

# Sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit dönen diskteki ısıl gerilmelerin analizi

**Faruk ŞEN<sup>\*1</sup>, Bahadır Hakan AKYÜZ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fak. Enerji Sistemleri Mühendisliği Böl. 48000, Muğla.

<sup>2</sup>Mercedes-Benz Türk A.Ş. Kamyon Fabrikası, 68000, Aksaray

## Özet

*Bu çalışmada, ortasında dairesel delik bulunan bir kompozit disk modellenmiştir. Kompozit malzeme, alüminyum matrise sahiptir ve çelik fiberlerle takviye edilmiştir. Çözüm için sonlu elemanlar metodu (FEM) tercih edilmiştir. Sonlu elemanlar metodu son zamanlarda çeşitli alanlardaki birçok mühendislik probleminin çözümünde tercih edilen bir yöntemdir. Bu amaçla, modelleme ve analizler için ANSYS yazılımı kullanılmıştır. Kompozit disk önceki çalışmalardan farklı olarak, üç boyutlu olarak oluşturulmuştur. Üç boyutlu kompozit disk modeli üzerine çeşitli sınır şartları, uniform sıcaklıklar (60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 270 °C) ve açısız dönmeler (10, 20, 30, 40 rad/sn) uygulanmıştır. Daha önceki çalışmalarda genel olarak, tek bir yük nedeniyle oluşan gerilmeler ve dolayısıyla tek bir yükün yapı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada ise sıcaklık ve açısız hız birlikte uygulanmak suretiyle, kompozit disk üzerinde oluşan gerilmelere, iki yükün birden etkisi incelenmiştir. Meydana gelen ısıl gerilmelerin miktarları hesaplanmış ve disk üzerindeki dağılımları elde edilmiştir. Radyal, teğetsel ve z-yönlerinin hepsi için gerilmelerin değerleri ve dağılımları elde edilmiştir. Farklı yükleme durumlarına göre elde edilen sonuçlar, birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ısıl gerilmelerin değerleri ve dağılımlarının, uygulanan uniform sıcaklık ve açısız hız değişimine bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit disk, Isıl gerilme analizi, FEM, ANSYS.

## Analysis of thermal stresses in metal matrix composite rotating disc exposed temperature

### Extended abstract

*The goal of this study analysis of thermal stresses in a metal matrix composite rotating disc that was exposed temperature.*

*The composite material was aluminum matrix and it was reinforced by steel fibers, curvilinearly. The material properties provided from earlier studies (Çallıoğlu vd., 2006; Altan ve Topçu, 2010). These researchers have produced this composite material and they measured mechanical properties of it via experimental techniques.*

*The finite element method (FEM) was preferred for solution. Since, it is known that FEM is a powerful tool for solving of many engineering problems recently. A lot of previous studies pointed out that the FEM results were in a good agreement with experimental results and analytical results.*

*ANSYS software was used for both modeling and analyses of rotating composite disc. Because, many researchers and designers have preferred this program for thermal stress problems and etc.*

*The metal matrix composite disc was created as three dimensional as a difference from previous studies. This was an innovation for solving the composite disc problem. Since modeling and solving of this problem were very difficult for researchers using analytical methods, especially. FEM and ANSYS were supplied to solve this problem as three dimensional easily.*

*The ¼ part of the composite disc was modeled because of the symmetry condition. It is an advantage of FEM solution. Therefore, symmetry boundary conditions were applied on three dimensional composite disc. A circular hole was also created in center of disc.*

*Mapped mesh was created on three dimensional disc. It is known that the designing of a structure with mapped mesh is very difficult if structure have a circular hole and circular dimensions. When the structure is three dimensional, creating of mapped mesh is also very hard.*

*Various boundary conditions were performed on three dimensional composite disc. Firstly, some uniform temperatures were applied on it as 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 270 °C. And then angular velocities were carried out as 10, 20, 30, 40 rad/s. It is mean that each uniform temperature were applied on disc when one of the angular velocity was also performed.*

*Briefly, stresses of the three dimensional composite disc were determined for both temperature effect and rotation in the same time. Analyses were done for all uniform temperatures and angular velocities. It is said that only one loading condition was applied on the disc in many previous studies. Because, applying of two loading condition were difficult.*

*The magnitudes of thermal stresses were calculated and its distributions were obtained on the disc. The obtained results were compared with each other.*

*According to different loading conditions mentioned as uniform temperature effect and rotation, values and distributions of thermal stresses were changed by changing magnitudes of uniform temperatures and angular velocities.*

*The highest values of stresses were calculated when 270 °C uniform temperature applying and 40 rad/s angular velocity. The lowest values of stresses were calculated when 60 °C uniform temperature applying and 10 rad/s angular velocity.*

*The magnitudes of stresses for tangential and radial directions were higher than z-direction. The distributions of stresses on the disc were seen as similar for radial and tangential directions, whereas distributions of stresses were very different for z-direction.*

