

ÜÇ BOYUTLU TERMOPLASTİK KOMPOZİT BİR DİSKTEKİ ISIL ARTIK GERİLMELERİN ANALİZİ

Faruk ŞEN^{*a}, Mesut SARKMAZ^b

^aMuğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fak. Enerji Sistemleri Mühendisliği Böl. Muğla

^bAksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Aksaray

Özet

Bu çalışmanın amacı, üç boyutlu termoplastik kompozit bir disk içindeki ısıl artık gerilmelerin elastik-plastik çözüm kullanılarak 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 ısıl elastik gerilmeler elde edilmiştir. İkinci olarak, elastik-plastik çözüm yöntemi kullanılarak ısıl plastik gerilmeler hesaplanmıştır. Ayrıca, süperpozisyon yöntemi kullanılarak ısıl artık gerilmeler bulunmuştur. Radyal, teğetsel ve z-yönleri için tüm ısıl gerilmeler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygulanan üniform sıcaklık yüklerinden dolayı kompozit disk içerisinde ısıl gerilmeler meydana gelmiştir. Termoplastik diske etki eden üniform sıcaklığın değerindeki artış, hem ısıl gerilmelerin hem de artık gerilmelerin dağılımını ve değerlerini etkilemektedir.

Anahtar kelimeler: Artık gerilme, Elastik-plastik çözüm, Isıl gerilme, FEM, ANSYS.

Analysis of Thermal Residual Stresses in Three Dimensional Thermoplastic Composite Disc

Abstract

The aim of this study was to obtain of thermal residual stresses in a three dimensional thermoplastic composite disc using elastic-plastic solution. It was reinforced by steel fibers, curvilinearly. 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, thermal residual stresses were calculated using superposition method. All thermal stresses were obtained for radial, tangential and z-directions. According to obtained results, thermal stresses were occurred in composite disc by the applied uniform temperature loadings. The spreading and magnitudes of both thermal stresses and residual stresses in thermoplastic composite disc were strictly affected increasing of uniform temperature.

Keywords: Residual stress, Elastic-plastic solution, Thermal stress, FEM, ANSYS.

* Faruk ŞEN, faruksen@mu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yapı elemanları, metaller, polimerler, kompozitler ve seramikler olmak üzere dört gruptadır [1]. Modern teknolojilerin birçoğu, geleneksel metal alaşımları, seramikler ve polimer gibi malzemelerin değişik kombinasyonları ile elde edilebilen özellikler gerektirmektedir. Özellikle bu tür malzemelere, havacılık, su altı ve taşıma araçları için ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Fiber takviyeli kompozit malzemeler, yüksek elastiklik modülüne ve dayanıma sahip fiberlerin bir matris ile birleştirilmesinden elde edilirler. Cam ve karbon fiberler ticari olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer fiberler, boron, silikon karpit ve alüminyum oksit ise sınırlı olarak kullanılmaktadır [3].

Literatür incelendiğinde kompozitlerin üretimi, geliştirilmesi, hasar analizi, gerilme analizi ve ısı analizi gibi konularda çok sayıda çalışma yapıldığını görmek mümkündür. Kompozit disklerin ısı gerilme analizi ile ilgili daha önceden çeşitli çalışmalar yapılmıştır. You ve arkadaşları [4], elastik-plastik dönen disklerde değişen kalınlıklarda isteğe bağlı kesitlerde ve isteğe bağlı değişken yoğunluklarda yapılan doğrusal olmayan pekleşmiş malzemeler için sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir. Jahed ve Shirazi [5], yüksek sıcaklıklarda sıkı geçme dönel diskler için deformasyon ve yer değiştirmeler ile ilgili artık ve yükleme gerilmelerini raporlamışlardır. Ayrıca, bir dizi malzeme davranışı yüksüz şekilde dikkate alınmıştır. Çeşitli yükleme çökmeleri elde edilmiş ve tasarım sınırları için değerlendirme yapılmıştır. Sayman [6], ortotropik, delikli, alüminyum metal matrisli kompozit bir diskte analitik olarak termal gerilme analizi yapmıştır. Gerilme analizi geliştirilen FORTRAN yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

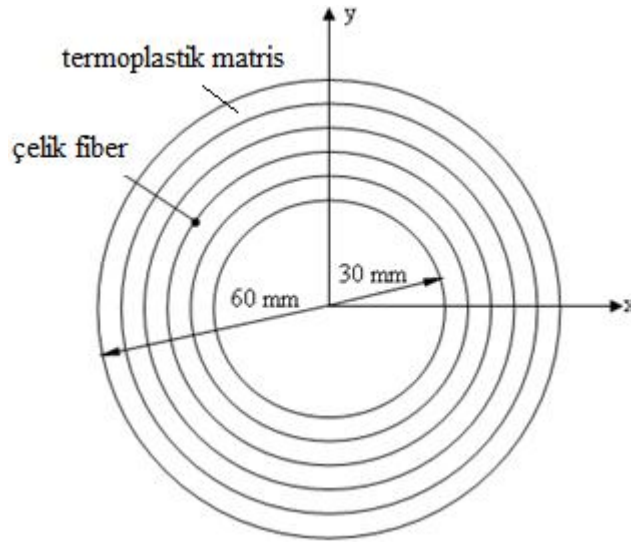
Sayman ve arkadaşları [7], sabit sıcaklık dağılımı altında çelik elyaflarla dairesel takviyeli termoplastik kompozit diskteki elastik-plastik termal gerilme analizini yapmışlardır. Gerilmeler, üniform sıcaklık dağılımı için çözümlenmiş plastik bölge diskin iç yüzeyinde başlamış, artık gerilmelerin diskin iç yüzeyinde daha büyük olduğu saptanmıştır. Sen [8], üniform sıcaklık etkisi altında bir termoplastik kompozit diskteki elasto-plastik termal ve artık gerilmeleri incelemiştir. Daha sonra, tek yönlü çelik lif takviyeli termoplastik kompozit bir disk için elasto-plastik gerilme analizi yapmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi, kompozit disk modeldeki termal elastik ve elasto-plastik gerilme dağılımının hesaplanmasında kullanılmıştır. Sen ve arkadaşları [9], termoplastik kompozit bir diskteki ısı gerilmeleri, geliştirdikleri FORTRAN programı ile analitik olarak ve aynı zamanda ANSYS yazılımını kullanmak suretiyle nümerik olarak elde etmişlerdir. Isıl yük olarak diske parabolik sıcaklık dağılımı uygulamışlardır. Çalışmadan elde edilen verilere göre analitik ve nümerik çözümün birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Kaynak ve arkadaşları [10] yaptıkları çalışmada, polimer matrisli ve kısa fiberlerle, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş bir kompozit diskteki ısı gerilmeleri hesaplamışlardır. Isıl gerilmeler üniform sıcaklık etkisiyle meydana getirilmiştir. Çözüm için iki boyutlu sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmıştır. Bu amaç için ANSYS yazılımından yararlanılmıştır. Sen [11] tarafından ANSYS programı ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan çalışmada, üzerinde çok sayıda delik bulunan bir kompozit diskin ısı gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, elastik-plastik çözüm ile artık ısı gerilmeler hesaplanmıştır. Isıl gerilmeler, uygulanan üniform sıcaklık yükü tesiriyle oluşturulmuştur.

