

UNIFORM SICAKLIK UYGULANMI METAL MATRİSLİ KOMPOZİT DİSKİN İSİL GERİLME ANALİZİ

Faruk EN^{1*}, Bahadır Hakan AKYÜZ²

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Böl. Muğla

²Mercedes-Benz Türk A.Ş. Kamyon Fabrikası, Aksaray

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, uniform sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit diskin ısıl gerilme analizinin yapılmasıdır. Analiz edilen kompozit diskin malzemesi, alüminyum matrise sahiptir ve çelik fiberlerle takviye edilmiştir. Analiz için sonlu elemanlar metodu (FEM) tercih edilmiştir. Bu nedenle, modelleme ve analizler için ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Önceki çalışmalardan farklı olarak, kompozit disk üç boyutlu olarak modellenmiştir. Elde edilen üç boyutlu kompozit disk modeli üzerine çeşitli yapısal sınırlar ve sırasıyla 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 270 °C uniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Uniform sıcaklık etkisiyle, üç boyutlu kompozit disk üzerinde oluşan ısıl gerilmelerin ve ısıl genişleme miktarlarının dağılımları ve disk üzerindeki dağılımları elde edilmiştir. Uygulanan farklı sıcaklıklardaki uniform sıcaklıklar nedeniyle elde edilen gerilme ve genişleme miktarları, birbiriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ısıl gerilmelerin ve ısıl genişleme miktarlarının dağılımları ve dağılımlarının, uygulanan uniform sıcaklık değişimine bağlı olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu kompozit disk, Isıl gerilme analizi, FEM, ANSYS.

THERMAL STRESS ANALYSIS OF METAL MATRIX COMPOSITE DISC APPLIED UNIFORM TEMPERATURE

ABSTRACT

The aim of this study was done thermal stress analysis of metal matrix composite disc under uniform temperature effect. The material of composite disc was aluminum matrix and it was reinforced by steel fibers. The finite element method (FEM) was chosen for analysis. For this reason, ANSYS finite element code was used for both modeling and analyses. The composite disc was created as three dimensional as a dissimilarity from earlier studies. Various structural boundary conditions and uniform temperatures as 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 270 °C were performed on created three dimensional composite disc models. The magnitudes of thermal stresses and thermal strains caused from uniform temperature effect were calculated and its distributions were obtained on three

* Sorumlu Yazar: faruksen@mu.edu.tr

dimensional composite disc. The obtained stress and strain results based on applied different values of uniform temperatures were compared with each other. According to obtained results, the magnitudes and distributions of thermal stresses and strains were changed by changing values of uniform temperatures.

Key Words: Three dimensional composite disc, Thermal stress analysis, FEM, ANSYS.

1. G R

Kompozit malzemeler nispeten yeni bir alan olup II. Dünya Sava ı esnasında mevcut konvansiyonel malzemeler tek ba larına teknoloji kar ısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile ba lamı ve o zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine ara tırma ve geli tirme faaliyetleri geni leyerek devam etmektedir [1]. Kısaca tanımlamak gerekirse, kompozit malzeme iki veya daha çok malzemenin makroskobik düzeyde birle tirilmesi ile elde edilen yeni malzemedir. Fiber takviyeli kompozitler özellikle ikinci dünya sava ından sonra yaygın mühendislik malzemeleri olarak birçok uygulamada yeni malzemeler olarak ortaya çıkmı tır. Bu yapıdaki kompozitlerin günümüzde kullanıldı ı ba lıca yapılar, hava araçları, uzay araçları, uydular, gemiler, denizaltılar, otomobiller, kimyasal i lem donanımları, sportif araçlar, alt yapı sistemleri, tıbbi protezler ve mikro elektronik aletlerdir [2]. Bir kompozit malzeme çe idi olan, metal-matrisli kompozit malzemelerin, yüksek sıcaklıklardaki üstün özellikleri, cam lifi ile takviye edilmi plastiklerle kar ıla tırıldı ında ön plana çıkmaktadır. Birçok sıcaklık de erinde, metal matrislerin mukavemet ve elastiklik modülü, reçine esaslı matrislerden daha yüksektir. Aynı zamanda, metal matrisli kompozitlerin gevrek kırılma ihtimali daha dü üktür[3]. Ayrıca, geleneksel metal ve metal ala ımları ile kar ıla tırıldı ında, kompozit malzemelerin, hafiflik, yorulmaya kar ı uzun ömür, korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri nedeniyle önemi giderek artmaktadır[2, 4].

Kaynak ve en [5] yaptıkları çalı mada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmi polimer matrisli kısa cam fiberlerle takviye edilmi bir kompozit diskteki ısıl gerilmeleri hesaplamı lardır. Isıl gerilmeler uniform sıcaklık etkisiyle meydana getirilmi tir. Çözüm için iki boyutlu sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmı tır. Modelleme ve çözümler için ANSYS yazılımından yararlanılmı tır. Sen [6] tarafından tabakalı kompozit plakalarla ilgili yapılan çalı mada, uniform sıcaklık yükü nedeniyle kompozit plakalarda olu an ısıl gerilmeler incelemi tir. Çalı mada, sonlu elemanlar metodu kullanılmı tır. Analizler elasto-plastik olarak yapılmı tır. Termoplastik kompozit plakanın orta kısmına bir delik olu turulmu ve ısıl gerilmeler üzerine, delik etkisi incelenmi tir. Sen [7] elastik plastik olarak yapımı oldu u çalı mada, çelik tellerle takviye edilmi termoplastik matrise sahip kompozit bir diskte meydana gelen ısıl gerilmeleri hesaplamı tır. Çalı manın elastik-plastik olmasından dolayı, ayrıca artık gerilmelerde elde edilmi tir. Sıcaklık yükü olarak uniform sıcaklıklar kompozit diske etki ettirilmi tir. Sen [8] tarafından,

sonlu elemanlar metodu ve ANSYS programı kullanılarak yapılan di er bir çalı mada, üzerinde çok sayıda delik bulunan bir kompozit diskin ısıl gerilme analizi gerçekte tirilmi tir. Çalı mada, elastik-plastik ve artık ısıl gerilmeler hesaplanmı tir. Isıl gerilmeler, kompozit diske uygulanan uniform sıcaklık yükü etkisiyle olu turulmu tur. Kompozit malzemenin radyal ve te etsel do rultulardaki farklı ısıl genle me katsayıları nedeniyle, ısıl gerilmelerin meydana geldi i görülmü tür. Isıl gerilmelerin ve artık gerilmelerin de erlerinin uygulanan uniform sıcaklık yüklemelerine ba lı olarak de i im gösterdi i gözlenmi tir.