*Both tensile and compressive stresses were occurred on the three dimensional disc. It was understood that the anisotropic material properties of composite disc caused this case. Different thermal expansion coefficients related to directions of composite were important occurring, magnitudes and distributions of stresses.*

**Keywords:** Composite disc, Thermal stress analysis, FEM, ANSYS.

## **Giriş**

Fiber takviyeli kompozitler özellikle ikinci dünya savaşından sonra yaygın mühendislik malzemeleri olarak birçok uygulamada yeni ve çekici malzemeler olarak ortaya çıkmıştır. Bu yapıdaki kompozitlerin günümüzde kullanıldığı başlıca yapılar, hava araçları, uzay araçları, uydular, gemiler, denizaltılar, otomobiller, kimyasal işlem donanımları, sportif araçlar, alt yapı sistemleri, tıbbi protezler ve mikro elektronik aletlerdir (Tong vd., 2002). Metal-matrisli kompozit malzemelerin, yüksek sıcaklıklardaki üstün özellikleri, cam lifi ile takviye edilmiş plastiklerle karşılaştırıldığında ön plana çıkmaktadır. Birçok sıcaklık değerinde, metal matrislerin mukavemet ve elastiklik modülü, reçine esaslı matrislerden daha yüksektir. Ayrıca, metal matrisli kompozitlerin gevrek kırılma ihtimali daha düşüktür (Ataberk vd., 2004). Bununla birlikte, alüminyum ve çelik gibi yaygın olarak kullanılan geleneksel metal ve metal alaşımları ile karşılaştırıldığında, kompozit malzemelerin, hafiflik, yorulmaya karşı uzun ömür, korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri nedeniyle önemi artmaktadır (Tong vd., 2002).

Sen (2006-a) tarafından tabakalı kompozit plaklarla ilgili yapılan çalışmada, sıcaklık yükü nedeniyle plakalarda oluşan ısıl gerilmeler incelenmiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Elasto plastik olarak yapılan çalışmada, termoplastik kompozit plakanın orta kısmına bir delik oluşturulmuş ve ısıl gerilmeler üzerine, delik etkisi incelenmiştir. Sen (2006-b) elastik plastik olarak yapmış olduğu çalışmada, çelik tellerle takviye edilmiş termoplastik matrise sahip kompozit bir diskte meydana gelen ısıl gerilmeleri hesaplamıştır. Çalışmanın elastik-plastik olmasından dolayı artık gerilmelerde elde edilmiştir. Sıcaklık yükü olarak uniform sıcaklıklar kompozit diske etki ettirilmiştir. Kaynak ve Şen (2005) yaptıkları çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş polimer matrisli bir kompozit diskteki ısıl gerilmeleri hesaplamışlardır. Isıl gerilmeler uniform sıcaklık etkisiyle meydana getirilmiştir. Çözüm için iki boyutlu sonlu elemanlar metodu

(FEM) kullanılmıştır. Bu amaç için ANSYS yazılımından yararlanılmıştır.

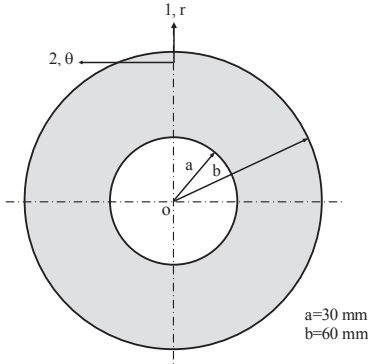
Çallıoğlu (2007) uniform ve lineer gibi azalan veya artan sıcaklıklar etkisindeki dönen kompozit bir diskteki ısıl gerilmeleri hesaplamıştır. Dönen disk içerisindeki teğetsel ve radyal gerilmeler üç farklı sıcaklık profili için hesaplanmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre düşük sıcaklıklarda tüm disk için, teğetsel gerilmelerin, radyal gerilmelerden daha büyük değerlerde olduğu fakat sıcaklık artırıldığında diskin iç yüzeyinde azalma gösterdiği anlaşılmıştır. Sen (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-plastik ve artık ısıl gerilmeler hesaplanmıştır. Isıl gerilmeler, uygulanan uniform sıcaklık yükü tesiriyle oluşturulmuştur. Kompozit malzemenin radyal ve teğetsel doğrultulardaki farklı ısıl genleşme katsayıları nedeniyle, ısıl gerilmelerin meydana geldiği görülmüştür. Isıl gerilmelerin ve artık gerilmelerin değerlerinin uygulanan uniform sıcaklık yüklemelerine bağlı olarak değişim gösterdiği gözlenmiştir. Çallıoğlu ve diğerleri (2006), kompozit dönen bir disk için elastik-plastik gerilme analizini analitik olarak gerçekleştirmişlerdir. Plastik bölgenin dağılımını görmek için bir kaç farklı açısız hız dikkate alınmıştır. Çalışmada artık gerilmeler de 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.