Bu çalışmanın amacı, üç boyutlu olarak ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilen termoplastik kompozit bir diskteki ısıl artık gerilmelerin bulunmasıdır.

2. Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada, ortasında dairesel bir delik olan ve Şekil 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 [7]. Kompozit disklerle ilgili yukarıda 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 çözümler üç boyutlu olarak yapılmıştır.



Şekil 1. Çelik tellerle takviye edilmiş termoplastik kompozit disk [7]

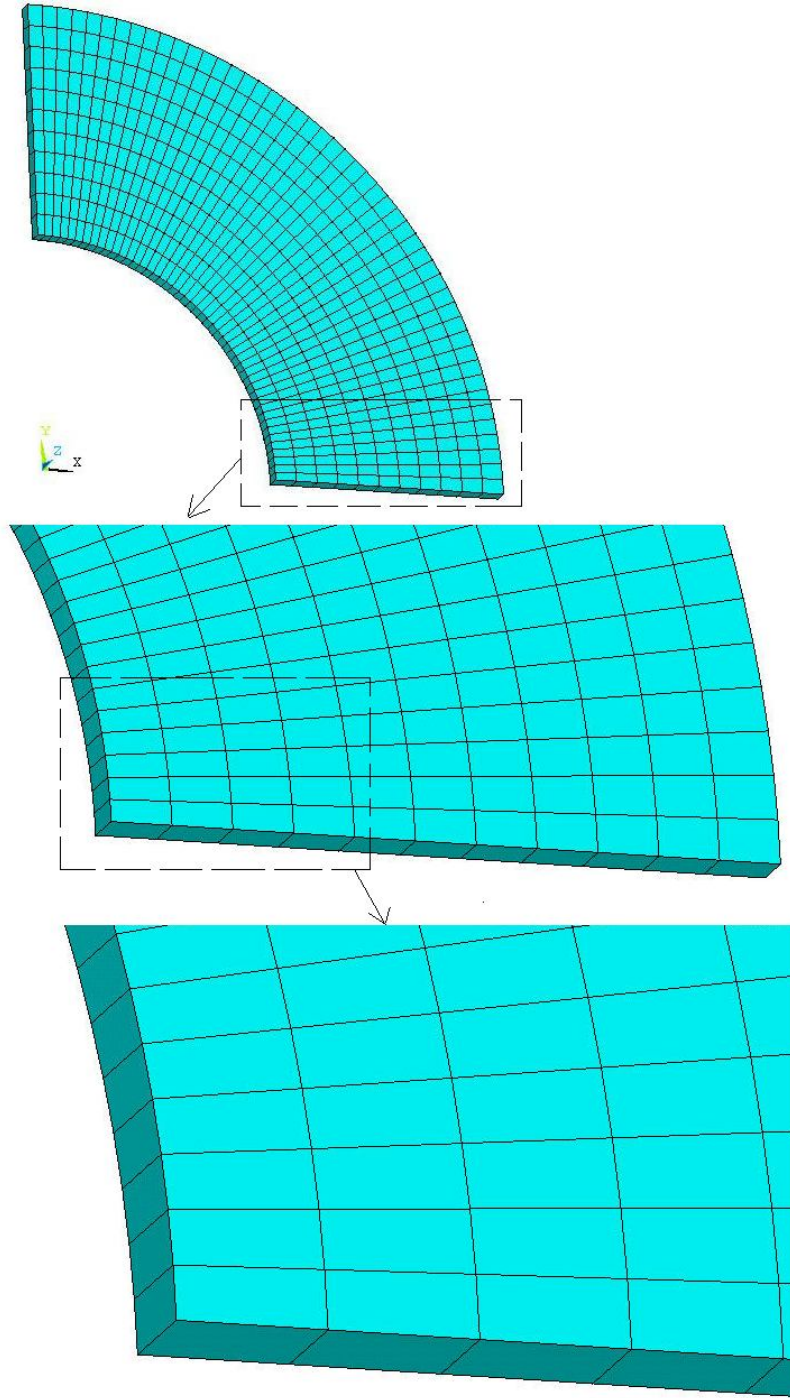
Üç boyutlu olarak modellenen termoplastik matrise sahip ve çelik tellerle dairesel olarak takviye edilmiş kompozit diskin malzeme özellikleri için literatürden yararlanılmıştır. Bu nedenle, daha önce Sayman ve arkadaşları [7] tarafından yapılan çalışmada elde edilen ve bazı analizlerde de kullanılan malzeme özellikleri tercih edilmiştir. Bu önceki çalışmadan elde edilen malzeme özellikleri Tablo 1’de listelenmiştir [7].

Tablo 1. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri [7]

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

Çözüm için bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS paket programından yararlanılmıştır [12]. Kompozit diskin simetri koşullarından dolayı, diskin sadece $1/4$ 'lük kısmı modellenmiştir. Modelleme işleminden sonra oluşturulan $1/4$ 'lük katı disk modele, uygun sınır şartları model

üzerine uygulanmıştır. Kompozit diskin sonlu elamanlara bölünmüş hali Şekil 2’de gösterilmiştir. Sonlu elemanların detaylarını daha iyi bir şekilde gösterebilmek için üç boyutlu disk modeli üzerindeki bazı bölgeler büyütülmüştür. Kompozit disk modelin sonlu elemanlara bölme işlemi sonucunda, $\frac{1}{4}$ kompozit disk modeli üzerinde, 528 eleman ve 1176 düğüm noktası elde edilmiştir [13]. Üç boyutlu kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmesi amacıyla SOLID45 [12] eleman tipi kullanılmıştır.