Sen ve Aldas [9] tarafından yapılan çalı mada, termoplastik kompozit diskte lineer sıcaklık da ılımı nedeniyle meydana gelen ısıl gerilmeler ve artık gerilmeler elastik-plastik gerilme analizi yöntemi ile gerçekte tirilmi tir. Çözümde sonlu elemanlar metodu kullanılmı tir. Diske etki eden sıcaklı ın diskin iç yüzeyinden dı yüzeyine do ru lineer de i im gösterdi i kabul edilmi tir. Sen ve arkadaş ları [10], termoplastik kompozit bir diskteki ısıl gerilmeleri, geli tirdikleri FORTRAN programı ile analitik olarak ve aynı zamanda ANSYS yazılımını kullanmak suretiyle nümerik olarak elde etmi lerdir. Isıl yük olarak diske parabolik sıcaklık da ılımı uygulamı larıdır. Çalı madan elde edilen verilere göre analitik ve nümerik çözümün birbiriyle oldukça uyumlu oldu u görülmü tür.

Çalho lu ve arkadaş ları [11], kompozit dönen bir disk için elastik-plastik gerilme analizini analitik olarak gerçekte tirmi lerdir. Plastik bölgenin da ılımını görmek için bir kaç farklı açısız hız dikkate alınmı tir. Çalı mada artık gerilmeler de hesaplanmı tir. Hem elastik gerilmeler hem de plastik gerilme analizi sonuçlarına göre diskin iç yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin, diskin dı yüzeyinde meydana gelen gerilmelerden daha yüksek oldu u tespit edilmi tir. Diskin iç yüzeyinde meydana gelen artık gerilmelerin de erlerinin, diskin dı yüzeyinde meydana gelen artık gerilmelerden daha yüksek oldu u görülmü tür. Çalho lu [12] uniform ve lineer gibi azalan veya artan sıcaklıklar etkisindeki dönen kompozit bir diskteki ısıl gerilmeleri hesaplamı tir. Dönen disk içerisindeki te etsel ve radyal gerilmeler üç farklı sıcaklık profili için hesaplanmı tir. Yapılan analiz sonuçlarına göre dü ük sıcaklıklarda tüm disk için, te etsel gerilmelerin, radyal gerilmelerden daha büyük de erlerde oldu u fakat sıcaklık arttırıldı nda diskin iç yüzeyinde azalma gösterdi i anla ılmı tir.

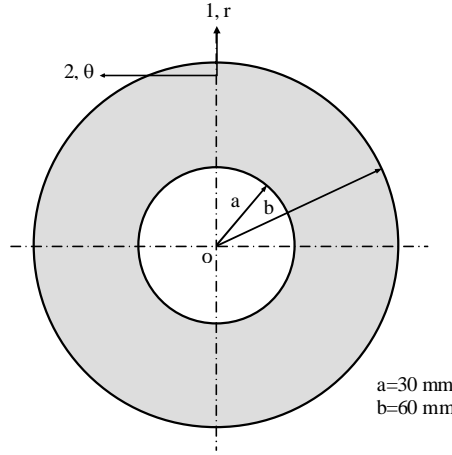
Bu çalı mada, metal-matrisli bir kompozit diskte uniform sıcaklık tesiriyle meydana gelen ısıl gerilmeler ve ısıl ekil de i tirmeler hesaplanmı tir. Çözüm için sonlu elemanlar metodu (FEM) kullanılmı tir. Bu çalı mada, önceki çalı malardan farklı olarak kompozit diskin modellenmesi ve çözümler üç boyutlu olarak yapılmı tir.

2. PROBLEM N TANIMLANMASI

ekil 1'de gösterilen, iç yarıçapı $a=30$ mm ve dı yarıçapı $b=60$ mm olan ve dolayısıyla ortasında dairesel bir delik olan bir kompozit disk modeli geli tirilmi tir. Daha önceki benzer çalı malarda modellenme ve çözümler iki boyutlu olarak yapılmı olmasına ra men, bu yeni çalı mada kompozit disk üç

boyutlu olarak modellenmiştir. Bu nedenle, kompozit diskin $t=4$ mm kalınlığına sahip olduğu varsayılmıştır. Kısacası kalınlık verilmesiyle, kompozit diskin modelleme ve çözümlemesinin üç boyutlu olması sağlanmıştır.

Metal matris kompozit diskin malzeme özellikleri için kompozit malzemelerle ilgili önceki çalışmalardan faydalanılmıştır. Bu amaçla, Çallıoğlu ve arkadaşları [11] ile Altan ve Topçu [13] tarafından yapılan çalışmalarda kullanılan kompozit malzeme özellikleri tercih edilmiştir. Bahsedilen önceki çalışmalardan elde edilen malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir [11, 13]. Bahsedilen çalışmalar incelendiğinde, kompozit malzemenin, alüminyum matrise sahip olduğu ve bu alüminyum matrisin çelik tellerle takviye edilmesi suretiyle üretildiği anlaşılmaktadır.



ekil 1. Kompozit diskinematik gösterimi

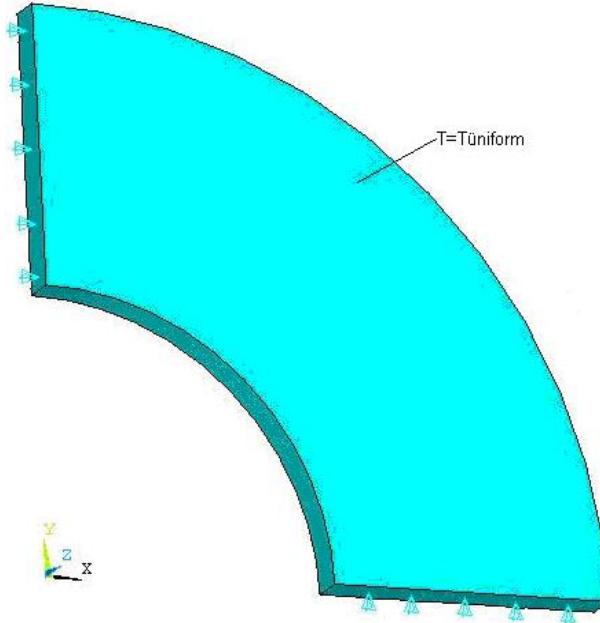
Problemin çözümünde, son yıllarda birçok farklı alanda ve mühendislik problemlerinin çözümünde tercih edilen sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu nedenle iyi bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS paket programından yararlanılmıştır [14]. ANSYS sonlu elemanlar programının, akademik amaçlı çalışmalarda ve sektörel çözümlemelerde yaygın olarak tercih edildiği bilinmektedir. Özetlemek gerekirse, bu çalışma için metal matrisli üç boyutlu kompozit diskin modellenmesi ve ısıl gerilmelerin çözümü ANSYS yazılımı marifetiyle yapılmıştır.