Bu çalışmada, metal-matrisli bir kompozit diskte oluşan ısıl gerilmeler analiz edilmiştir. Çalışmada uniform sıcaklık yükü altındaki kompozit diske ayrıca bir açısız hız ile dönme verilmiş ve oluşan ısıl gerilmeler hesaplanmıştır. Analizlerde, sonlu elemanlar

metodu (FEM) kullanılmıştır. Kompozit diskler ve ısı gerilmeleri ile ilgili yapılan ve yukarıda bahsedilen önceki çalışmalarda, genel olarak modellenen ve çözümlerin iki boyutlu olarak yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, önceki çalışmalardan farklı olarak modelleme ve çözümler üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir.

### Problemin tanımlanması

Bu çalışma için, ortasında dairesel bir delik olan ve Şekil 1’de gösterilen iç yarıçapı  $a=30$  mm ve dış yarıçapı  $b=60$  mm olan bir kompozit disk modellenmiştir. Daha önce yapılan benzer çalışmalarda modelleme ve çözümler iki boyutlu olarak yapılmış olmasına rağmen, bu yeni çalışmada kompozit disk üç boyutlu olarak modellenmiştir. Dolayısıyla, kompozit diskin  $t=4$  mm kalınlığında olduğu varsayılmıştır. Böylece, modelleme ve çözümlenin üç boyutlu olması sağlanmıştır.



Şekil 1. Kompozit diskin şematik görünümü

Üç boyutlu olarak modellenen metal matris kompozit diskin malzeme özellikleri için literatürden yararlanılmıştır. Bu nedenle, daha önce Çallıoğlu ve arkadaşları (2006) ile Altan ve Topçu (2010) tarafından yapılan çalışmalarda kullanılan malzeme özellikleri kullanılmıştır. Bu önceki çalışmalardan elde edilen malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir (Çallıoğlu vd., 2006; Altan ve Topçu, 2010). Önceki yapılan bu çalışmalardan görüldüğü üzere, tercih edilen kompozit malzeme, alüminyum matrise sahiptir ve bu alüminyum matris çelik tellerle takviye edilmiştir. Metal matris kompozit malzemenin

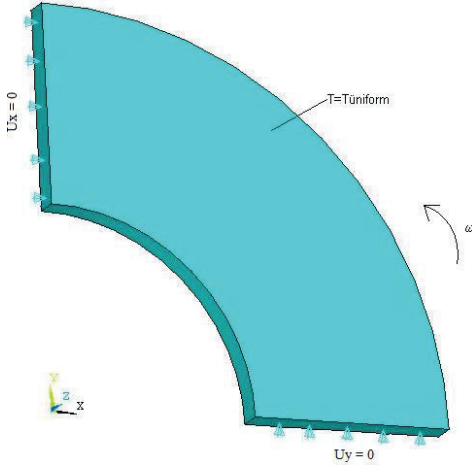
yoğunluğu ise  $\rho=3.4725$  gr/cm<sup>3</sup>’tür (Çallıoğlu vd., 2006; Altan ve Topçu, 2010). Kompozit malzemenin üretimi, Altan ve Topçu (2010) tarafından yapılan önceki çalışmada açıklanmıştır. Bu kaynağa göre, kompozit diskin üretimi bir hidrolik pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalıplar, 550 °C sıcaklığa kadar elektrik ısıtıcılarla ısıtılmış ve 10 dakika süreyle 30 MPa basınç uygulanmıştır (Altan ve Topçu, 2010). Böylece çelik fiberler alüminyum matris içerisine yerleştirilmiştir. Üretilen kompozitin fiber hacim oranı %20 ve matris hacim oranı ise % 80’dir (Altan ve Topçu, 2010).

Tablo 1. Metal matrisli kompozit malzemenin mekanik özellikleri (Çallıoğlu vd., 2006; Altan ve Topçu, 2010).

$E_r$ MPa	$E_\theta$ MPa	$G_{r\theta}$ MPa	$\nu_{r\theta}$	$\alpha_r$ 1/°C	$\alpha_\theta$ 1/°C
89500	71500	32000	0.28	$18.610^{-6}$	$21.610^{-6}$

Çalışmada, son yıllarda birçok farklı alanda ve mühendislik problemlerinin çözümünde tercih edilen sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu nedenle bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS paket programından yararlanılmıştır. ANSYS programının tercih edilmesinin nedeni birçok bilimsel çalışmalarda ve aynı zamanda çeşitli sektörlerde oldukça yaygın olarak tercih ediliyor olmasıdır. Kısacası, bu çalışma için metal matrisli üç boyutlu kompozit diskin modellenmesi ve çözümü ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Simetri koşullarından dolayı kompozit diskin sadece  $\frac{1}{4}$  kısmı modellenmiştir Şekil 2 (Akyüz, 2012). Böylece, eleman sayısı ve düğüm noktasının daha az, dolayısıyla da çözüm süresinin kısaltılması ve sonuç dosyalarının boyutlarının küçültülmesi amaçlanmıştır. Modelleme işleminin tamamlanmasından sonra oluşturulan katı disk modele uygun sınır şartları model üzerine uygulanmıştır. ANSYS ortamında, kompozit disk modeline sınır şartlarının uygulanması Şekil 2’de gösterilmiştir.

