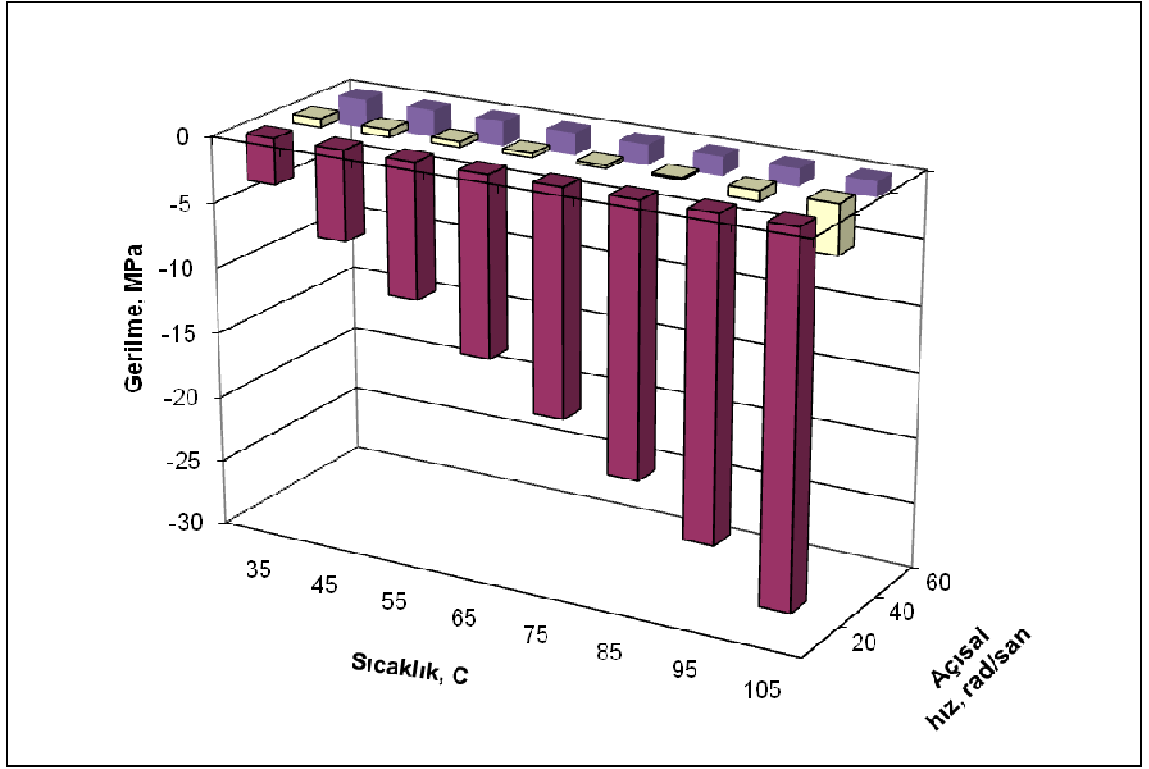


c) z-yönündeki normal gerilme (σ_z)

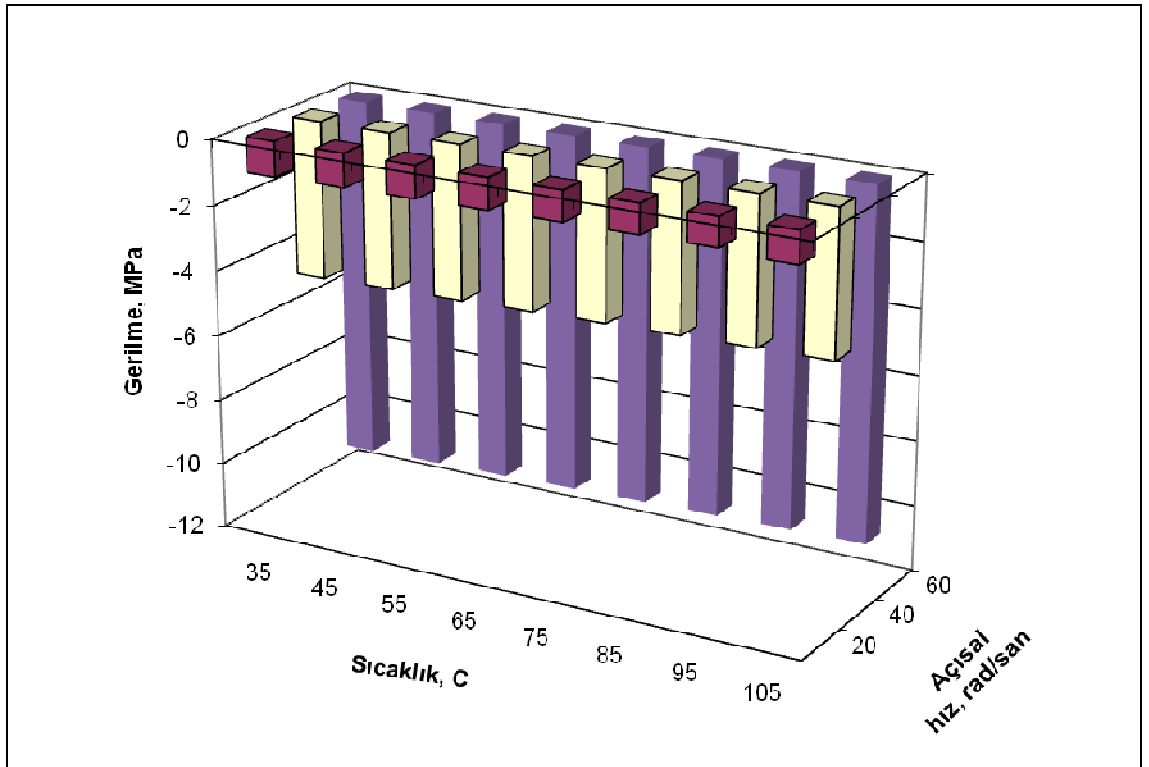
Şekil 4.13. 20, 40 ve 60 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak kompozit disk üzerinde hesaplanan maksimum normal çekme gerilmeleri