Tablo 1. Metal matrisli kompozit malzemenin mekanik özellikleri [11, 13]

E_r (MPa)	E (MPa)	G_r (MPa)	ν	X (MPa)	Y (MPa)	S (MPa)	K (MPa)	α_r ($1/^\circ\text{C}$)	($1/^\circ\text{C}$)
89500	71500	32000	0.28	97	36	48	157	$18,6 \cdot 10^{-6}$	$21,6 \cdot 10^{-6}$

ekil 2'de görüldü ü gibi kompozit diskin sadece $\frac{1}{4}$ kısmı modellenmi tir [15]. Bunun nedeni diskin simetrik yapıya sahip olmasıdır. Bu ekilde yapılan bir modelleme ile üç boyutlu model üzerinde olu turulan eleman sayısı ve dü üm noktası sayısının daha az sayıda olması sa lanmı tir. Bunun neticesinde, çözüm süresi kısaltılmı ve elde edilen sonuç dosyalarının boyutları küçültülmü tür. Modelleme i leminin tamamlanmasından sonra olu turulan üç boyutlu katı disk modele uygun yapısal sınır artları model üzerine uygulanmı tir. Üç boyutlu kompozit disk modeline sınır artlarının uygulanması ekil 2'de gösterilmı tir.

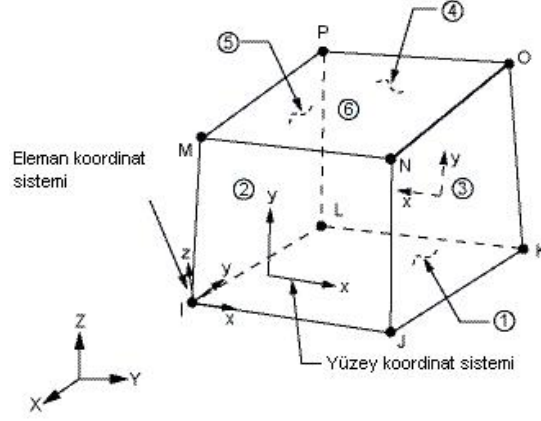
ekil 2'den görüldü ü gibi diskin $\frac{1}{4}$ 'üne uygun olarak yapısal sınır artları uygulanmı tir. Yapısal sınır artlarının uygulanmasından sonra, çözüm için ısıl sınır artı üç boyutlu modele uygulanmı tir. Bu amaçla 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 270 °C olmak üzere sekiz farklı de erde uniform sıcaklıklar kompozit disk üzerine etki ettirilmı ve her bir uniform sıcaklık yükü için ısıl gerilme ve ekil de i tirmeler hesaplanmı tir.



ekil 2. Üç boyutlu kompozit disk modeli ve sınır artlarının uygulanması

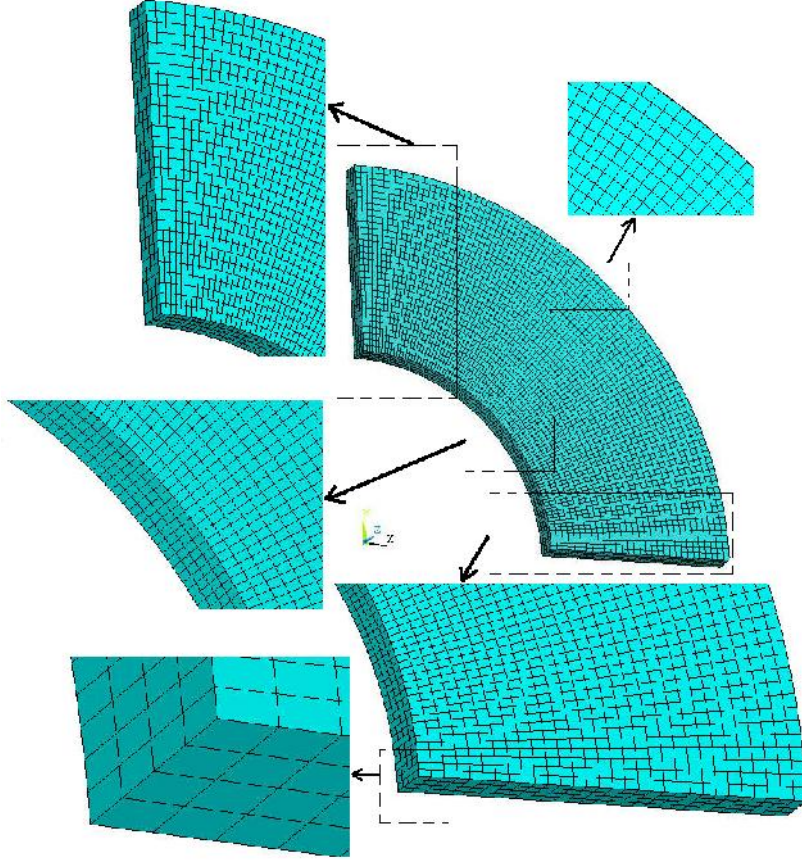
Bilindi i üzere sonlu elemanlarla çözüm i leminde problemin modellenmesi ve model üzerine uygun sınır artlarının uygulanmasından sonra üphesiz en önemli a ama, model üzerinde sonlu elemanlar a yapısının olu turulmasıdır. Bir ba ka ekilde ifade edilmek istenirse, olu turulan katı modelin (ekil 2) uygun bir sonlu elemanlara bölünmesi, elde edilecek çözümü ve do rulu unu do rudan etkilemektedir. Uygun bir a yapısı elde edilemedi inde çözüme gitmek imkânsız olmaktadır. ANSYS programında, sonlu elemanlar a yapısının olu turulması

amaçta kullanılmak üzere, çeşitli özelliklere sahip elemanlar bulunmaktadır. Bu elemanlar; iki boyutlu çözümler, üç boyutlu çözümler, dönele simetrik çözümler vb. için farklı özelliklerdedir [14, 16]. Bu elemanların uygulamalarda de i ik olarak seçilmesindeki temel farklılık, çözülmek istenen probleme uygulanması gereken sınır artlarına ve elde edilmek istenen sonuçlara uygun olmasıdır. Bu çalışmada, modellemenin üç boyutlu olmasından dolayı, ekil 3'te görülen SOLID45 eleman tipi kullanılmı tır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, örne in bu üç boyutlu çalışmada, iki boyutlu elemanların kullanılması ve oluşturulan üç boyutlu katı model üzerinde sonlu elemanlar a yapısının oluşturulmasının mümkün olmamasıdır.



ekil 3.SOLID 45 eleman tipi [14]

ekil 3'te görülen, uygun eleman tipinin seçilmesinden sonra, üç boyutlu kompozit diskin sonlu elemanlara bölme i lemi gerçekleştirilmi tır. Kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmü hali ise ekil 4'te gösterilmi tır.



ekil 4.Üç boyutlu kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmü hali

Bu şekilde model üzerindeki bazı kısımlar büyütülmüş olarak da gösterilmiştir. Şeklin bu şekilde detaylandırılması ile disk üzerinde oluşturulan sonlu elemanlar ağ yapısının daha iyi görülebilmesi ve anlaşılabilmesi amaçlanmıştır. Şekil 4'ten açıkça görüldüğü üzere dörtgen elemanlardan oluşan düzgün bir ağ yapısı elde edilmiştir. Burada açıkça ifade etmek gerekirse, üç boyutlu diskin dairesel yapısı ve iç kısmında oluşturulan deliğin dairesel yapısı nedeniyle, düzgün dörtgen elemanlardan oluşan düzgün bir ağ yapısı elde etmek oldukça güçtür. Fakat bu çalışmada, ANSYS programının sağladığı bazı özel avantajlarla, bu şekilde düzgün bir ağ yapısının elde edilmesi mümkün olmuştur. Üç boyutlu kompozit disk modelinin, sonlu elemanlara bölme işlemi sonucunda, $\frac{1}{4}$ kompozit disk modeli üzerinde, 11400 eleman ve 14480 düğüm noktası elde edilmiştir.