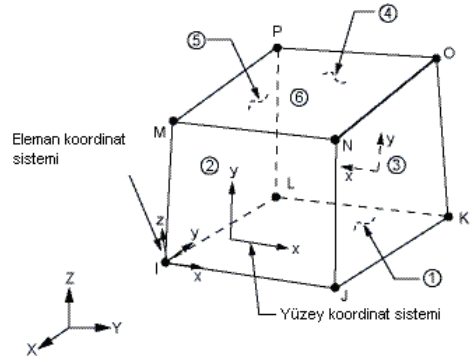


Şekil 2. Üç boyutlu kompozit disk modeli ve sınır şartlarının uygulanması

Bu şekilden görüldüğü gibi diskin  $\frac{1}{4}$ 'üne uygun olarak yapısal sınır şartları uygulanmıştır. Yapısal sınır şartlarının uygulanmasından sonra, çözüm için ısı sınır şartları modele etki ettirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak, sıcaklık etkisinin ısı gerilmeler üzerine etkisini gözlemlemek için çeşitli değerlerde uniform sıcaklıklar (60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 270 °C) kompozit disk üzerine etki ettirilmiş ve her bir uniform sıcaklık yükü için ısı gerilme hesaplamaları yapılmıştır. Uniform sıcaklık etkisinin ısı gerilmelerin oluşumu ve değişimi üzerine etkisi incelendikten sonra, kompozit diskin bir dönme hareketi olduğu varsayılmıştır. Bu amaçla, belirli uniform sıcaklıklar etkisindeki kompozit diske, çeşitli değerlerde (10, 20, 30 ve 40 rad/sn) açısal hızlar ( $\omega$ ) etki ettirilmiştir.

Sonlu elemanlarla çözüm işleminde en önemli aşamalardan şüphesiz biri, model üzerinde sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulmasıdır. Bir başka şekilde ifade edilmek istenirse, oluşturulan katı modelin (Şekil 2) uygun bir sonlu elemanlara bölünmesi, elde edilecek çözümü doğrudan etkilemektedir. ANSYS programında, sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulması aşamasında kullanılmak üzere çeşitli özelliklere sahip elemanlar

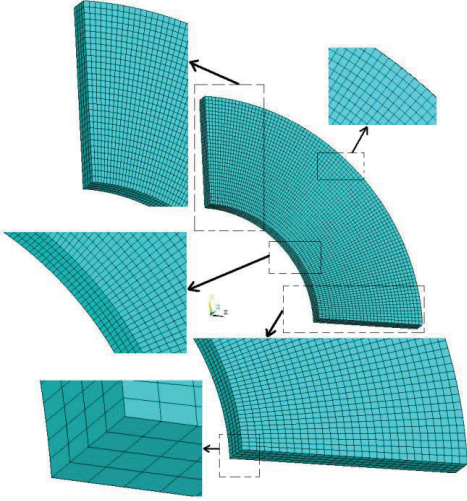
bulunmaktadır. Bu elemanlar; iki boyutlu çözümler, üç boyutlu çözümler, dönele simetrik çözümler vb. için farklı özelliklerdedir (ANSYS; Moaveni, 2003). Bu elemanların uygulamalarda seçilmesindeki temel farklılık, çözülmek istenen probleme uygulanması gereken sınır şartlarına ve elde edilmek istenen sonuçlara uygun olmasıdır. Bu çalışmada, modellemenin üç boyutlu olmasından dolayı, Şekil 3'te görülen SOLID45 eleman tipi kullanılmıştır. Örneğin, bu çalışmada iki boyutlu elemanların kullanılması ve oluşturulan katı model üzerinde sonlu elemanlar ağ yapısının oluşturulması mümkün değildir.



Şekil 3. ANSYS SOLID 45 eleman tipi

Uygun eleman tipinin seçilmesinden sonra, kompozit diskin sonlu elemanlara bölme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmüş hali Şekil 4'te gösterilmiştir. 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

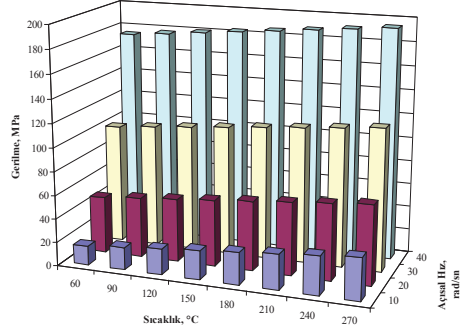
yapısının elde edilmesi mümkün olmuştur. Kompozit disk modelin sonlu elemanlara bölme işlemi sonucunda, ¼ kompozit disk modeli üzerinde, 11400 eleman ve 14480 düğüm noktası elde edilmiştir.