Şekil 2 Kompozit diskin sonlu elamanlara bölünmüş hali

Üç boyutlu kompozit disk üzerine ısı yükü olarak, üniform sıcaklık yükü uygulanmıştır. Üniform sıcaklıklar olarak 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 °C değerlerinde sıcaklıklar seçilmiştir. Çalışma üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, üç boyutlu termoplastik kompozit diskin elastik çözüm yöntemi kullanılmak suretiyle ısı gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Bir başka ifadeyle ilk aşama elastik analiz aşamasıdır. İkinci aşamada ise elastik-plastik çözüm yöntemi ile ısı gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Diğer bir ifadeyle, ikinci aşama elastik-plastik analiz aşamasıdır. Üçüncü aşama ise ilk iki aşamada elde edilen, elastik ve plastik gerilmelerin kullanılması ile artık gerilmelerin bulunmasıdır. Artık gerilmeler süperpozisyon yöntemi ile elde edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Elastik Çözümde Elde Edilen Bulgular

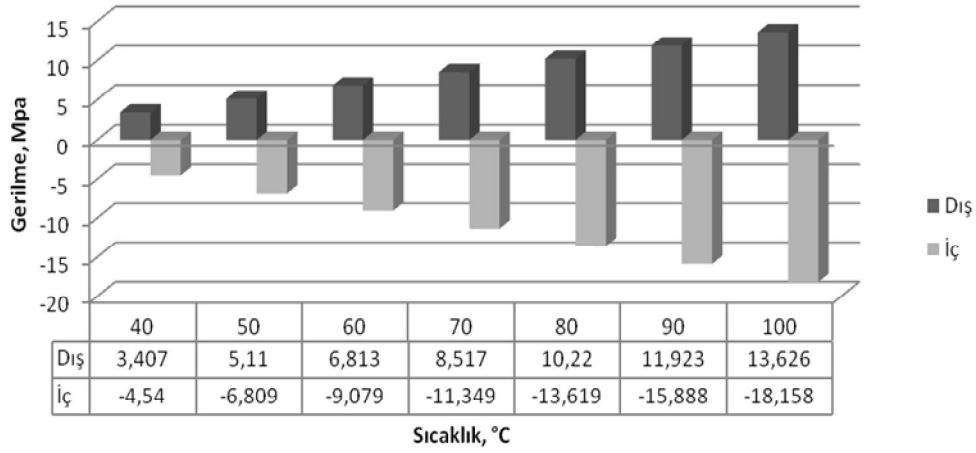
İlk olarak, farklı üniform sıcaklıklar etkisindeki kompozit disk için elastik çözümler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen normal gerilmelerin değerleri Tablo 2’de listelenmiştir. Kompozit diskin iç ve dış yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin, basma ve çekme şeklinde değişiklikler gösterdiği görülmüştür. Bu sebeple, bu tabloda analizlerden elde edilen sonuçlar listelenirken, gerilme bileşenlerinin, iç yüzey ve dış yüzey değerleri verilmiştir. Tabloda verilen eksili değerler, oluşan gerilmenin basma formunda meydana geldiğini göstermektedir.

Tablo 2. Elastik çözüm sonucu elde edilen normal gerilmeler (σ_r , σ_θ , σ_z)

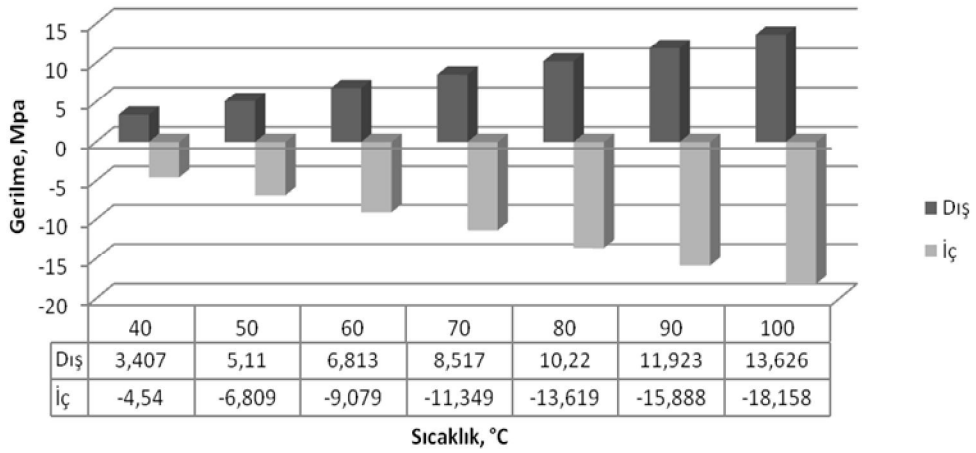
Sıcaklık (°C)	Yüzey	Normal Gerilmeler (MPa)		
		σ_r	σ_θ	σ_z
40	İç	-4.540	-4.540	-0.016
	Dış	3.407	3.407	0.006
50	İç	-6.809	-6.809	-0.025
	Dış	5.110	5.110	0.010
60	İç	-9.079	-9.079	-0.033
	Dış	6.813	6.813	0.013
70	İç	-11.349	-11.349	-0.041
	Dış	8.517	8.517	0.016
80	İç	-13.619	-13.619	-0.050
	Dış	10.220	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

Tablo 2’den 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 değerli gerilmeler 100 °C üniform sıcaklık etkisinde iken hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 100 °C üniform sıcaklık yükü için