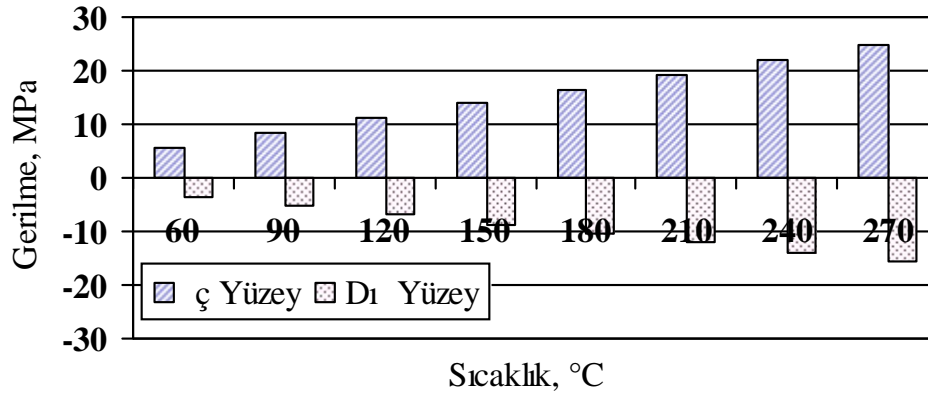
3. BULGULAR

Uygulanan uniform sıcaklıklara ba lı olarak hesaplanan normal gerilmeler, radyal yöndeki (σ_r), te etsel yöndeki (σ_θ) ve z-yönünde (σ_z) olmak üzere ekil 5'te gösterilmi tir. Kompozit diskin iç ve dı yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin basma ve çekme ekinde de i iklikler gösterdi i gözlenmi tir. Bu nedenle, ekil 5'te elde edilen gerilme de erleri verilirken, gerilme bile enlerinin, iç yüzey ve dı yüzey de erlerinin verilmesi uygun görülmü tür.

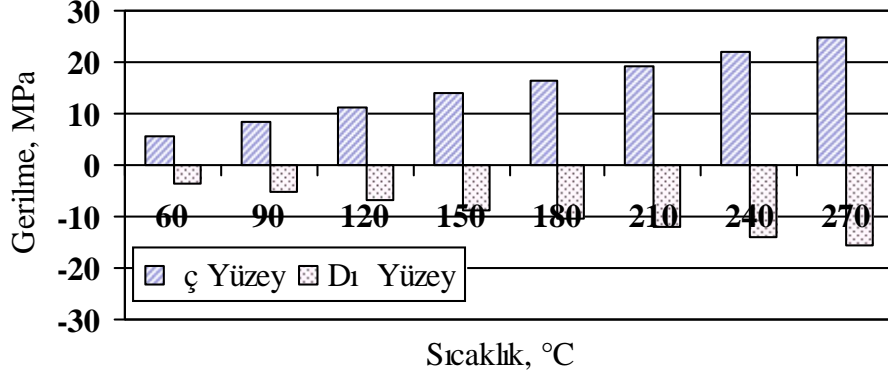
ekil 5'ten, uniform sıcaklık yükündeki artı a ba lı olarak, ısıl gerilmelerde meydana gelen artı açıkça görülebilmektedir. Bir ba ka ifadeyle, gerilme de erlerinin uygulanan üniform sıcaklık artı ma ba lı olarak artı gösterdi i söylenebilir. Bu nedenle her üç do rultu için en dü ük ısıl gerilmeler, 60 °C üniform sıcaklık yükü için hesaplanırken en yüksek ısıl gerilmeler 270 °C üniform sıcaklık yükü için hesaplanmı tir. Sonuç olarak, 270 °C üniform sıcaklık yükü için çekme ve basma ekindeki en yüksek ısıl gerilme de erleri sırasıyla 24,89 MPa ve -15,66 MPa olarak hesaplanmı tir.

Ayrıca, z-yönünde hesaplanan gerilmelerin de erlerinin radyal ve te etsel gerilmelerden çok daha küçük hatta ihmal edilebilecek de erlerde oldu u görülmektedir. Bunun yanısıra, diskin iç yüzeyinde meydana gelen normal gerilmelerin çekme formunda, diskin dı yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin ise bası formunda oldu u anlaşılmı tir. Bu durum hem te etsel hemde radyal yönler için geçerlidir. Mutlak de er olarak, bası gerilmelerinin de erleri, çekme gerilmelerinden daha dü ük olarak elde edilmi tir. Fakat z-yönünde diskin hem iç yüzeyinde hem de dı yüzeyinde gerilemelerin çekme formunda oldu u görülmektedir.

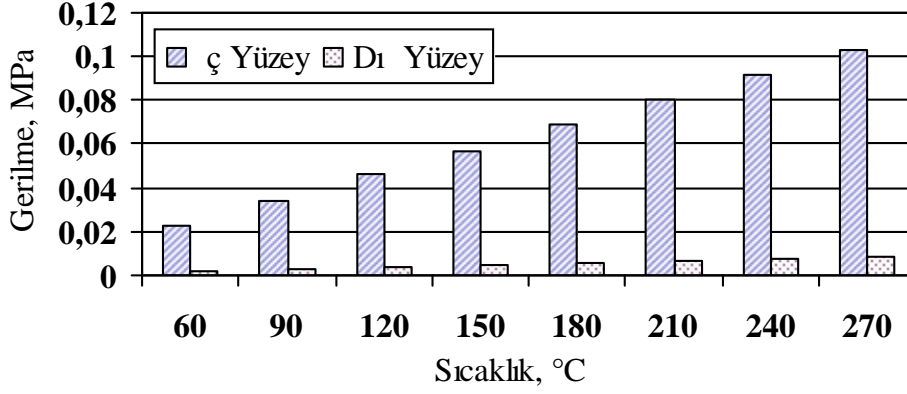
ANSYS sonlu elemanlar yazılımının önemli avantajlarından biri de analizler neticesinde elde edilen gerilmelerin model üzerinde e gerilme e rileri veya konturları ile gösterilebilmesidir. ANSYS yazılımının sa ladı ı bu imkan vasıtasıyla, ısıl normal gerilmelerin üç boyutlu kompozit disk üzerindeki da ılımları radyal, te etsel ve z-yönleri için sırasıyla ekil 6, 7 ve 8'de gösterilmi tir.



a) Radyal yöndeki normal gerilme (σ_r)