a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)



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



c) z-yönündeki normal gerilme (σ_z)

Şekil 4.14. 20, 40 ve 60 rad/sn dönme hızında uniform sıcaklıklara bağlı olarak kompozit disk üzerinde hesaplanan maksimum normal basma gerilmeleri

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 birlikte değerlendirildiğinde hem çekme hem de basma formundaki maksimum kayma gerilmelerinin en düşük değerlerinin z-yönünde hesaplandığı görülmektedir. Bununla birlikte, en yüksek değerli basma ve çekme gerilmelerinin teğetsel doğrultuda oluştuğu görülmektedir.

Bu şekillerden açıkça görüldüğü gibi, üniform sıcaklık artışı kompozit disk üzerinde meydana gelen gerilmelerin artışına neden olmaktadır. Fakat açısal hızdaki artışın gerilmeler üzerinde neden olduğu artış oranı çok daha büyük miktarlarda olmuştur. Dolayısıyla 60 rad/sn dönme hızında çok büyük değerlerde gerilmeler meydana geldiği görülmektedir.

BÖLÜM V

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, üzerinde dört delik bulunan termoplastik matrise sahip çelik fiberlerle takviye edilmiş ve ayrıca ortasında dairesel delik bulunan bir kompozit disk problemi incelenmiştir. Modelleme ve analizlerde kompozit disk önceki benzer çalışmalardan çok farklı olarak, üç boyutlu olarak ele alınmıştır. Çözüm için üç boyutlu kompozit diske çeşitli yapısal sınır şartları uygulanmıştır. Daha sonra, çeşitli uniform sıcaklıklar ve açısız dönmeler uygulayarak disk üzerinde oluşan gerilmelerin dağılımları ve değerleri elde edilmiştir. Çözümde, sonlu elemanlar metodu kullanılmış ve analizler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma, iki aşamada tamamlanmıştır.

İlk aşamada, uniform sıcaklık yükü olarak 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 ve 105 °C uniform sıcaklıklar, üzerinde çok sayıda delik bulunan üç boyutlu kompozit disk modeli üzerine sırasıyla uygulanmıştır. Uygulanan her bir uniform sıcaklık yükü nedeniyle kompozit disk üzerinde meydana gelen ısıl gerilmeler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, disk üzerinde oluşan gerilmelerin değerleri uygulanan uniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu nedenle, radyal, teğetsel ve z- yönleri olmak üzere her üç doğrultu için en düşük ısıl gerilmeler, 35 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanırken, en yüksek ısıl gerilmeler 105 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır. Bir diğer önemli sonuç, z-yönünde meydana gelen normal gerilmelerin değerleri, radyal ve teğetsel doğrultularda meydana gelen gerilmelerin değerlerinden daha düşük değerlerdedir. Bunun yanı sıra en yüksek değerlikli gerilmelerin, teğetsel doğrultularda elde edildiği açıkça görülmektedir. Her üç doğrultuda da çekme gerilmelerinin, mutlak değer olarak değerlendirildiğinde, basma gerilmelerinden daha büyük değerlerde olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte en yüksek çekme gerilmeleri teğetsel doğrultu için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan birisi de gerilmelerin, delikler çevresinde yoğunlaştığıdır. Bir başka ifadeyle, üç boyutlu kompozit disk üzerindeki delikler etrafında gerilme yığılmaları meydana gelmektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, uniform sıcaklık yükü altındaki üç boyutlu ve çok delikli kompozit diske farklı dönme hızları verilerek gerilme analizleri tekrar gerçekleştirilmiştir. Bir başka ifadeyle, hem bir uniform sıcaklık yükü hem de bir açısız dönme kompozit diske aynı anda uygulamak suretiyle, dönen kompozit diskte gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Uniform sıcaklık yükü olarak ilk aşamada seçilen uniform

sıcaklık yükleri (35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 ve 105 °C) uygulanmıştır. Bununla birlikte açısal dönme hızları olarak 20, 40 ve 60 rda/sn'lik dönme hızları kompozit diske uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her üç doğrultuda da çekme gerilmelerinin, mutlak değer olarak, basma gerilmelerinden daha büyük değerlerde meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bununla birlikte en yüksek çekme gerilmeleri teğetsel doğrultu için hesaplanmıştır. Disk üzerindeki gerilmelerin delikler çevresinde yoğunlaştığı görülmüştür. Dolayısıyla, üç boyutlu kompozit disk üzerindeki delikler etrafında gerilme yığılmaları oluşmuştur.