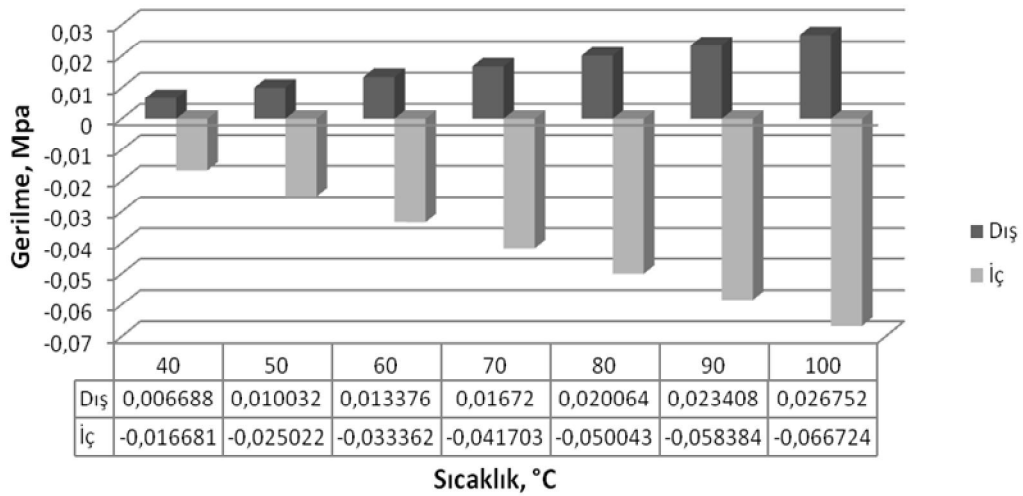
çekme ve basma şeklindeki en yüksek ısıl gerilme değerleri sırasıyla 13,626 MPa ve -18,158 MPa olarak hesaplanmıştır.



a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)



b) Teğetsel yöndeki normal gerilme (σ_θ)



c) z-yönündeki normal gerilme (σ_z)

Şekil 3. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan elastik normal gerilmeler

Tablo 2’den görüldüğü üzere z-yönünde meydana gelen gerilme değerlerinin radyal ve teğetsel yönlerde meydana gelen gerilmelerden daha düşük değerlerde olduğu anlaşılmıştır. Üç boyutlu kompozit diskin iç yüzeyinde basma formunda ısıl gerilmeler meydana gelirken, dış yüzeyinde çekme formunda ısıl gerilmeler oluşmuştur. Ayrıca, iç yüzeyde meydana gelen ısıl gerilmelerin mutlak değer olarak değerlerinin, diskin dış yüzeyinde oluşan çekme gerilmelerinin değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir.

Uygulanan üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan normal gerilmeler; radyal yöndeki (σ_r), teğetsel yöndeki (σ_θ) ve z yönünde (σ_z) olmak üzere Şekil 3’te grafik olarak verilmiştir. Bu şekilden de açıkça görüldüğü gibi z-yönünde hesaplanan gerilmelerin değerlerinin, radyal ve teğetsel yönlerde hesaplanan gerilmelerin değerlerinden, ihmal edilebilecek derecede küçük olduğu görülmektedir.

3.2. Elastik-plastik Çözümde Elde Edilen Bulgular

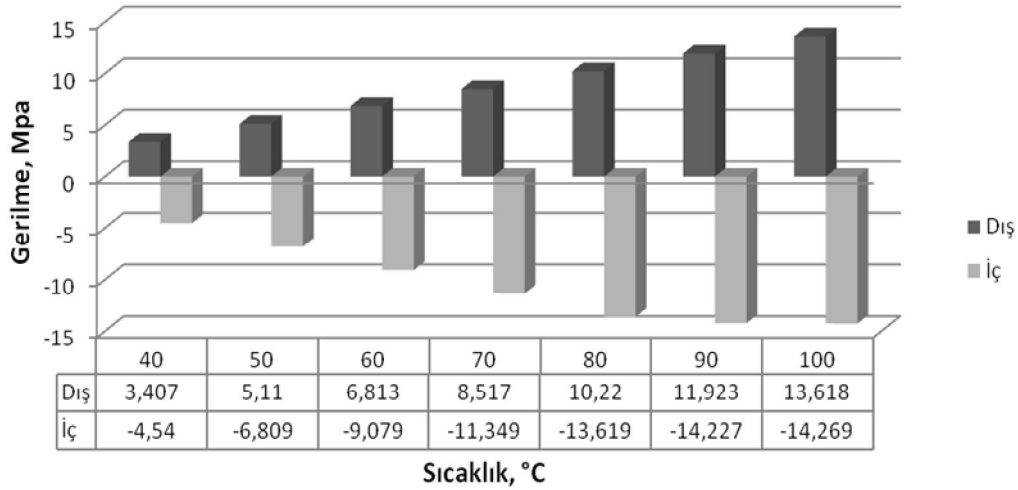
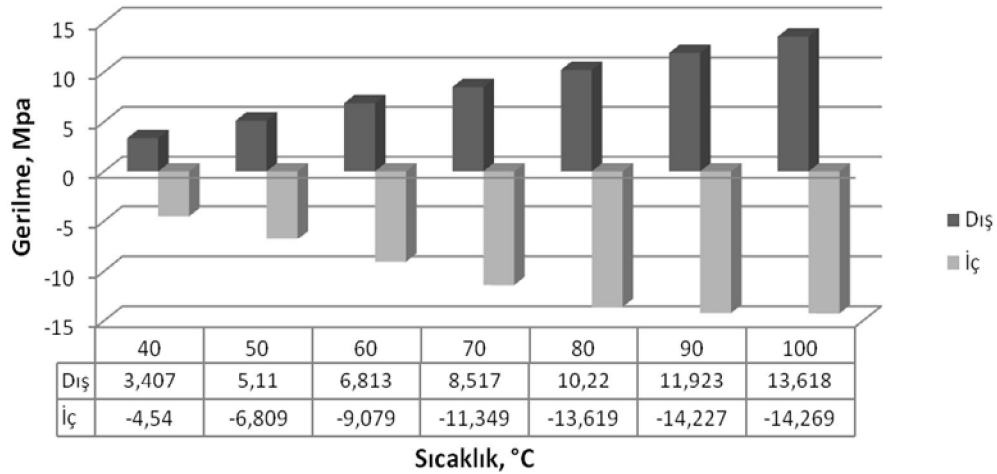
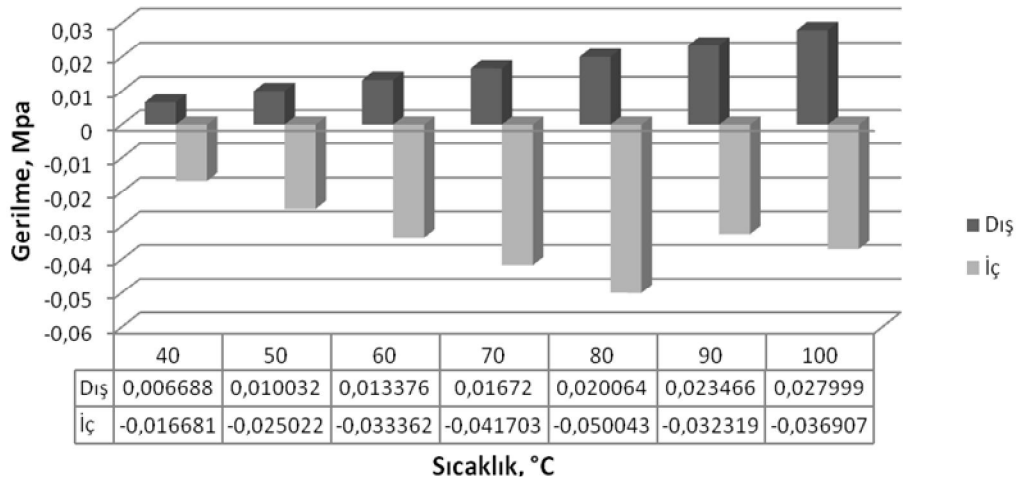
Çalışmada ikinci olarak, farklı üniform sıcaklıklar etkisindeki kompozit disk için hesaplanan elastik-plastik çözüm sonucu elde edilen normal gerilmelerin değerleri Tablo 3’te listelenmiştir.