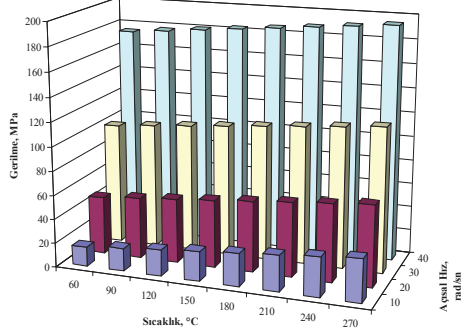
Şekil 4. Üç boyutlu kompozit diskin sonlu elemanlara bölünmüş hali

### Bulgular

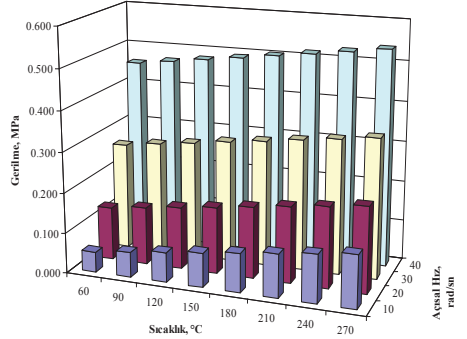
Üç boyutlu kompozit diske uygulanan, 10, 20, 30 ve 40 rad/sn dönme hızları için ve ayrıca 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 ve 270 °C uniform sıcaklık yükleri için elde edilen diskin iç yüzeydeki normal gerilme dağılımları Şekil 5'te ve diskin dış yüzeydeki normal gerilme dağılımları ise Şekil 6'da üç boyutlu grafikler ile verilmiştir. Üç boyutlu grafikler ile uygulanan uniform sıcaklık yüküne ve uygulanan farklı açisal dönme hızlarındaki artışa bağlı olarak, normal gerilmelerde meydana gelen artışlar net bir şekilde görülmektedir. Bu şekiller ile kompozit diskin iç yüzeyinde her doğrultuda tamamen çekme formunda ısıl gerilmeler oluştuğu görülmektedir (Şekil 5). Fakat, kompozit diskin dış yüzeyinde ise farklı durumlar ortaya çıkmaktadır (Şekil 6). İlk olarak z-yönünde dış yüzey için hesaplanan tüm gerilmeler çekme formundadır (Şekil 6-c).



a) Radyal yöndeki normal gerilme ( $\sigma_r$ )



b) Teğetsel yöndeki normal gerilme ( $\sigma_\theta$ )

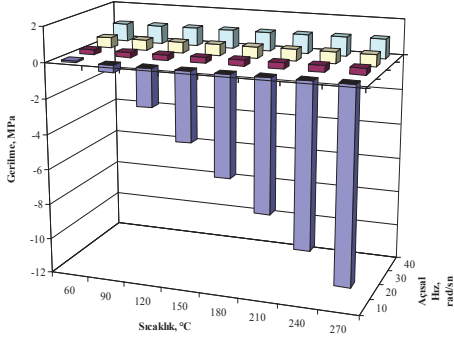


c) z yönündeki normal gerilme ( $\sigma_z$ )

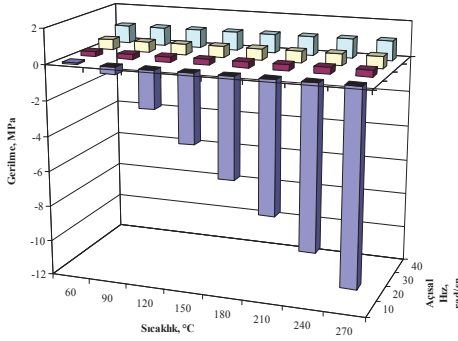
Şekil 5. Sıcaklık etkisindeki dönen diskin iç yüzeyindeki normal gerilmeler



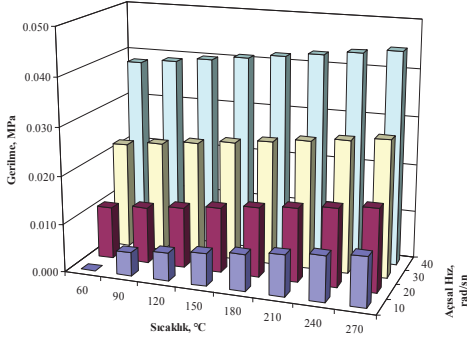
## Sıcaklık Etkisindeki Metal Matrisli Kompozit Dönen Diskteki Isıl Gerilmelerin Analizi



a) Radyal yöndeki normal gerilme ( $\sigma_r$ )



b) Teğetsel yöndeki normal gerilme ( $\sigma_\theta$ )