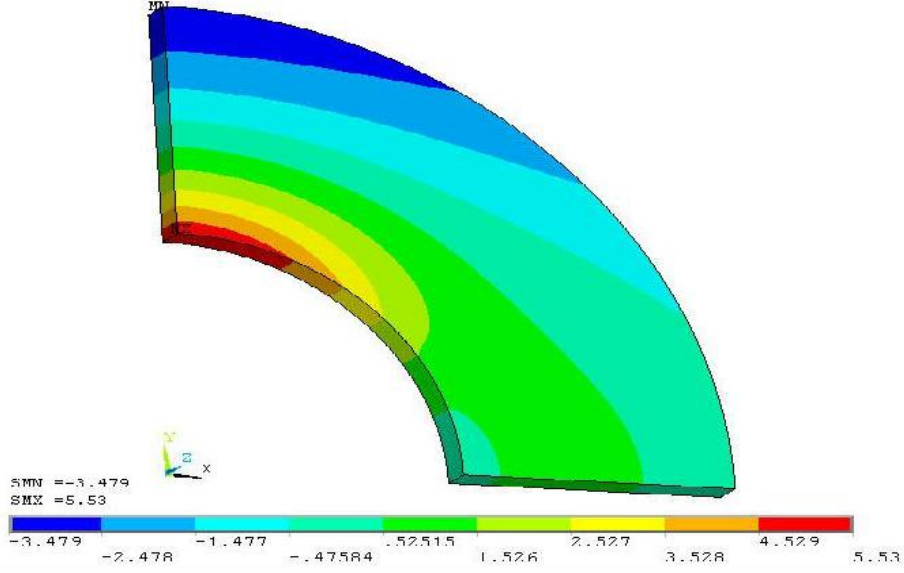
b) Te etsel yöndeki normal gerilme ()



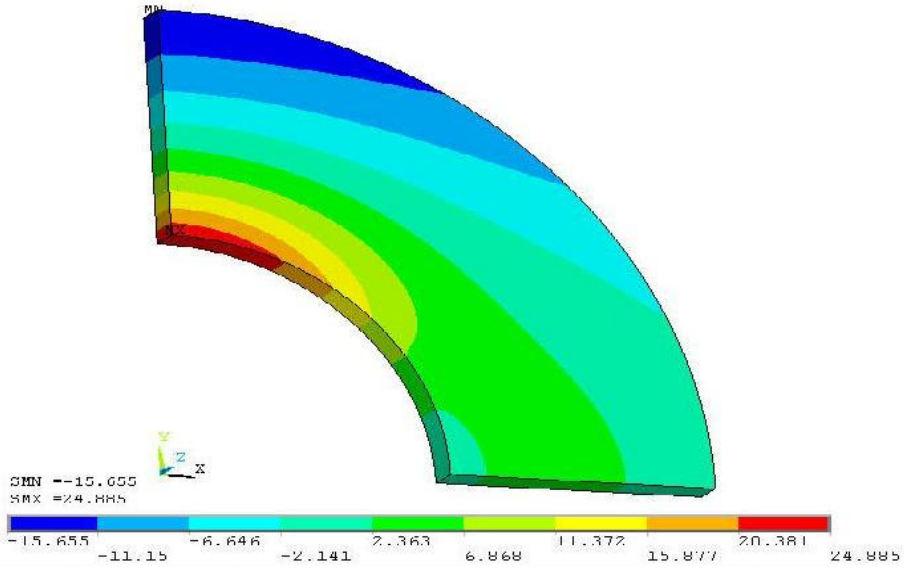
b) Z-yönündeki normal gerilme (z)

ekil 5. Uygulanan uniform sıcaklıklara ba lı olarak hesaplanan normal gerilmeler

Benzer ekilde ısıl ekil de i tirmelerin da ılımları da ekil 9, 10 ve 11'de gösterilmi tir. Bu ekillerde tüm analiz sonuçlarının verilmesi yerine, uygulanan en dü ük uniform sıcaklık yükü olan 60 °C ve uygulanan en yüksek uniform sıcaklık yükü 270 °C için elde edilen da ılımlar verilmi tir.



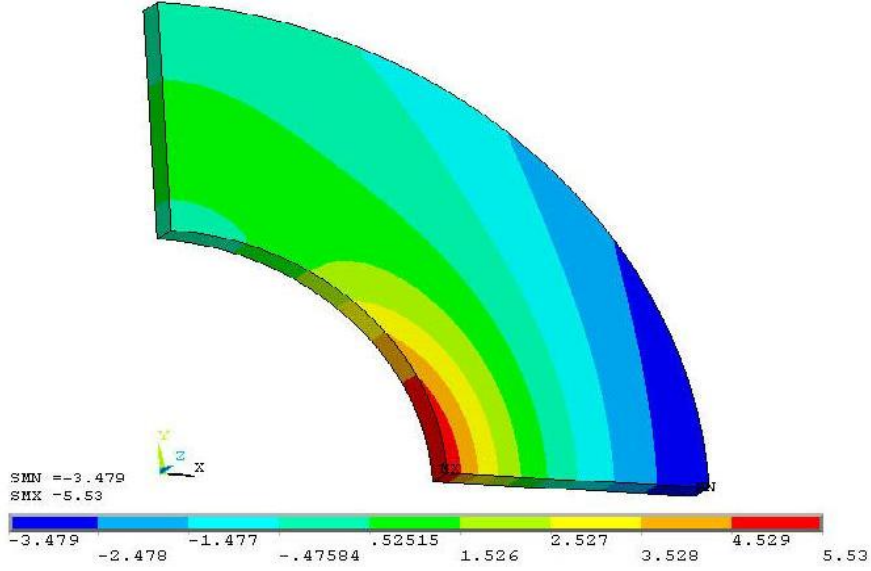
a) 60 °C



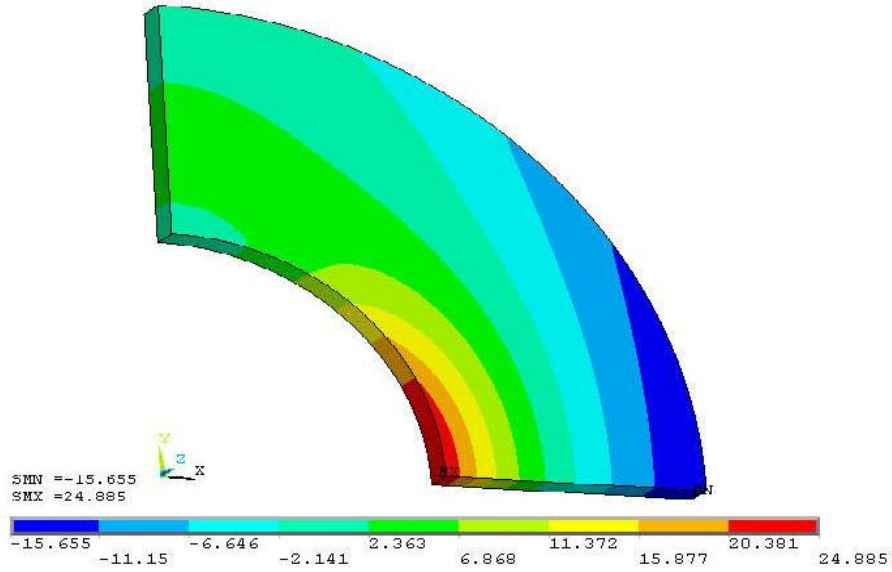
b) 270 °C

ekil 6. Diskteradyal yönde olu an normal gerilmelerin da ılımı, σ_r (MPa)

Tüm bu ekilerden, 60 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilen normal gerilmelerin ve elastik ekil de i tirmelerin de erlerinin, 270 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilen de erlerden daha dü ük oldu u açıkça görülmektedir.