Tablo 3. Elastik-plastik çözüm sonucu elde edilen 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 tablodan da görüleceği gibi elastik-plastik gerilme değerleri uygulanan üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu tabloya göre 100 °C üniform sıcaklık yükü için

çekme ve basma şeklindeki en yüksek ısıl 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'te grafik olarak gösterilmiştir.

a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)b) Teğetsel yöndeki normal gerilme (σ_θ)c) z-yönündeki normal gerilme (σ_z)

Şekil 4. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan elastik-plastik normal gerilmeler

3.3. Artık Gerilmeler

Artık gerilmeler; elastik ve elastik-plastik çözümlerden elde edilen sonuçlar kullanılmak suretiyle hesaplanmıştır. Artık gerilmeler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan artık gerilmeler

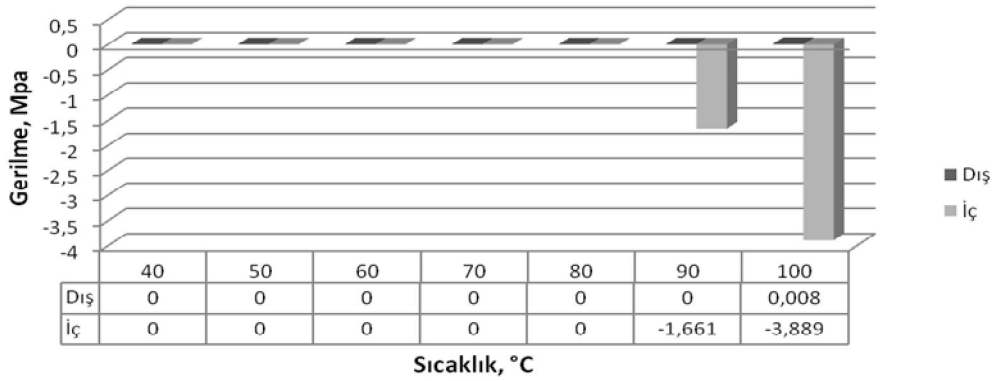
Sıcaklık (°C)	Yüzey	Elastik Gerilmeler (MPa)			Elastik-Plastik Gerilmeler (MPa)			Artık Gerilmeler* (MPa)		
		σ_r	σ_θ	σ_z	σ_r	σ_θ	σ_z	$(\sigma_r)_r$	$(\sigma_\theta)_r$	$(\sigma_z)_r$
40	İç	-4,54	-4,54	-0,017	-4,54	-4,54	-0,017	0	0	0
	Dış	3,41	3,41	0,007	3,41	3,41	0,007	0	0	0
50	İç	-6,81	-6,81	-0,025	-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

* $(\sigma_r)_r$: radyal yönde, $(\sigma_\theta)_r$: teğetsel yönde, $(\sigma_z)_r$: z-yönünde meydana gelen artık gerilme

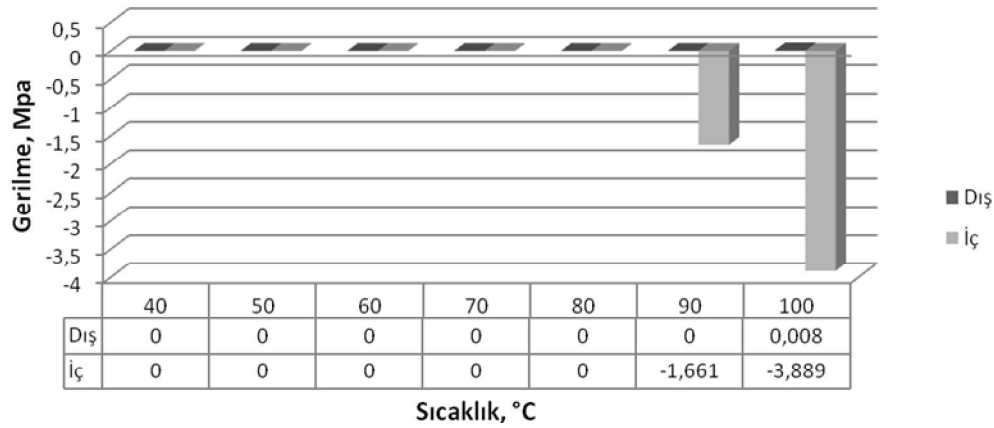
Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan artık gerilmeler grafiksel olarak Şekil 5'te gösterilmiştir. Tablo 4 ve Şekil 5 incelendiğinde artık gerilmelerin uygulanan 90 ve 100 °C sıcaklıklarda meydana geldiği görülmektedir. Elastik ve elastik-plastik gerilmelerde olduğu gibi,

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 basma formunda elde edilmiştir.