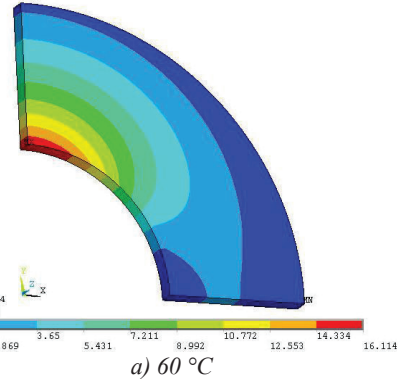


c) z yönündeki normal gerilme ( $\sigma_z$ )

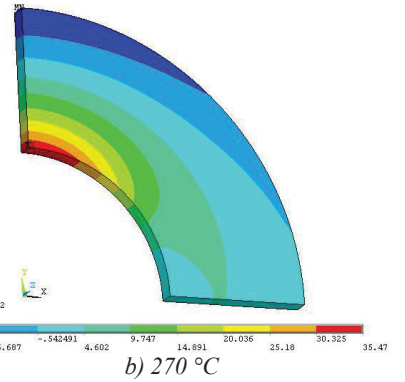
Şekil 6. Sıcaklık etkisindeki dönen diskin dış yüzeyindeki normal gerilmeler

Bununla birlikte, dış yüzey için radyal ve teğetsel doğrultularda hesaplanan gerilmelere bakıldığında 10 rad/sn dönme hızı için basma formunda gerilmeler meydana gelmiştir (Şekil 6-a ve Şekil 6-b).

Diğer yandan radyal ve teğetsel doğrultularda 20, 30 ve 40 rad/sn dönme hızları için oluşan gerilmelerin çekme formunda olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, 10 rad/sn dönme hızı için radyal ve teğetsel doğrultularda hesaplanan basma gerilmelerinin mutlak değer olarak değerlerinin, diğer dönme hızları için hesaplanan çekme gerilmelerinden daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmıştır (Şekil 6).



a) 60 °C

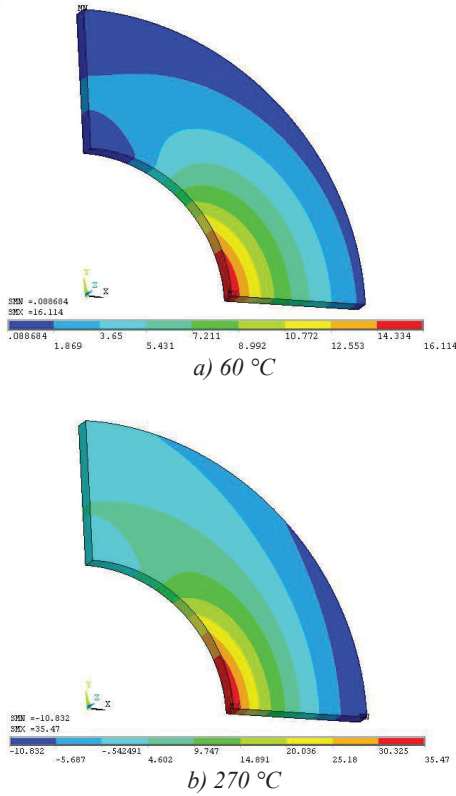


b) 270 °C

Şekil 7. 10 rad/sn dönme hızında oluşan radyal gerilmeler ( $\sigma_r$ )

Yukarıda bahsedildiği üzere üç boyutlu kompozit diske, gerilmeler üzerine değişen dönme hızlarının etkisini görmek amacıyla farklı açılarda uygulanmıştır. Dolayısıyla her analiz için çok fazla miktarda konturlu şekillerde elde edildi. Fakat, her analiz sonucunda elde edilen, her bir konturlu

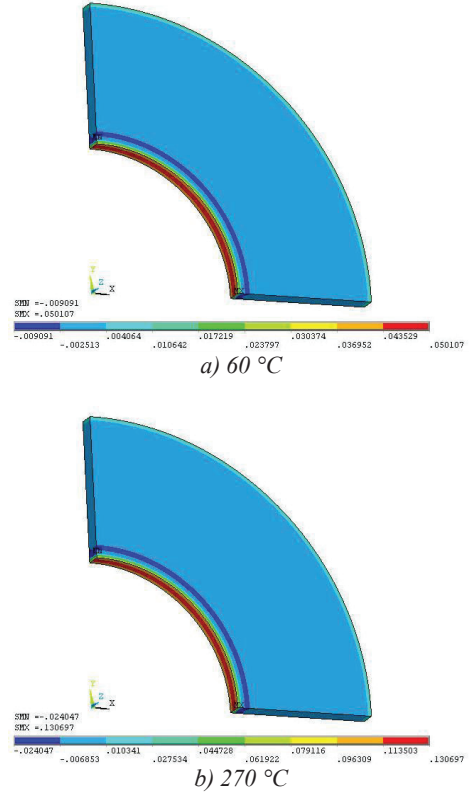
dağılımların buradaki şekillerde verilmesi yerine, ilk olarak sadece en düşük dönme hızı olan 10 rad/sn için ve ayrıca uygulanan 60 °C ve 270 °C uniform sıcaklık yükleri için elde edilen normal gerilme dağılımları (Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9) ve kayma gerilmeleri (Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12) örnek olarak verilmiştir. Daha önce maksimum ve minimum değerler kullanılmak suretiyle çizilen grafiklerden farklı olarak, bu şekillerde üç boyutlu kompozit disk üzerinde meydana gelen gerilme dağılımları net bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 8. 10 rad/sn dönme hızında oluşan teğetsel gerilmeler ( $\sigma_{\theta}$ )