20 rad/sn dönme hızında farklı üniform sıcaklıklar için gerilme analizleri yapıldığında; disk üzerinde oluşan gerilmelerin değerleri uygulanan üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu nedenle, radyal, teğetsel ve z- yönleri olmak üzere her üç doğrultu için en düşük ısı gerilmeler, 35 °C üniform sıcaklık yükü için hesaplanırken, en yüksek ısı gerilmeler 105 °C üniform sıcaklık yükü için hesaplanmıştır.

40 ve 60 rad/sn dönme hızları uygulandığında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 20 rad/sn dönme hızında elde edilen sonuçlar önemli bir farklılık olduğu görülmektedir. Hem basma hem de çekme formundaki gerilmeler uygulanan üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Fakat 40 ve 60 rad/sn dönme hızları uygulandığında elde edilen çekme formundaki gerilmeler, üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermesine rağmen, basma formundaki gerilmeler mutlak değer olarak bir düşüş göstermektedir.

Birinci ve ikinci aşama birlikte değerlendirildiğinde, sadece ısı yük altında hesaplanan gerilmelerin değerlerinin, hem ısı yük ve hemde dönme uygulan durumda oluşan gerilmelere göre daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akoral, E., 2003. Toz metalurjisi yöntemi ile Al-SiC kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- ANSYS, Release 10.0 Documentation, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.
- ANSYS. The general-purpose finite element software. Documentation.
- Bahçeci, E., 2006. Al matrisli α -Si₃N₄ takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chawla, K.K., 1995. Ceramic Matrix Composites, Chapman & Hall, London.
- 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, 8, 831-838.
- Çallıoğlu H., 2007. Thermal stress analysis of curvilinearly orthotropic rotating discs, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 20, 357-369.
- Delibalta, A., 2005, Kompozit levhada pim analizi, Araştırma projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir
- Deniz, M.E., 2005. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve ısıl işleme presleme tekniğini kullanarak kompozit malzeme üretecek bir düzeneğin tasarımı ve imalatı, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Durman, M., 1991. Kompozit malzemeler ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sakarya Mühendislik Fakültesi, Metalurji Bölümü, Sakarya.
- Fomey, R. C., 1986. Kompozit malzemeler çağı, Teknik ve Uygulama Dergisi, 11, 3-4.
- Kaynak, İ., Şen F. 2005. Thermal stress analysis of composite disc under uniform temperature effect using FEM, 15.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Trabzon, Bildiriler Kitabı Cilt 2, 912-916.
- Jones, R. M., 1999. Mechanics of Composite Materials, Taylor & Francis Inc., PA.
- Kaw, A. K. , 2006 Mechanics of Composite Materials, Taylor&Francis
- Kurnaz, S. C., 1993. Alümina (Saffil) takviyeli ZA 12 esaslı kompozit malzemelerin infiltrasyon yöntemi ile üretim ve özelliklerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Margolis, J.M., 1986. Advanced thermoset composites industrial and commercial applications. Van Nostrand Company, 282s. New York.
- Mazumdar, S.K., 2002. Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering. 4-5s New York.

- Minorutaya, R., 1989. Thermomechanical Behaviour of MMCs. Pergamon Press. Michigan. USA.
- Sayman O., 2001. An elastic-plastic thermal stress analysis of aluminum metal-matrix composite beams, J. of Composite Structures, 53, 419-425.
- Staab, G. H., 1999. Laminar Composites, US: Butterworth-Heinemann.
- Swhartz, M.M., 1992. Composite Materials Handbook, McGraw-Hill, New York.
- Şahin, Y., 2006. Kompozit malzemelere giriş, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş, Ankara.
- 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. Palancıoğlu, H. 2006. Çapraz takviye edilmiş kare delikli termoplastik kompozit levhalarda ısı gerilme analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 173-181.
- Şen, F., 2007. Farklı açılarda takviye edilmiş kare delikli alüminyum metal-matriksli kompozit plaklarda ısı gerilmelerin hesaplanması, Teknoloji Dergisi, 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, 51-67.
- Tanır O., 1997, Termoplastik Kompozitlerin İmali ve Mekanik Özelliklerinin Bulunması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi, İzmir
- URL-1, <http://www.scribd.com/doc/65056285/MMK-son>. 12 Kasım 2011.
- URL-2, <http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/Dersler>. 12 Kasım 2011.
- 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-Makine, Nisan 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özcan BORLAT

Doğum Yılı : 1984

Eğitim Durumu:

Lisans : 2002–2009 Niğde Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü

Haberleşme Adresi:

Adres : Akasya Alçı Maden Üretim A.Ş. Mehmet Altınsoy Bulvarı

No:7 68100 Aksaray

Tlf : 0 530 3129687

e-posta : ozcanborlat@hotmail.com