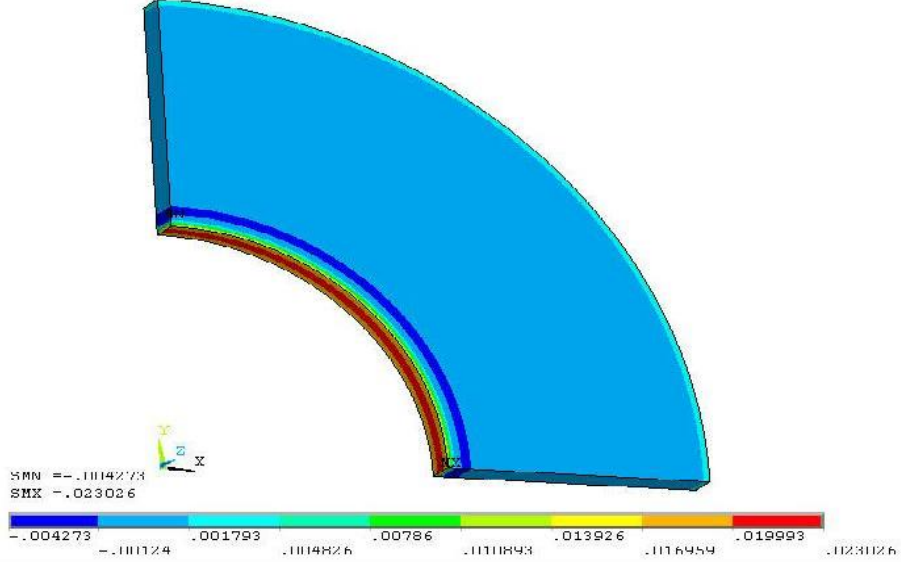
a) 60 °C



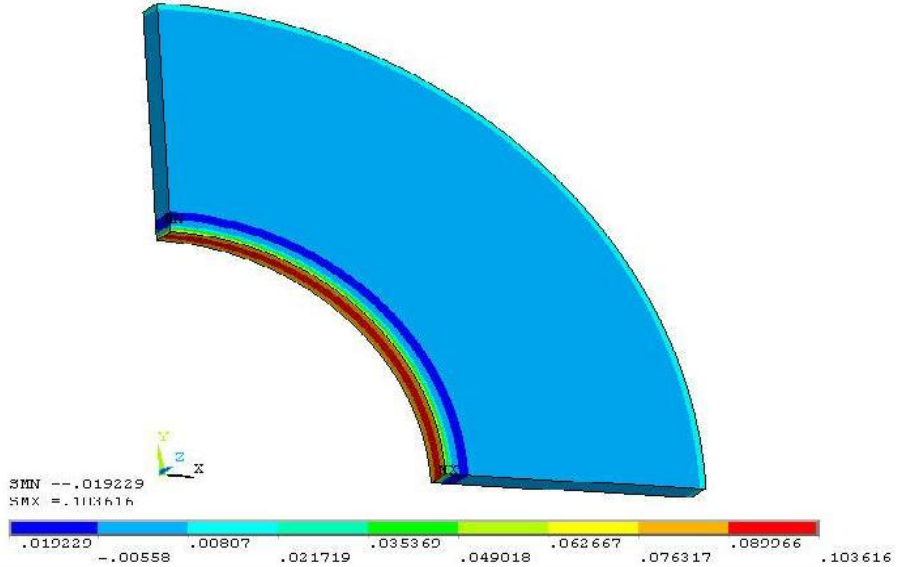
b) 270 °C

ekil 7. Diskte te etsel yönde olu an normal gerilmelerin da ılımı, σ_r (MPa)

ekil 6 ve ekil 7 kar ıla tırıldı nda, uygulanan her bir üniform sıcaklık yükü için radyal ve te etsel do rultular için elde edilen ısıl gerilmelerin maksimum de erlerinin aynı oldu u, fakat disk üzerindeki gerilme da ılımlarının birbirinden tamamen farklı oldu u görülmektedir.