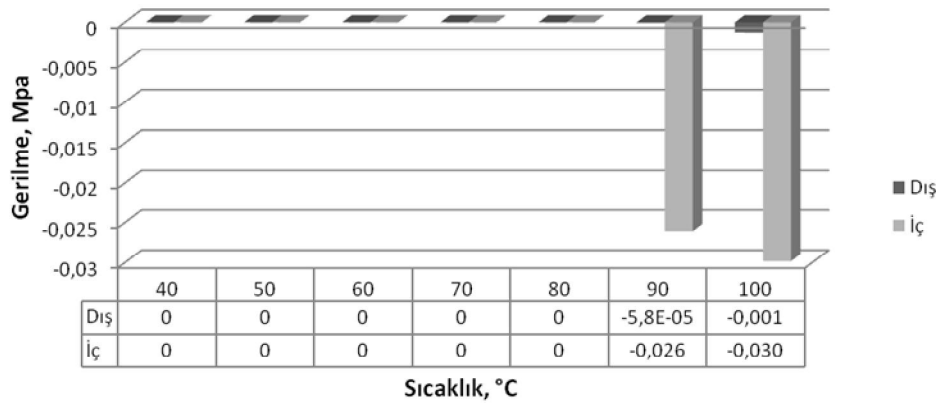
Artık gerilmeler, ilk olarak radyal ve teğetsel yönler için 90 °C sıcaklık uygulandığında kompozit diskin iç yüzeyinde, z-yönü için kompozit diskin hem iç yüzeyinde hem de dış yüzeyinde meydana gelmiştir. Z-yönü için diskin dış yüzeyinde hesaplanan artık gerilmenin değerinin ihmal edilebilecek seviyede olduğu açıkça görülmektedir (Tablo 4). Bu nedenle artık gerilmelerin ilk olarak 90 °C sıcaklık ve kompozit diskin iç yüzeyi için hesaplandığı söylenebilir. 100 °C üniform sıcaklık uygulandığında kompozit diskin iç yüzeyinde meydana gelen artık gerilmelerin değerlerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, kompozit diskin dış yüzeyinde de ve tüm yönler için artık gerilmeler meydana gelmiştir.



a) Radyal yöndeki artık gerilme (σ_r)_r



b) Teğetsel yöndeki artık gerilme (σ_θ)_r

a) z-yönündeki artık gerilme (σ_z)_r

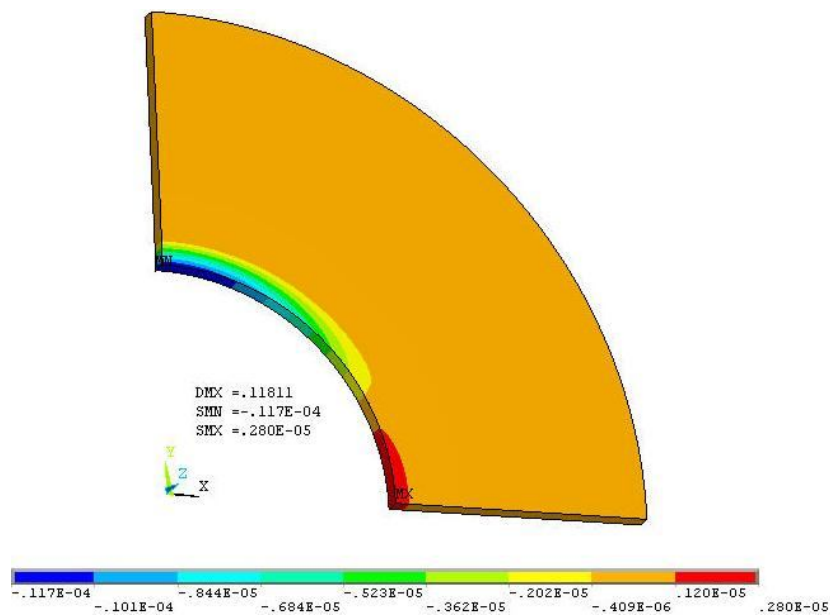
Şekil 5. Üniform sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanan artık gerilmeler

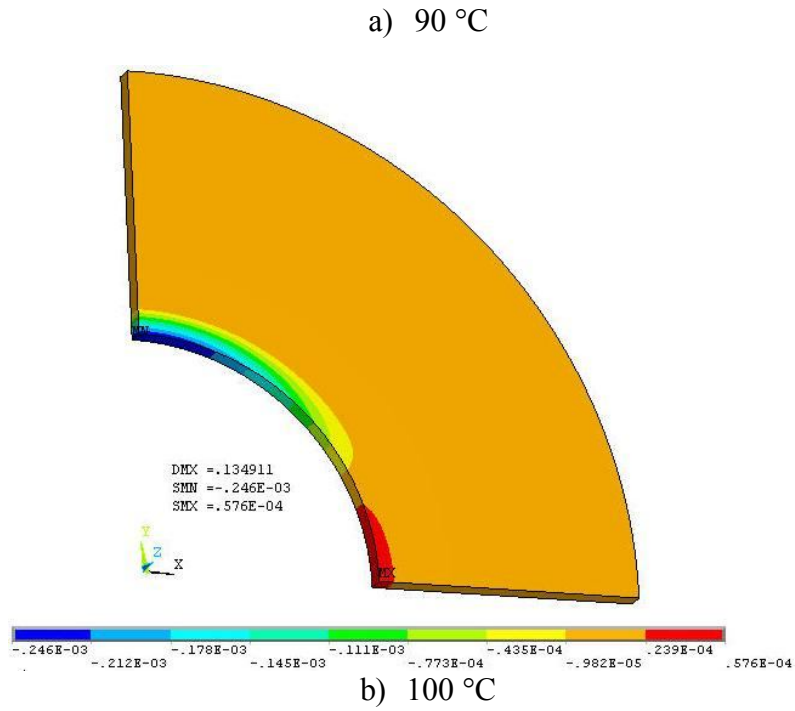
Bu bulgular değerlendirildiğinde, termoplastik kompozit diske 100 °C üniform sıcaklık üzerindeki uygulanan her sıcaklıkta, diskin iç ve dış yüzeyindeki artık gerilmelerin değerlerinin artacağı rahatlıkla söylenebilir.