Ayrıca bu şekillerde, üç boyutlu disk üzerinde oluşan maksimum ve minimum değerler gösterilmiştir. Böylece disk üzerinde, maksimum basma ve maksimum çekme gerilmeleri etkisindeki bölgeler rahatlıkla ayrırt

edilebilmektedir. Bunun sağladığı önemli avantajlardan birisi de disk üzerinde gerilme yığılımlarının olduğu bölgelerin rahatlıkla tespit edilebilmesidir.

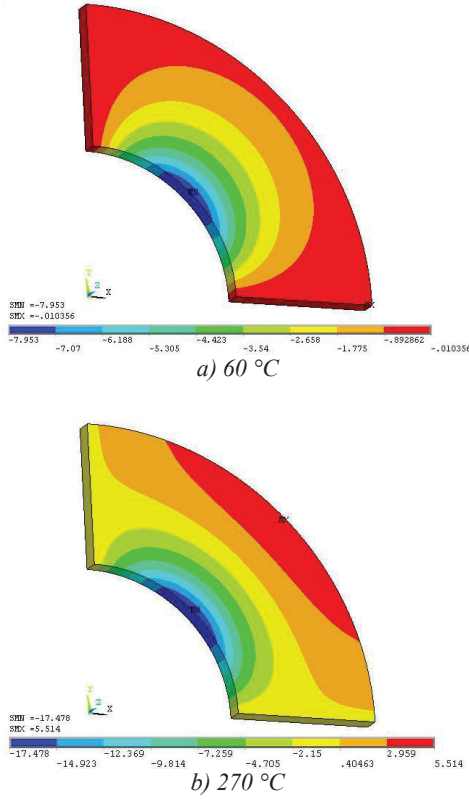


Şekil 9. 10 rad/sn dönme hızında oluşan z yönündeki gerilmeler ( $\sigma_z$ )

Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 karşılaştırıldığında; z-yönünde elde edilen ısıl gerilmelerin değerlerinin, teğetsel ve radyal yönlerde elde edilen gerilmelerden oldukça düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Radyal ve teğetsel doğrultulardaki gerilme dağılımları incelendiğinde, kompozit diskin iç yüzeyinde çekme gerilmeleri meydana gelirken, diskin dış yüzeyinde basma gerilmeleri meydana gelmiştir. Mutlak değer olarak basma gerilmelerinin daha düşük değerli olduğu görülmektedir.



Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 karşılaştırıldığında,  $\tau_{r\theta}$  kayma gerilmelerinin değerlerinin,  $\tau_{rz}$  ve  $\tau_{\theta z}$  kayma gerilmelerinin değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca,  $\tau_{r\theta}$  kayma gerilmelerinin iç yüzeyde basma formunda ve dış yüzeyde çekme formunda olduğu ve mutlak değer olarak basma kayma gerilmelerinin çekme kayma gerilmelerinden daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

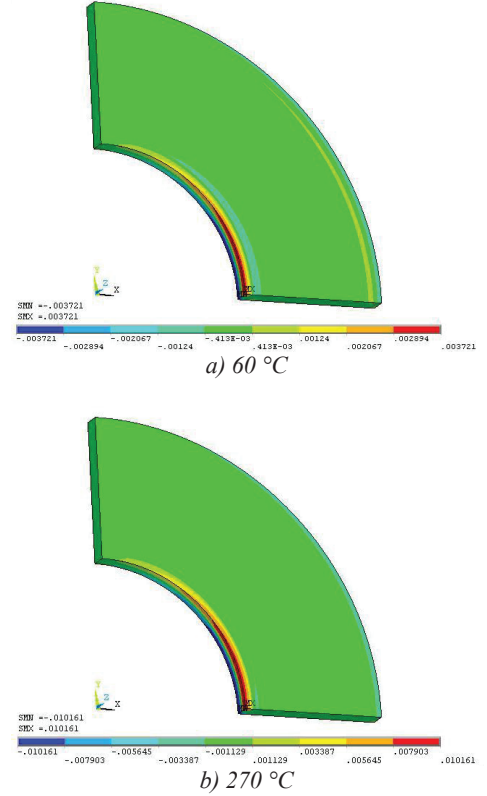


Şekil 10. 10 rad/sn dönme hızında oluşan kayma gerilmeleri ( $\tau_{r\theta}$ )