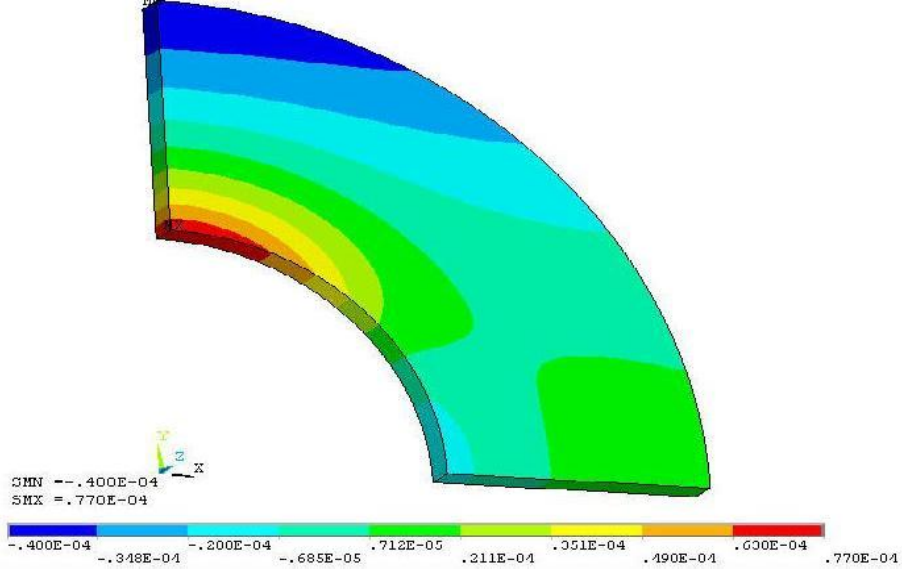
a) 60 °C



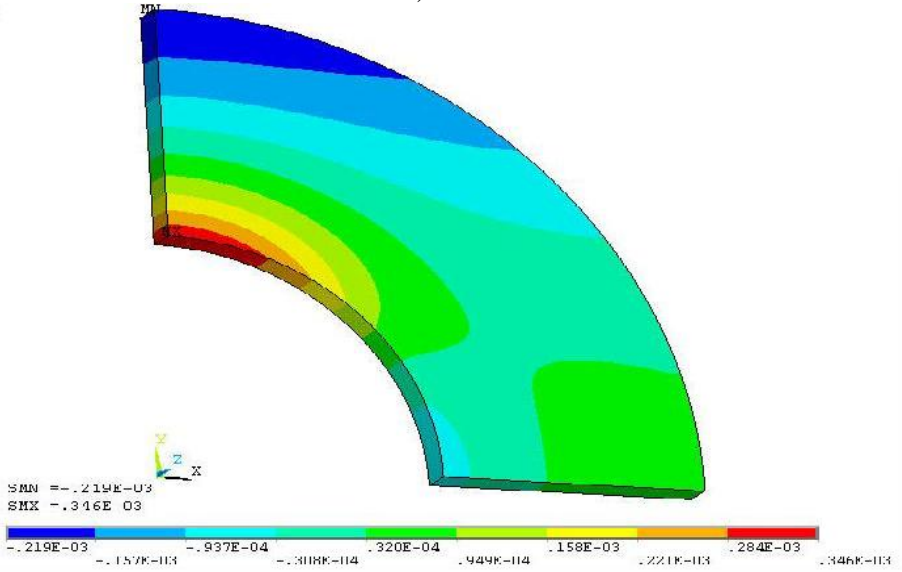
b) 270 °C

ekil 8. Diskte z-yönünde olu an normal gerilmelerin da ılımı, σ_z (MPa)

ekil 6, ekil 7 ve ekil 8 kar ıla tırıldı nda z-yönündeki ısı normal gerilmelerin, radyal ve te etsel do riultulardaki ısı gerilmelerden çok daha dü ük de erlerde oldu u görülmektedir. Ayrıca, z-yönü için hesaplanan gerilmelerin da ılımlarının, di er yönlerden oldukça farklı oldu u görülmektedir.

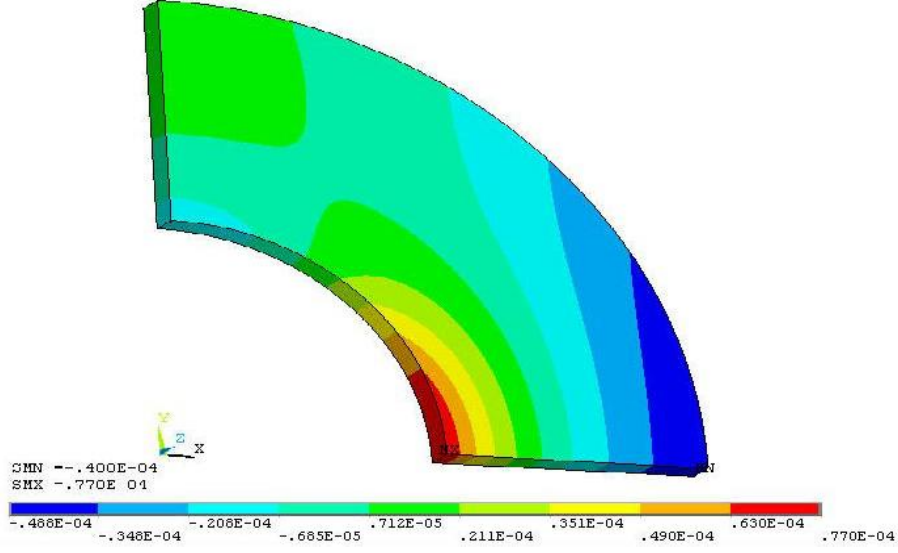


a) 60 °C

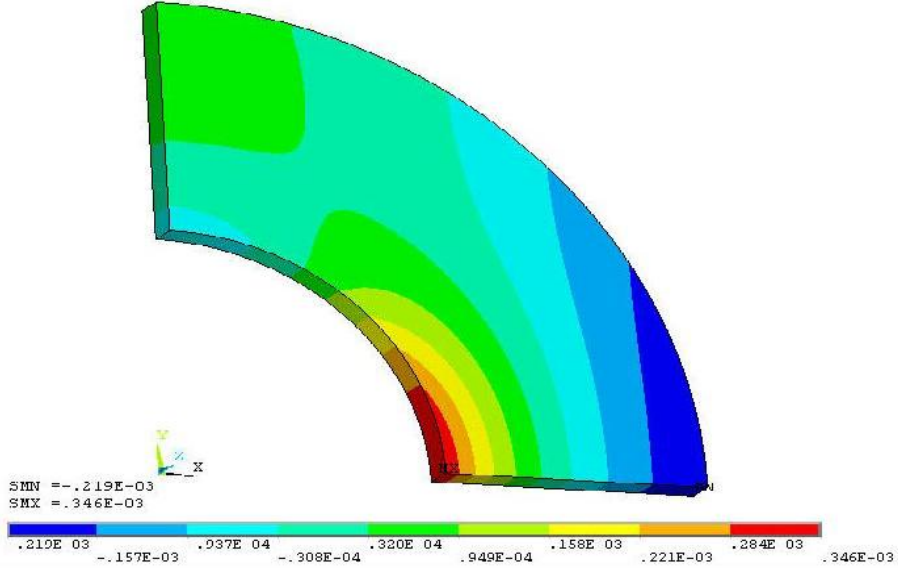


b) 270 °C

ekil 9. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile olu an elastik ekil de i tirme (σ_r) Normal gerilmelerin da ılımları için yönler dikkate alınarak ifade edilen yukarıdaki açıklamaların, ısıl ekil de i tirme da ılımları içinde benzer oldu u görülmektedir (ekil 9, ekil 10 ve ekil 11). Özetlemek gerekirse, bu ekillerden görüldü ü gibi z-yönünde meydana gelen elastik ekil de i tirmelerinin de erlerinin (ekil 11), radyal ve te etsel yönlerde elde edilen elastik ekil de i tirmelerin de erlerinden (ekil 9 ve ekil 10) daha dü ük de erlerde oldu u görülmektedir.