Artık gerilmelerin, analiz edilen bu kompozit disk için oldukça düşük denilebilecek bir sıcaklık değeri olan 90 °C üniform sıcaklık yükü için elde edilmesinin en büyük nedeni, kompozit malzemenin termoplastik matrise sahip olmasıdır. Zira bu matrisin yaklaşık olarak ergime derecesi 180-200 °C civarındadır.

3.4. Plastik Şekil Değişiklikleri

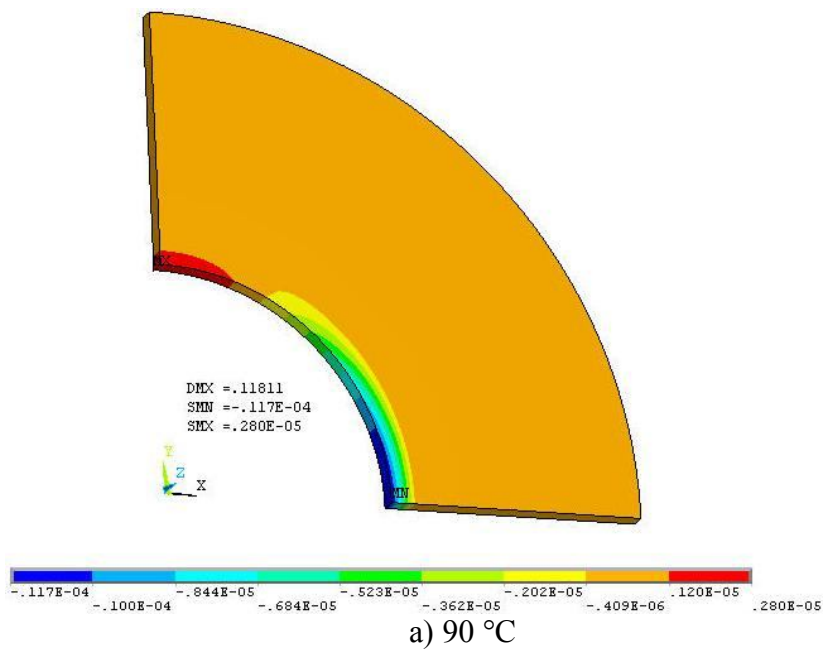
Yukarıda bahsedildiği gibi üç boyutlu termoplastik kompozit disk üzerinde sadece 90 ve 100 °C sıcaklıklarda artık gerilmeler meydana gelmişti. Bunun anlamı, bu değerlere kadar uygulanan üniform sıcaklıklar etkisiyle kompozit disk üzerinde plastik deformasyon olarak adlandırılan herhangi bir kalıcı şekil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

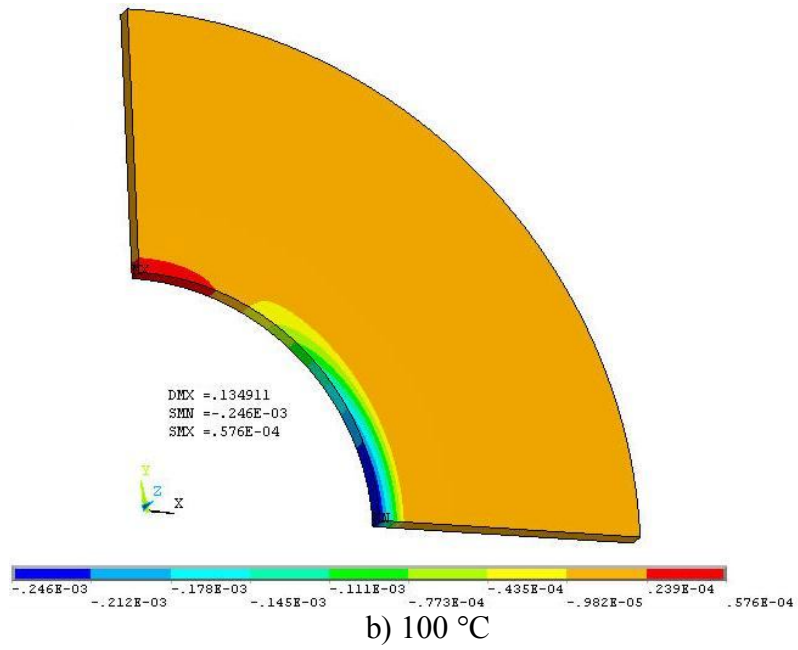
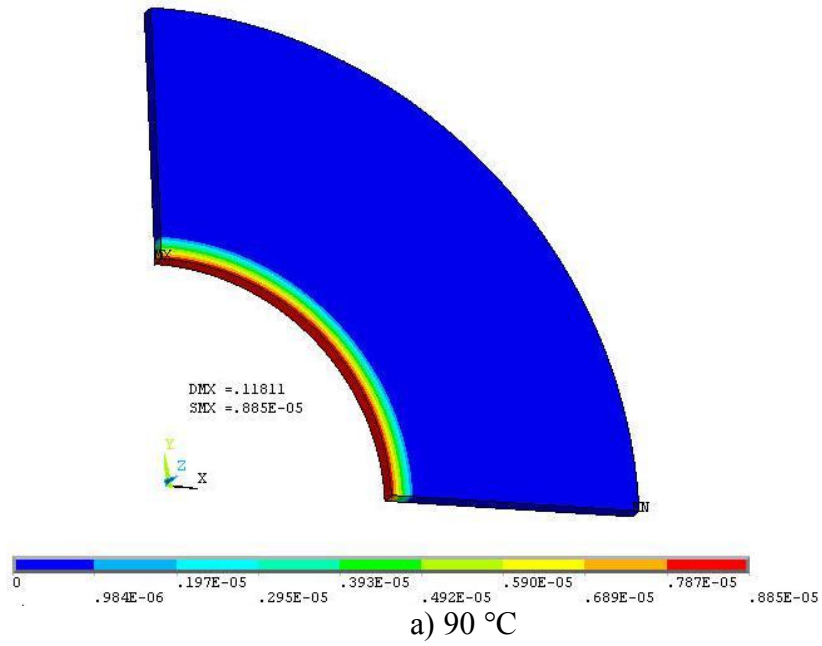