### 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 oluşturulmuştur. Üç boyutlu diske çeşitli sınır şartları, uniform

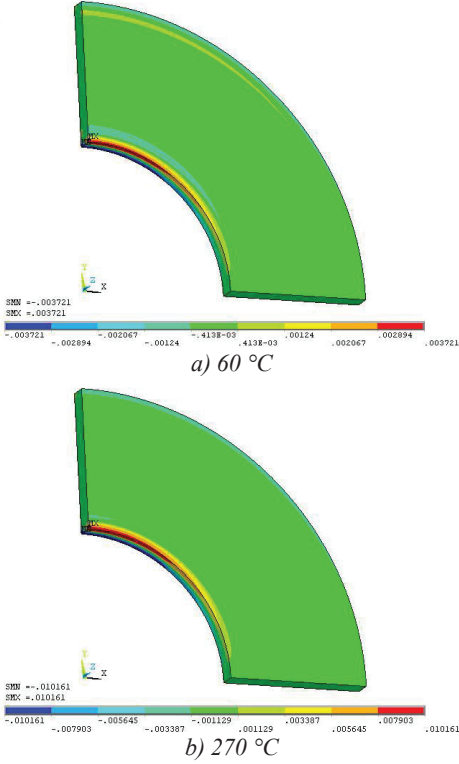
sıcaklıklar ve açısal dönmeler uygulamak suretiyle oluşan gerilmeler ve disk üzerindeki dağılımları incelenmiştir. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan analizler neticesinde, özetle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 11. 10 rad/sn dönme hızında oluşan kayma gerilmeleri ( $\tau_{rz}$ )

Uygulanan farklı değerlerdeki uniform sıcaklıklar ve dönme hızları nedeniyle, metal matrisli kompozit disk üzerinde ısıl normal ve kayma gerilmeleri meydana geldiği tespit edilmiştir. Gerilmelerin değerleri ve dağılımlarının uniform sıcaklık artışındaki ve dönme hızındaki artışa bağlı olarak artış gösterdiği anlaşılmıştır. Dolayısıyla, kompozit disk üzerindeki en düşük ısıl gerilmeler 10 rad/san açısal hız ve 60 °C uniform sıcaklık

etkisinde iken hesaplanırken, en yüksek ısı gerilmeler 40 rad/san açısal hız ve 270 °C uniform sıcaklık etkisinde iken elde edilmiştir.



Şekil 12. 10 rad/sn dönme hızında oluşan kayma gerilmeleri ( $\tau_{\theta z}$ )

Isıl gerilmelerin en büyük nedeninin kompozit diskin sahip olduğu anizotropik malzeme özelliklerinin neden olduğu değerlendirilmektedir. Özellikle sıcaklık etkisi düşünüldüğünde, farklı yönlerdeki farklı değerlerdeki ısıl genişleme katsayılarının, kompozit disk yüksek değerlerde ısıl gerilmeler oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır.

## Kaynaklar

- Akyüz, B. H., (2012). Dönen ve sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit bir diskteki ısıl gerilmelerin analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- 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**, 604-610.
- ANSYS, Swanson Analysis System Inc., Houston, PA, USA.
- Ataberker, 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**, 563-570.
- Çalhoğlu, H., Topçu, M., (2006). Tarakçılar A.R. Elastic-plastic stress analysis of an orthotropic rotating disc, *International Journal of Mechanical Sciences*, **48**, 985-990,
- Çalhoğlu, H., (2007). Thermal stress analysis of curvilinearly orthotropic rotating discs, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, **20**, 357-369.
- Kaynak, İ., Şen, F., (2005). Thermal stress analysis of composite disc under uniform temperature effect using FEM, *Bildiriler Kitabı*, 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 912-916, Trabzon.
- Moaveni, S., (2003). *Finite element analysis: Theory and Application with ANSYS*, Pearson Education, New Jersey, USA.
- Sen, F. (2006-a). An investigation of thermal elasto-plastic stress analysis of laminated thermoplastic composites with a circular hole under uniform temperature loading, *Science and Engineering of Composite Materials*, **13**, 213-224.
- Sen, F., (2006-b). The estimation of elasto-plastic thermal and residual stresses in a thermoplastic composite disc under uniform temperature effect, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **25**, 1485-1498.
- Sen, F., (2007). Elastic-plastic thermal stresses in a composite disc with multiple holes, *Advanced Composite Letters*, **16**, 95-103.
- Tong, L., Mouritz, A.P. and Bannister, M., (2002). *3D Fibre Reinforced Polymer Composites*, Elsevier, UK.