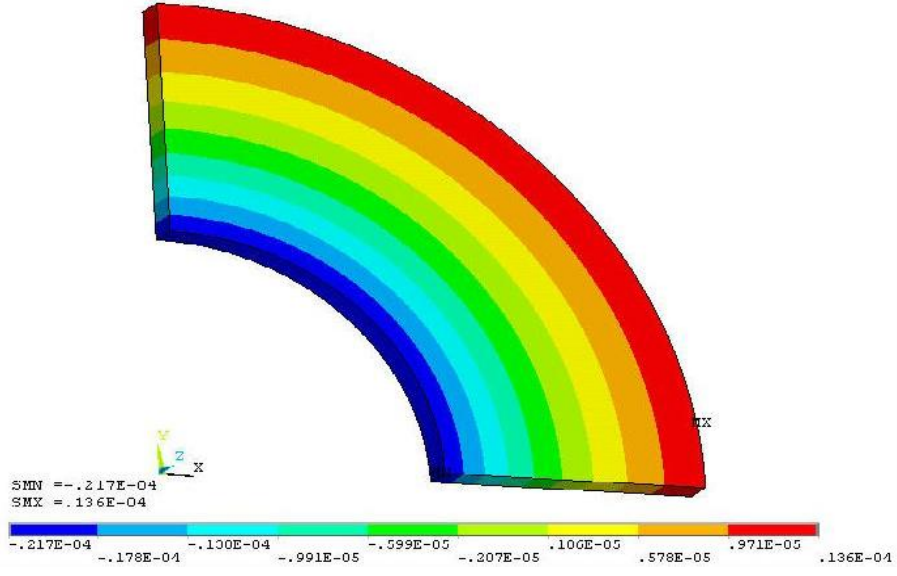


a) 60 °C

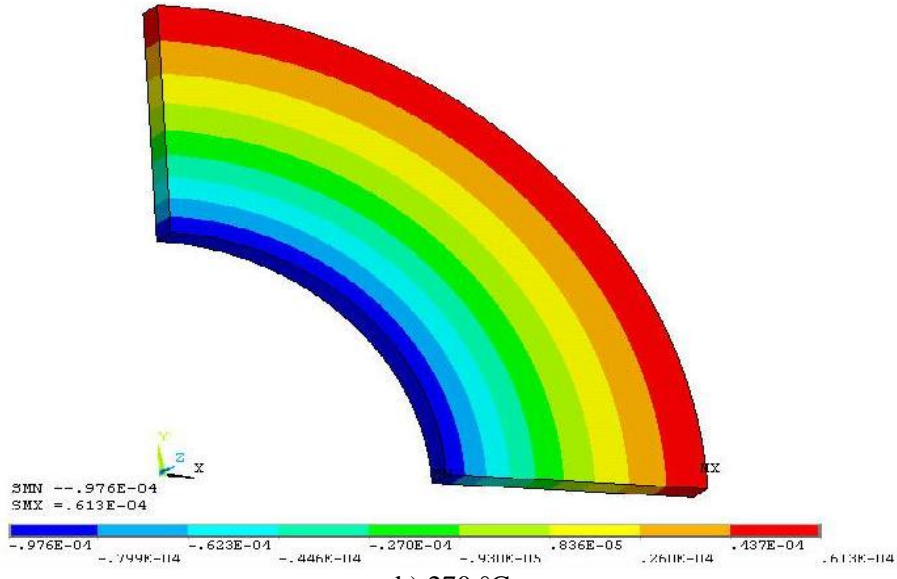


b) 270 °C

ekil 10. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile oluşan elastik eğilme momenti ()
Bu eğilimlerden görüldüğü gibi uniform sıcaklık yükü arttıkça, disk üzerindeki elastik eğilme momentlerinin de arttığına, önemli oranda artışına neden olduğunu anlamaktadır. Çünkü 60 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilen elastik eğilme momentlerinin de olduğu gibi, 270 °C uniform sıcaklık yükü için elde edilen elastik eğilme momentlerinin de olduğundan daha küçük olduğu görülmüştür.



a) 60 °C



b) 270 °C

ekil 11. Farklı uniform sıcaklıklar etkisi ile oluşan elastik gerilme dağılımı (z)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, alüminyum matrisine sahip çelik fiberlerle takviye edilmiş, ortasında dairesel delik bulunan bir kompozit disk modellenmiştir. Kompozit disk önceki çalışmalardan çok farklı olarak, üç boyutlu olarak meydana getirilmiştir. Üç boyutlu diske çeşitli yapısal sınır şartları ve uniform sıcaklıklar uygulamak suretiyle disk üzerinde oluşan ısı gerilmeleri, ısı elastik etkileri ve bunların üç boyutlu disk üzerindeki dağılımları elde edilmiştir. Üç boyutlu sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan analizler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarına göre ısı gerilmelerinin dağılımları, uygulanan uniform sıcaklık yükündeki artışla doğrusal olarak artış göstermiştir. Dolayısıyla, en düşük ısı gerilmeleri 60 °C uniform sıcaklık yükü için hesaplanırken, en yüksek değerli ısı gerilmeleri 270 °C uniform sıcaklıklar uygulandığında elde edilmiştir. Bu durum, elastik etkilerde gerilmelerin içinde geçerlidir.

Genel olarak diskin iç yüzeyinde gerilmeler basma formunda meydana gelirken, diskin dış yüzeyinde çekme formunda gerilmeler meydana gelmiştir. Her bir sıcaklık yükü için radyal ve tangensiyel yöndeki gerilmelerin maksimum değerleri elde edilmesine rağmen, kompozit disk üzerinde tamamen farklı dağılımlar elde edilmiştir.

Modelleme ve analizler üç boyutlu olarak yapıldığından, disk üzerinde z-yönünde de gerilmeler ve elastik etkiler meydana gelmiştir. Fakat z-yönünde elde edilen bileşenlerin dağılımları diğer yönlerde elde edilenlerden oldukça düşük değerdedir.

KAYNAKLAR

- [1] Şahin, Y., *Kompozit Malzemelere Giriş*, (2006), Ankara, Seçkin Yayıncılık.
- [2] Tong, L., Mouritz, A.P. and Bannister, M. *3D Fibre Reinforced Polymer Composites*, (2002), Elsevier, UK.
- [3] Ataberk, N., Uyaner, M., Avcı, A., Koçak, S., (2004), Elasto-plastic Stress Analysis of Aluminum Metal-Matrix Composite Plate Under In-Plane Loading, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23, p. 563-570,
- [4] Jones, R.M., *Mechanics of Composite Materials*, (1999), Taylor & Francis Inc.
- [5] Kaynak, F., en, 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, p. 912-916.
- [6] Sen, 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, p.213-224,
- [7] Sen, F., (2006), 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, p.1485-1498.

- [8] Sen, F., **(2007)**, Elastic-plastic thermal stresses in a composite disc with multiple holes, *Advanced Composite Letters*,16, p.95-103.
- [9] Sen, F., Aldas, K., **(2009)**, Elastic-Plastic Thermal Stress Analysis in a Thermoplastic Composite Disc Applied Linear Temperature Loads via FEM, *Advances in Engineering Software*, 40, p.813-819.
- [10] Sen, F., Pekbey, Y., Sayman, O. **(2007)**, Elastic-plastic stress analysis of a thermoplastic composite disc under parabolic temperature distribution. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 14, p.282-288.
- [11]Çallıoğlu, H. Topçu, M. Tarakçılar A.R., **(2006)**, Elastic-plastic stress analysis of an orthotropic rotating disc, *International Journal of Mechanical Sciences*, 48, p.985-990.
- [12] Çallıoğlu H., **(2007)**, Thermal stress analysis of curvilinearly orthotropic rotating discs, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20, p.357-369.
- [13] Altan, G. Topçu, M., **(2010)**, Thermo-elastic stress of a metal-matrix composite disc under linearly-increasing temperature loading by analytical and FEM analysis, *Advances in Engineering Software*, 41, p.604-610.
- [14] ANSYS, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.
- [15] Akyüz, B.H., **(2012)**, Dönen ve sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit bir diskteki ısıl gerilmelerin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi.
- [16] Moaveni, S. **(2003)**, Finite element analysis: Theory and Application with ANSYS, 2nd edition, New Jersey, USA, Pearson Education. Inc.