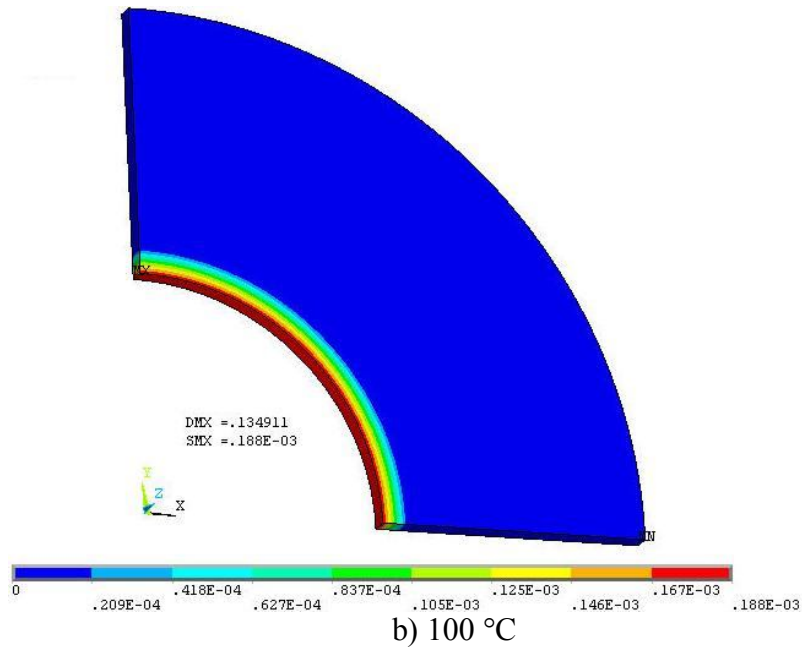


Şekil 6. Radyal yöndeki plastik şekil değiştirme dağılımı (ϵ_r)

Uygulanan 90 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 6, Şekil 7 ve Şekil 8’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.



Şekil 7. Teğetsel yöndeki plastik şekil değiştirme dağılımı (ϵ_0)



Şekil 8. z-yönündeki plastik şekil değiştirme dağılımı (ϵ_z)

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, üç boyutlu termoplastik kompozit bir diskteki artık gerilmelerin elde edilmesi amacıyla hem elastik hem de elastik-plastik çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Kompozit disk üç boyutlu olarak modellenmiştir. Çözümler neticesinde, aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir. Elastik ve elastik-plastik çözümün her ikisinde de ısıl gerilmelerin mutlak değer olarak değerleri, üniform sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermiştir. Bundan dolayı, en düşük ısıl gerilmeler uygulanan 40 °C üniform sıcaklık yükü için elde edilirken, en yüksek değerli ısıl gerilmeler 100 °C üniform sıcaklık etkisinde iken hesaplanmıştır. Çözüm üç boyutlu olarak gerçekleştirildiğinden, radyal, teğetsel ve z-doğrultularında ısıl gerilmeler meydana geldiği görülmüştür. Fakat 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. Üç boyutlu kompozit diskin iç yüzeyinde basma formunda ısıl gerilmeler meydana gelirken, dış yüzeyinde çekme formunda ısıl gerilmeler oluşmuştur. Ayrıca, iç yüzeyde meydana gelen ısıl gerilmelerin mutlak değer olarak değerlerinin, diskin dış yüzeyinde oluşan çekme gerilmelerinin değerlerinden daha büyük olduğu anlaşılmıştır.

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 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. Bu sıcaklık değeri ve üzerindeki çalışma sıcaklıklarında, disk üzerinde oluşan artık gerilmelerin diskte şekil bozukluğu gibi çarpılmalar meydana getirebileceği söylenebilir. Kısacası bu tür termoplastik kompozit diskin 90 °C üniform sıcaklık değerlerinin altındaki sıcaklıklarda kullanılması daha uygun olacaktır. Elastik ve elastik-plastik ısıl gerilmelerde olduğu gibi, radyal ve teğetsel

yönlerde daha büyük değerlerde ısıl artık gerilmeler meydana gelirken, z-yönünde daha düşük değerlerde ısıl artık gerilmeler meydana gelmiştir. Radyal ve teğetsel yönlerdeki gerilmelerin yüksek değerlerde oluşmasının temel nedeni, bu doğrultulardaki ısıl genleşme katsayıları arasındaki çok büyük farklardır.

Kaynaklar

1. Staab, G. H. Laminar Composites, Butterworth-Heinemann, USA, (1999).
2. Callister, W.D. Materials Science and Engineering an Introduction, John Wiley and Sons, USA, (2003).
3. Mallick, P. K. Fiber-reinforced composites materials, manufacturing, and design, Marcel Decker, USA, (1993).
4. You, L.H., Tang, Y.Y., Zhang, J.J. and Zheng, C. Y. Numerical analysis in a thermoplastic composite disc with arbitrary variable thickness and density, International Journal of Solids Structures, 37, 7809-7820, (2000).
5. Jahed, H. and Shirazi, R. Loading and unloading behavior of a thermoplastic disc, Int. Pressure Vessel and Piping, 78, 637-645, (2001).
6. Sayman, O. Thermal stress analysis in an aluminum metal–matrix orthotropic disc, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 23, 14, 1473-1479, (2004).
7. Sayman, O., Yangıncı, S. and Sayer, M. Thermoelastic-Plastic stress analysis in a thermoplastic composite disc, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 24, 21-33, (2005).
8. Sen, F. The estimation of elasto-plastic thermal and residual stresses in a thermoplastic composite disc under uniform temperature effect, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 25, 1485-1498, (2006).
9. Sen, F., Pekbey, Y., Sayman, O. Elastic-plastic stress analysis of a thermoplastic composite disc under parabolic temperature distribution. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, 14, 282-288, (2007).
10. Kaynak, I., Sen, F. and Sayman, O. Thermo-elastic stress analysis of injection molding short glass fiber filled polymer composite disc with holes, Journal of Reinforced Plastics and Composites. 27/11, 1117-1134, (2008).
11. Sen, F. Elastic-plastic thermal stresses in a composite disc with multiple holes, Advanced Composite Letters, 16/3, 95-103, (2007).
12. ANSYS, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.
13. Sarkmaz, M. Kompozit Bir Diskteki Isıl Gerilmeler Üzerinde Farklı Sıcaklık Yüklerinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).